GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
DIRECCION GENERAL DE AGUAS

DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE SECTORES ACUÍFEROS

VOLUMEN Nº 1

REALIZADO POR:
GEOHIDROLOGÍA CONSULTORES LTDA.

S.I.T. Nº 183

SANTIAGO, JULIO 2009

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

Ministro de Obras Públicas

Ingeniero Civil Sr. Sergio Bitar Ch.

Director General de Aguas

Abogado Sr. Rodrigo Weisner L.

Jefa Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos

Ingeniero Sra. Mesenia Atenas V.

Inspector Fiscal

Ingeniero Sra. María Eugenia Molina L.

GEOHIDROLOGÍA CONSULTORES LTDA.

Jefe de Proyecto

Ingeniero Civil Sr. José Muñoz P.

Especialistas

Ingeniero Civil Sr. José Muñoz P.

Ingeniero Civil Sr. Pablo Rengifo O.

Ingeniero Agrónomo Sr. Cristian Ortiz A.

Geóloga Sra. Laura Vitòria C.

Profesionales:

Ingeniero Civil Sr. Carlos Vásquez G.

Ingeniero Civil Sr. Nicolás Ramírez N.

Geógrafo Sr. Rodrigo López A.

Ingeniero Civil Sr. Pedro Sanzana C.

Geólogo Sr. Felipe García-Huidobro C.

TABLA DE CONTENIDOS

1 INTRODUCCIÓN 1

2 OBJETIVOS 4

3 METODOLOGÍA DE TRABAJO 5

4 METODOLOGÍA DE CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS 10

4.1 ANTECEDENTES Y CRITERIOS DE LA METODOLOGÍA 10

4.2 ESQUEMA GENERAL DE LA METODOLOGÍA 11

4.2.1 Herramientas SIG y métodos de interpolación 14

4.2.2 Parámetros químicos que utiliza la metodología 20

4.2.3 Depuración de la información química 22

4.3 CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA Y QUÍMICA DEL SECTOR DE APLICACIÓN 24

4.4 ELECCIÓN DE PARÁMETROS QUÍMICOS LOCALES 26

4.4.1 Elección de posibles elementos de ocurrencia natural 27

4.4.2 Elección de posibles elementos de origen antrópico 29

4.5 CÁLCULO DE ÍNDICE DE CALIDAD 31

4.5.1 Mapas de isoconcentración 31

4.5.2 Índice de calidad individual por parámetro 34

4.5.3 Cálculo e interpretación del resultado del IC general 43

4.6 ANÁLISIS TEMPORAL DEL ÍNDICE DE CALIDAD 46

4.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA DETERMINAR EL ORIGEN DE LOS COMPUESTOS DISUELTOS 49

4.7.1 Aplicación del ACP en la metodología 50

4.7.2 Interpretación de resultados del ACP 58

4.7.3 Cruce de información 61

4.7.4 Resultado del origen de compuestos disueltos 64

5 APLICACIÓN DE METODOLOGÍA DE CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS 66

5.1 ELECCIÓN DE SECTORES-ACUÍFERO PARA LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA 66

5.2 SECTOR ACUÍFERO EL LOA 76

5.2.1 Antecedentes disponibles 76
5.2.2 Elección de parámetros locales 78
5.2.3 Análisis de datos medidos. 78
5.2.4 Determinación del índice de calidad 82
5.2.5 Análisis estadístico ACP 86
5.2.6 Análisis temporal 92
5.2.7 Resultados finales 92
5.3 SECTOR ACUÍFERO LOS CHOROS 92
5.3.1 Antecedentes disponibles 92
5.3.2 Elección de parámetros locales 94
5.3.3 Análisis de datos medidos 94
5.3.4 Determinación del índice de calidad 98
5.3.5 Análisis estadístico ACP 104
5.3.6 Análisis temporal 109
5.3.7 Resultados finales 109
5.4 SECTOR ACUÍFERO ACONCAGUA 110
5.4.1 Antecedentes disponibles 110
5.4.2 Elección de parámetros locales 111
5.4.3 Análisis de datos medidos 112
5.4.4 Determinación del índice de calidad 116
5.4.5 Análisis estadístico ACP 121
5.4.6 Análisis temporal 126
5.4.7 Resultados finales 127
6 INSTRUMENTOS PARA LA PROTECCIÓN DE LA CALIDAD 128
6.1 DESCRIPCIÓN DE INSTRUMENTOS DE PROTECCIÓN 129
6.1.1 Conocimiento e investigación 129
6.1.2 Educación 136
6.1.3 Medidas políticas y económicas 138
6.1.4 Medidas de acción directa 143
6.2 ANÁLISIS DE APLICABILIDAD DE INSTRUMENTOS DE PROTECCIÓN EN SECTORES DE ESTUDIO 148

6.2.1 Aproximación a medidas de conocimiento e investigación en sectores acuífero estudiados 148
6.2.2 Discusión sobre aplicabilidad de medidas de protección 162
7 PROPUESTA DE MONITOREO 164
7.1 OBJETIVOS Y CRITERIOS DE DISEÑO 164
7.1.1 Ubicación y distribución 165
7.1.2 Parámetros de control 167
7.1.3 Frecuencia de muestreo 168
7.1.4 Protocolo de muestreo, transporte y análisis de muestras 169
7.2 REVISIÓN DE LA ACTUAL RED DE MONITOREO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA DGA 171
7.2.1 Sector acuífero El Loa 171
7.2.2 Sector acuífero Los Choros 172
7.2.3 Sector acuífero Aconcagua 173
7.3 PROPUESTA DE DISTRIBUCIÓN, FRECUENCIA Y PARÁMETROS 174
7.4 CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS 179
7.4.1 Descripción características constructivas actual red de monitoreo de calidad de aguas subterráneas 179
7.4.2 Requisitos constructivos de puntos de muestreo 180
7.4.3 Evaluación de características de actual red de monitoreo de calidad de aguas subterráneas 183
8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 185
8.1 CONCLUSIONES DEL PROYECTO 185
8.1.1 Desarrollo de la metodología 185
8.1.2 Instrumentos de protección 187
8.1.3 Red de monitoreo de calidad de aguas subterráneas 189
8.2 RECOMENDACIONES DE TRABAJOS FUTUROS 190
9 BIBLIOGRAFÍA 191

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4.1: Esquema y diagrama de flujo de la metodología. 13

Figura 4.2: Esquema de interpolación de parámetros químicos. 31

Figura 4.3: Cálculo de índice de calidad mediante interpolación lineal entre clases. 35

Figura 4.4: Gráfico para obtener IC asociado a elementos del Grupo 1. 40

Figura 4.5: Gráfico para obtener IC asociado a Nitratos del Grupo 2. 41

Figura 4.6: Esquema de análisis estadístico. 50

Figura 4.7: Ejemplo de gráfico de sedimentación. 53

Figura 4.8: Matriz de factores o factorial. 54

Figura 4.9: Ejemplo de gráfico Biplot-variables. 56

Figura 4.10: Ejemplo de gráfico Biplot-valores. 58

Figura 4.11: Gráfico Biplot-variables de acuífero ejemplo. 59

Figura 4.12: Gráfico Biplot-valores de acuífero ejemplo. 61

Figura 5.1: Distribución de los puntos de muestreo en sector acuífero El Loa. 77

Figura 5.2: Concentración de parámetros Grupo 1 y valores de corte, sector acuífero El Loa. 79

Figura 5.3: Concentración de parámetros Grupo 2 y normativa, sector acuífero El Loa. 81

Figura 5.4: Índice de calidad individual de Ca en el sector acuífero El Loa. 83

Figura 5.5: Índice de calidad individual de Cl en sector acuífero El Loa. 83

Figura 5.6: Índice de calidad individual de Mg en sector acuífero El Loa. 83

Figura 5.7: Índice de calidad individual de Na en sector acuífero El Loa. 83

Figura 5.8: Índice de calidad individual de SDT en sector acuífero El Loa. 84

Figura 5.9: Índice de calidad individual de SO_4 en sector acuífero El Loa. 84

Figura 5.10: Índice de calidad individual de NO_3 en sector acuífero El Loa. 84

Figura 5.11: Índice de calidad individual de As en sector acuífero El Loa. 84

Figura 5.12: Índice de calidad general para el sector acuífero El Loa. 86

Figura 5.13: Gráfico de sedimentación ACP en sector acuífero El Loa..... 88

Figura 5.14: Gráfico Biplot-variables en sector acuífero El Loa. 90

Figura 5.15: Gráfico Biplot-valores en sector acuífero El Loa. 91

Figura 5.16: Distribución de los puntos de muestreo en sector acuífero Los Choros. 93

Figura 5.17: Concentración de parámetros Grupo 1 y valores de corte, sector acuífero Los Choros..... 95

Figura 5.18: Concentración de parámetros Grupo 2 y valores de corte, Los Choros..... 97

Figura 5.19: Índice de calidad individual de Ca en sector acuífero Los Choros. 100

Figura 5.20: Índice de calidad individual de Cl en sector acuífero Los Choros. 100

Figura 5.21: Índice de calidad individual de Mg en sector acuífero Los Choros. 100

Figura 5.22: Índice de calidad individual de Na en sector acuífero Los Choros..... 100

Figura 5.23: Índice de calidad individual de SDT en sector acuífero Los Choros. 101

Figura 5.24: Índice de calidad individual de SO_4 en sector acuífero Los Choros. 101

Figura 5.25: Índice de calidad individual de NO_3 en sector acuífero Los Choros. 101

Figura 5.26: Índice de calidad individual de Fe en sector acuífero Los Choros. 101

Figura 5.27: Índice de calidad individual de Al en sector acuífero Los Choros. 102

Figura 5.28: Índice de calidad general para el sector acuífero Los Choros..... 103

Figura 5.29: Gráfico de sedimentación ACP, acuífero Los Choros. 105

Figura 5.30: Gráfico Biplot-variables en sector acuífero Los Choros..... 107

Figura 5.31: Gráfico Biplot-valores en acuífero Los Choros. 109

Figura 5.32: Distribución de los puntos de muestreo en sector acuífero Aconcagua..... 111

Figura 5.33: Concentración de parámetros Grupo 1 y valores de corte, sector acuífero Aconcagua. 113

Figura 5.34: Concentración de parámetros Grupo 2 y valores de corte, sector acuífero Aconcagua. 115

Figura 5.35: Índice de calidad individual de Ca en sector acuífero Aconcagua. 118

Figura 5.36: Índice de calidad individual de Cl en sector acuífero Aconcagua. 118

Figura 5.37: Índice de calidad individual de Mg en sector acuífero Aconcagua. 118

Figura 5.38: Índice de calidad individual de Na en sector acuífero Aconcagua. 118

Figura 5.39: Índice de calidad individual de SDT en sector acuífero Aconcagua. 118

Figura 5.40: Índice de calidad individual de SO_4 en sector acuífero Aconcagua. 118

Figura 5.41: Índice de calidad individual de NO_3 en sector acuífero Aconcagua. 119

Figura 5.42: Índice de calidad individual de Fe en sector acuífero Aconcagua. 119

Figura 5.43: Índice de calidad individual de Mn en sector acuífero Aconcagua. 119

Figura 5.44: Índice de calidad general para el sector acuífero Aconcagua. 121

Figura 5.45: Gráfico de sedimentación ACP, en sector acuífero Aconcagua. 122

Figura 5.46: Gráfico Biplot-variables en sector acuífero Aconcagua. 124

Figura 5.47: Gráfico Biplot-valores en sector acuífero Aconcagua. 126

Figura 6.1: Captaciones subterráneas y fuentes potenciales de contaminación sector acuífero El Loa. 152

Figura 6.2: Captaciones subterráneas y mapa de índice de calidad sector acuífero Los Choros. 155

Figura 6.3: Vulnerabilidad sector acuífero Los Choros. 156

Figura 6.4: Captaciones subterráneas, fuentes potenciales de contaminación y resultados de la metodología en sector acuífero Aconcagua. 159

Figura 6.5: Uso de suelos sector acuífero Aconcagua. 160

Figura 6.6: Vulnerabilidad sector acuífero Aconcagua. 161

Figura 7.1: Red de monitoreo de calidad de agua subterránea DGA en sector acuífero El Loa. 172

Figura 7.2: Red de monitoreo de calidad de agua subterránea DGA en sector acuífero Los Choros (sector costero). 173

Figura 7.3: Red de monitoreo de calidad de agua subterránea DGA en sector acuífero Aconcagua. 174

Figura 7.4: Propuesta de muestreo sector acuífero El Loa. 176

Figura 7.5: Propuesta de muestreo sector acuífero Los Choros (sector costero). 177

Figura 7.6: Propuesta de muestreo sector acuífero Aconcagua. 178

Figura 7.7: Esquema constructivo de un punto de control de agua subterránea. 182

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Zonas delimitadas por la DGA para definición de sectores acuíferos del estudio. 3

Tabla 4.1: Principales métodos de interpolación y sus características. 16

Tabla 4.2: Parámetros químicos utilizados en la metodología. 21

Tabla 4.3: Parámetros a medir en caracterización química. 22

Tabla 4.4: Aniones y cationes mínimo necesarios para determinar el balance iónico. 23

Tabla 4.5: Planilla ejemplo con valores químicos para aplicar metodología. 24

Tabla 4.6: Clasificación de representatividad (km^2/punto) de información química, según nivel de explotación y condición del acuífero. 26

Tabla 4.7: Contaminantes naturales típicos de aguas superficiales y subterráneas de Chile. ...28

Tabla 4.8: Metales asociados a distintos tipos de actividad en la cuenca de Santiago. 30

Tabla 4.9: Contaminantes asociados a distintas actividades. 31

Tabla 4.10: Propuesta de resolución de grilla para aplicar la metodología. 33

Tabla 4.11: Porcentajes representativos de eficiencia remoción de procesos de membrana. ...37

Tabla 4.12: Rangos de remoción de distintos procesos de tratamiento de aguas. 38

Tabla 4.13: Valores corte de los parámetros fijos de la metodología 39

Tabla 4.14: Valores de corte de parámetros no fijos de la metodología. 42

Tabla 4.15: Elementos o sustancias químicas de importancia para la salud (Tipo II) según NCh409/1Of.2005. 43

Tabla 4.16: Criterios para establecer el IC general. 43

Tabla 4.17: Criterios para establecer la clase temporal. 47

Tabla 4.18: Reclasificación temporal de la calidad química de aguas. 48

Tabla 4.19: Ejemplo de matriz de correlación de parámetros. 52

Tabla 4.20: Posible origen de elementos químicos en el agua. 62

Tabla 4.21: Categorización del origen de elementos químicos en el agua. 64

Tabla 4.22: Ejemplo de resultado final análisis de origen de compuestos disueltos. 64

Tabla 5.1: Ficha resumen de información disponible sector acuífero El Loa. 67

Tabla 5.2: Ficha resumen de información disponible sector acuífero Los Choros. 70

Tabla 5.3: Ficha resumen de información disponible sector acuífero Aconcagua. 73

Tabla 5.4: Criterios y comentarios sobre la aplicación en sector acuífero El Loa. 85

Tabla 5.5: Matriz factorial de parámetros en sector acuífero El Loa. 89

Tabla 5.6: Origen principal de parámetros en sector acuífero El Loa. 91

Tabla 5.7: Criterios y comentarios sobre la aplicación en sector acuífero Los Choros. 102

Tabla 5.8: Matriz factorial de parámetros en sector acuífero Los Choros. 106

Tabla 5.9: Origen principal de parámetros en acuífero Los Choros. 108

Tabla 5.10: Criterios y Comentarios sobre la aplicación en sector acuífero Aconcagua. 120

Tabla 5.11: Matriz factorial de análisis ACP en sector acuífero Aconcagua. 123

Tabla 5.12: Origen principal de parámetros en sector acuífero Aconcagua. 125

Tabla 6.1. Perímetros de zonas de protección alrededor de pozos. 144

Tabla 6.2: Ventajas y desventajas de las tecnologías de remediación, según lugar. 146

Tabla 6.3: Ventajas y desventajas de las tecnologías de remediación, según tipo. 147

Tabla 7.1: Clasificación de condición del acuífero según grado de explotación. 165

Tabla 7.2: Recomendación de densidad de monitoreo (km^2/punto) en acuíferos. 166

Tabla 7.3: Clasificación de distribución espacial de red de monitoreo en acuíferos 166

Tabla 7.4: Parámetros mínimos a medir. 168

Tabla 7.5: Frecuencia mínima de monitoreo según condiciones de acuífero. 169

Tabla 7.6: Recomendaciones para toma, transporte y análisis de muestras. 170

Tabla 7.7: Descripción de pozos de actual red de monitoreo de calidad 180

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 01: Índices de calidad sector acuífero El Loa.

Mapa 02: Índices de calidad sector acuífero Los Choros.

Mapa 03: Índices de calidad sector acuífero Aconcagua.

Mapa 04: Red de muestreo propuesta y mapa de suelos sector acuífero El Loa.

Mapa 05: Red de muestreo propuesta sector acuífero Los Choros.

Mapa 06: Red de muestreo propuesta y mapa de suelos sector acuífero Aconcagua.

1 INTRODUCCIÓN

Desde 1990, Chile ha experimentado un crecimiento económico rápido, crecientemente diversificado y liderado por las exportaciones, con un incremento del 108% del PIB. Este desarrollo económico ha tenido como consecuencia una reducción significativa de la pobreza, pero asimismo, ha ejercido una considerable presión sobre algunos recursos naturales, sobre todo en los sectores de mayor auge como la minería, la silvoagricultura y la acuicultura (OCDE, 2005).

Este acelerado desarrollo económico del país ha generado una creciente demanda de agua, provocando en algunos casos efectos negativos sobre los sistemas hídricos no sólo en su disponibilidad sino que también en su calidad. A partir de 1990, junto con la completa reinserción de Chile en el concierto económico internacional, las evidencias de una creciente degradación ambiental, condujeron a dar mayor énfasis a la protección ambiental.

Actualmente, en algunas zonas del país existe una explotación intensiva del agua subterránea, la que puede provocar el deterioro de su calidad química por diferentes causas, entre ellas la intrusión salina, contaminación difusa, drenajes salinos, etc. Además, la intensidad de la reutilización del recurso implica el deterioro de la calidad del agua de recarga a los acuíferos, incorporándose elementos potencialmente perjudiciales tales como fertilizantes, pesticidas, metales, elementos procedentes de la lixiviación de suelos, etc.

A pesar de la calidad aceptable de la mayor parte de los cuerpos de agua subterránea de Chile, ésta puede ser mala en algunos acuíferos debido a los vertidos urbanos e industriales de residuos líquidos no tratados. También existe la presión de metales pesados de la minería en el norte, y los agroquímicos en las zonas rurales del país. Del mismo modo debe tenerse en cuenta que especialmente en la zona norte existen masas de agua subterránea que presentan altos contenidos naturales de algunos iones, incluso en niveles nocivos, simplemente producto de la interacción agua-roca, es decir, su origen es geológico (natural).

Entre las atribuciones de la Dirección General de Aguas (DGA) está la investigación, planificación y medición de la calidad de las aguas continentales del país. Para ello, la DGA opera y mantiene el Servicio Hidrométrico Nacional, dentro del cual se encuentra la Red de

Monitoreo de la Calidad de Aguas Subterráneas. A su vez, el artículo 33 de la Ley 19.300, obliga a los servicios del Estado con competencia ambiental a desarrollar programas de medición y control de la calidad ambiental del aire, agua, suelo, para los efectos de velar por el derecho de vivir en un medio ambiente libre de contaminación que garantiza la Constitución de Chile. Por otra parte, el D.S. N°46/2002 "Norma de Emisión de Residuos Líquidos a Aguas Subterráneas" que regula las descargas de efluentes provenientes de procesos productivos, le asigna a la Dirección General de Aguas la responsabilidad de la determinación de la vulnerabilidad de los acuíferos y del contenido natural de la zona saturada del acuífero. Esto último, deberá ser realizado teniendo en cuenta los datos de la Red de Monitoreo de Calidad de Aguas Subterráneas de la DGA.

Adicionalmente, el Código de Aguas y la Resolución DGA Nº425 de fecha 31 de diciembre de 2007 le entrega la facultad a la DGA de limitar una solicitud de exploración, y declarar área de restricción o zona de prohibición para nuevas explotaciones cuando se compruebe que la explotación está produciendo la contaminación de las aguas del sector.

En este contexto, la DGA licitó el estudio de "Diagnóstico y clasificación de sectores acuíferos" en búsqueda de desarrollar las bases para la caracterización, en términos de calidad, de los recursos hídricos subterráneos. En este estudio se busca desarrollar las bases para la caracterización, en términos de calidad, de los recursos hídricos subterráneos, además de desarrollar metodologías que permitan proponer cuerpos normativos respecto a la protección de los recursos hídricos subterráneos.

La importancia del estudio radica, en primer lugar, en disponer de una metodología que permita clasificar sectores acuíferos en cuanto a la calidad del recurso hídrico subterráneo. En segundo lugar, generar los antecedentes necesarios para la postulación de una normativa ambiental tendiente a la protección de los recursos hídricos subterráneos. Y por último permitir mejorar y potenciar la Red de Monitoreo de la Calidad de Aguas Subterráneas del Servicio.

El alcance geográfico del estudio consiste en sectores acuífero que incluyan las zonas delimitadas por la Dirección General de Aguas en la Tabla 1.1. La mayoría de los acuíferos considerados corresponden al tipo detríticos, sin embargo poseen características bastante

particulares que los diferencian. Por un lado, la localización geográfica en la que se encuentran, afecta a su recarga, tiempo de residencia de las aguas, disponibilidad de recurso y características hidroquímicas, y por otro, las actividades que se realizan sobre ellos, y la tasa extractiva a las que están sometidos también influyen en su estado químico.

Tabla 1.1: Zonas delimitadas por la DGA para definición de sectores acuíferos del estudio.

Nº	**Sector acuífero**	**Tipo**	**Región**	**Resolución**	**Fecha DGA**	**Toma de razón**
1	Azapa	Zona de Prohibición	I	DGA 202	19-03-1996	09-04-1996
2	Lluta		I			
3	Pampa del Tamarugal		I			
4	Salar de Coposa	Área de Restricción	I	DGA 655	10-7-2002	31-7-2002
5	El Loa		II			
6	Los Choros		IV			
7	Maipo	Área de Restricción	RM	DGA 286	01-09-2005	15-09-2005
		Área de Restricción	RM	DGA 540	21-09-2001	10-10-2001
		Área de Restricción	RM	DGA 62	23-01-2001	07-02-2001
8	Mapocho Alto	Área de Restricción	RM	DGA 293	27-07-2004	16-09-2004
9	La Ligua		V			
10	Maitenlahue		V			
11	Río Aconcagua		V			
12	Estero Las Cadenas	Área de Restricción	VI	DGA 381	15/11/2005	14-12-2005

2 OBJETIVOS

El presente estudio tiene por motivación central desarrollar las bases metodológicas para la caracterización, en términos de calidad química, de los cuerpos de aguas subterráneas del país, de modo de establecer con posterioridad criterios para su control, gestión y protección. Así, los objetivos generales del proyecto son:

- Desarrollar una metodología que permita caracterizar sectores acuíferos en cuanto a la calidad química de los recursos hídricos subterráneos, estableciendo criterios para la protección de ellos.
- Aplicar esta metodología en sectores acuíferos previamente definidos en conjunto con la Autoridad, considerando los niveles de explotación, la calidad química, el riesgo de contaminación que presenten.

En el estudio se distingue una serie de objetivos específicos o tareas concretas para la consecución del objetivo general, y que se mencionan a continuación:

- Recopilar antecedentes de calidad de aguas en sectores acuíferos delimitados por la DGA y su caracterización de los sectores acuíferos en cuanto a la calidad de sus aguas, niveles de explotación y carga de contaminantes.
- Revisar la experiencia nacional e internacional en cuanto a instrumentos de protección de acuíferos y metodologías de clasificación de los mismos.
- Identificar variables que representen amenazas potenciales para la calidad del agua subterránea de los acuíferos.
- Desarrollar una metodología de clasificación de acuíferos y su aplicación en acuíferos pilotos.
- Establecer y validar instrumentos de protección de acuíferos.
- Analizar y diagnosticar las características constructivas de los pozos de la Red de Monitoreo de Calidad de Aguas Subterráneas de la DGA, para luego mejorarla y potenciarla.

3 METODOLOGÍA DE TRABAJO

El estudio fue desarrollado mediante la ejecución de seis etapas, todas conducentes a alcanzar los objetivos generales del proyecto. A continuación se presenta un detalle de las tareas realizadas en cada una de ellas.

Etapa 1: Recopilación de antecedentes y análisis de la información

- Definición de límites de sectores acuíferos en conjunto con la DGA.
- Recopilación de información de la DGA:
    - Niveles piezométricos y de calidad química de aguas subterráneas proveniente de la red de monitoreo.
    - Cartografía.
    - Estudios y documentos del Centro de Información de Recursos Hídricos (CIRH).
- Recopilación de información de otras instituciones públicas:
    - Vulnerabilidad de acuíferos y límites de acuíferos a partir de estudios del SERNAGEOMIN.
    - Caudales y coordenadas de descargas a acuíferos a partir de informes de la SISS.
- Recopilación de información de universidades y centros regionales:
    - Estudios realizados por distintas universidades (Católica del Norte, Arturo Prat, de Antofagasta, de la Serena, de Valparaíso, de Coquimbo, de Tarapacá).
    - Estudios realizados por centros de investigación regionales, CEAZA (Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas) y CAZALAC (Centro del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y el Caribe).
- Sistematización y diagnóstico de la información para cada sector acuífero:
    - Respecto de la calidad química proveniente de la DGA: i) revisión de balance iónico, y ii) cálculo de densidad de estaciones de monitoreo.

- Respecto al nivel piezométrico proveniente de la DGA: i) verificación de información topográfica, y ii) análisis de tendencia temporal.
- Respecto a la información obtenida de fuentes distintas a la DGA, se verificó: i) la existencia de nivel piezométrico y los análisis químicos e isotópicos, ii) los datos de uso de suelo, iii) el comportamiento general del acuífero, y iv) los principales riesgos ambientales. La información de estudios realizados por fuentes distintas a la DGA fueron resumidos en fichas y se presentan en Anexos (Sección 1.1).
- Toda la información obtenida fue sintetizada en fichas resumen de cada sector acuífero.

- Manejo y análisis de la información mediante programa GIS.

Etapa 2: Revisión de experiencia nacional e internacional

- Revisión de normativas ambientales (Norma Chilena, Directiva de las Comunidades Europeas, Estándares Nacionales Primarios y Secundarios de Agua Potable para E.E.U.U., y directrices de la Organización Mundial de la Salud para el agua potable).
- Revisión de los siguientes aspectos fundamentales relativos a clasificación y protección de acuíferos abarcando los siguientes aspectos fundamentales: i) criterios de clasificación de los acuíferos e información mínima requerida, ii) metodologías de clasificación, iii) estándares de calidad de aguas subterráneas utilizados en otros países, e iv) instrumentos de protección de acuíferos existentes en otros países.
- Análisis crítico de los documentos revisados con el objetivo de proponer una metodología de clasificación de calidad e instrumentos de protección de acuíferos adecuados a la realidad nacional.

Etapa 3: Desarrollo de una metodología de clasificación de sectores acuífero

- Elaboración de una propuesta metodológica para la clasificación de sectores acuíferos, en base a la realidad chilena y a la experiencia internacional.
- Aplicación preliminar de metodologías internacionales y de propuesta metodológica en un acuífero piloto y evaluación crítica de resultados.

- Evaluación crítica de: i) la información disponible para aplicar la metodología propuesta, y ii) la necesidad de realizar muestreos de calidad de aguas subterráneas en sectores acuífero seleccionados para ello.

Etapa 4: Diseño de la metodología y aplicación en sectores acuífero

- Ejecución y análisis de campañas de muestreo realizadas en acuíferos pilotos, con el objetivo de contar con una base de datos actualizada y acorde a los requerimientos de la metodología diseñada.
- Diseño final de una metodología para la clasificación de la calidad de aguas subterráneas en sectores acuífero, en base a los resultados obtenidos en etapas anteriores, incluyendo una caracterización de la calidad química de las aguas de un sector acuífero, así como una caracterización de su origen y de su tendencia temporal.
- Aplicación de la metodología en tres sectores acuífero piloto de distintas características con el objetivo de evaluar su desempeño.

Etapa 5: Instrumentos para la protección de la calidad del agua subterránea y revisión de actual red de monitoreo de calidad de aguas subterráneas de la DGA

- Discusión de las medidas de protección que aborden la calidad del agua y del régimen de explotación sustentable clasificadas en: i) conocimiento e investigación, ii) educacionales, iii) políticas y económicas, y iv) de acción directa.
- Definición de instrumentos de protección en sectores acuífero seleccionados y evaluación de su factibilidad de implementación.
- Análisis de la actual red de monitoreo de calidad de aguas subterráneas de la DGA en sectores acuífero seleccionados en base a criterios constructivos y de representatividad.
- Proposición de una nueva red de monitoreo de la calidad química de aguas subterráneas en los sectores acuíferos seleccionados que permita la correcta aplicación de la metodología propuesta.

Etapa 6: Informe final y difusión

- Desarrollo de informe final del proyecto que contenga todos los aspectos tratados en las etapas anteriores del proyecto, con especial énfasis en aquellos aspectos que dan cumplimiento a los objetivos generales del proyecto.
- Difusión del proyecto en base a un Informe ejecutivo que presente sus principales resultados, y talleres de difusión para profesionales de la DGA y personal de otros servicios públicos.

El presente informe final forma parte de las actividades de la Etapa 6 y está compuesto por dos volúmenes. El primer volumen está estructurado en cinco capítulos, tal como se detalla más adelante, mientras que el segundo volumen está conformado por los Anexos.

Los capítulos 1, 2 y 3 corresponden a la introducción, los objetivos y la metodología general de trabajo.

El Capítulo 4 describe la metodología de clasificación de calidad de sectores acuífero, en su forma final y revisada por la DGA. Aquí se menciona los criterios de la metodología y su esquema general, los requerimientos de información, la determinación del índice de calidad químico, el análisis temporal de dicho índice y el análisis estadístico para determinar el origen de compuestos disueltos.

El Capítulo 5 presenta la aplicación de la metodología diseñada en los tres sectores acuíferos seleccionados, estos son El Loa, Los Choros y Aconcagua. Para cada sector acuífero seleccionado se presenta los antecedentes disponibles, la elección de parámetros, el análisis de los parámetros usados, la determinación del índice de calidad química, el análisis estadístico y el análisis temporal.

El Capítulo 6 presenta los instrumentos de protección de la calidad de aguas subterráneas. Primero se realiza una descripción de tales instrumentos de protección, para luego analizar su aplicabilidad en los sectores acuíferos seleccionados.

El Capítulo 7 presenta una propuesta de red de monitoreo de calidad de aguas subterráneas para los sectores acuíferos seleccionados, en base a criterios de diseño y a la revisión de la

actual red de monitoreo de la calidad de aguas subterráneas que posee la DGA. Adicional a la propuesta de distribución espacial, en este capítulo se indica otros aspectos como frecuencia de medición, parámetros a analizar y características constructivas.

Por último, se menciona las conclusiones del informe, y por ende del proyecto completo, tanto referidas a la metodología de clasificación de sectores acuífero como de los instrumentos de protección. Además, dada la experiencia alcanzada durante la ejecución de este estudio, se propone recomendaciones para futuros trabajos.

4 METODOLOGÍA DE CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS

La metodología diseñada para la clasificación de acuíferos en cuanto a la calidad de sus aguas, toma como base el análisis crítico de todas las metodologías estudiadas y los antecedentes revisados en las primeras etapas del proyecto (Capítulo 2, Anexos). Esta metodología se ha desarrollado en base a los siguientes pilares fundamentales:

- El análisis de las concentraciones químicas del agua subterránea, tanto de parámetros de análisis común como de interés local.
- La comparación de las concentraciones observadas en el agua subterránea con diferentes normas de calidad.
- La generación y representación espacial y temporal de un índice de calidad mediante una herramienta de sistemas de información geográfica (SIG).
- El análisis estadístico multivariado para visualizar las agrupaciones y correlaciones de elementos que posiblemente provienen de una misma fuente.

El detalle de los criterios adoptados para el diseño de la metodología y la descripción de su estructura y funcionamiento se detalla en las siguientes secciones de este capítulo. La validación de esta metodología ha sido realizada a través de su aplicación en los sectores acuífero El Loa, Los Choros y Aconcagua.

4.1 Antecedentes y criterios de la metodología

Los criterios y antecedentes necesarios para aplicar la metodología se obtuvieron de acuerdo a una revisión y análisis crítico de las metodologías internacionales (Capítulo 2, Anexos) de clasificación de calidad química de acuíferos, incorporando el tipo de información que se dispone en nuestro país. A continuación se describe los principales criterios y características de la metodología diseñada:

- Requiere de una caracterización geológica e hidrogeológica del acuífero (tipo de acuífero, nivel de explotación, etc.) y un análisis de consistencia de datos (espacial, temporal y de variables analizadas).

- Clasifica la calidad química de un determinado acuífero en base a la calidad química de sus aguas subterráneas, donde se calcula un índice principal único (índice de calidad), con categorías cualitativas y que es representable espacialmente mediante un mapa.
- El índice de calidad se genera a partir de la comparación de la concentración de parámetros químicos con normas o referencias oficiales de calidad de aguas respecto a su uso (potable, riego, etc.) y respecto a niveles de tratamiento necesarios para corregir una determinada limitación al uso. De este modo, los rangos de calidad química de las aguas pueden ser relacionados con un uso, o potencial uso de las mismas.
- El índice de calidad es complementado con clasificaciones adicionales que dan cuenta del origen o explicación de ésta; por ejemplo, si una determinada agua debe su calidad a un origen natural o antrópico (industrial, agrícola, asentamientos humanos, etc.).
- Para el cálculo del índice de calidad, la metodología utiliza parámetros de análisis común, que habitualmente están disponibles para su aplicación a lo largo del país. De este modo los resultados son comparables entre acuíferos de distintas zonas y regiones. También es posible incluir algunos parámetros específicos de carácter local, como son ciertas condiciones naturales (Arsénico, Aluminio, Hierro, Manganeso, etc.) o de riesgos industriales (hidrocarburos, pesticidas).
- Incorpora análisis estadístico de las relaciones que pueden existir entre los distintos parámetros para definir un origen común.
- Permite la comparación temporal de la calidad química de las aguas para un mismo acuífero, de modo que se indiquen los cambios que sufre ésta en el tiempo, por ejemplo con el período anterior o la línea base.
- Los resultados finales de la calidad se visualizan, a través de mapas facilitando la lectura e interpretación de personas no especialistas, con las clases de calidad previamente definidas y descritas.

4.2 Esquema general de la metodología

La Figura 4.1 muestra un esquema general de la metodología, la cual permite por una parte, obtener los mapas de calidad de las aguas del acuífero a partir del cálculo del índice de calidad

(IC) para un instante o período dado, y por otro, determinar la o las fuentes de origen de los distintos parámetros químicos disueltos en ellas. También indica la potencialidad de realizar comparaciones temporales de la calidad en un mismo acuífero.

Para el cálculo del índice de calidad (IC), la metodología necesita obtener mapas de isoconcentración de cada uno de los parámetros químicos involucrados en el cálculo, los cuales representan también resultados parciales de la misma metodología. Estos mapas se utilizan para clasificar la calidad química de cada parámetro químico involucrado en el cálculo (IC individual) según la clasificación propuesta. Esta clasificación presenta un rango de variación continuo entre 0 (mejor) y 5 (peor), dividido en cinco clases de calidad: excepcional, buena, regular, insuficiente e intratable. Posteriormente, a partir del IC individual se obtiene la calidad global del acuífero (IC general) adoptando criterios adecuados, presentados más adelante, que consideren como base aquellos elementos químicos que presentan mayor riesgo para la salud humana. El IC general también toma valores en el rango continuo de 0 a 5, sin embargo su representación espacial es discretizada sólo en 5 clases. De este modo, se cuenta con mapas que indican la concentración espacial de cada parámetro químico de interés, mapas que indican el IC individual de cada uno de ellos y un mapa con el IC general de todo el acuífero. Todos estos mapas son reflejo de la calidad química del acuífero analizado para un horizonte temporal dado (año, estación, mes, línea de base, etc.).

En caso de contar con clasificaciones de calidad en períodos de tiempo distintos, para un mismo acuífero, es posible evaluar los cambios entre ellos, indicando si la calidad mejora, se mantiene o empeora, lo que constituye el análisis temporal de la metodología.

Por otra parte, mediante un análisis estadístico se pretende identificar las fuentes (naturales o antrópicas) que determinan la presencia y/o concentración encontrada de los parámetros químicos en cada sector del acuífero, en base a relaciones existentes entre ellos.

A partir de la combinación de los resultados de cada análisis, químico, temporal y estadístico, se obtiene mapas de la calidad química del acuífero, caracterizadas según su origen y/o tendencia temporal.

Los distintos pasos de la aplicación de la metodología se describen en los siguientes apartados de este informe.

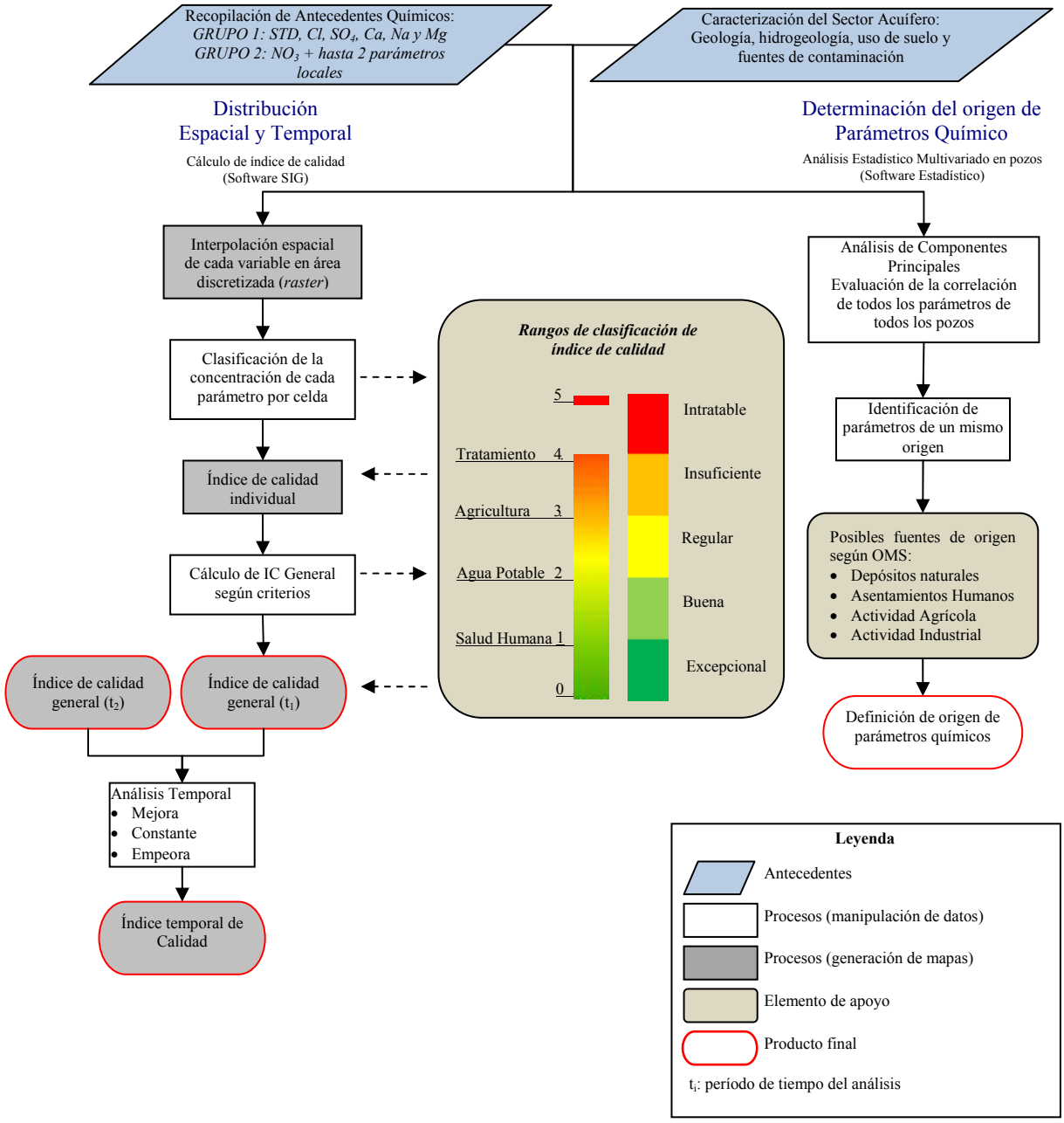


Figura 4.1: Esquema y diagrama de flujo de la metodología.

4.2.1 Herramientas SIG y métodos de interpolación

Previo a la aplicación de la metodología a un acuífero es necesario disponer de información general hidrogeológica e hidrológica relevante de éste para su estudio y comprensión, como: la red de drenaje, topografía, geología, puntos de monitoreo, centros urbanos e industriales, etc. En este sentido, usar programas computacionales de Sistemas de Información Geográfica (SIG) es indispensable para controlar y manejar esta información. Estos programas además de superponer mapas con distinta información del acuífero, permiten construir nuevos mapas que visualizan características espaciales de éste, como la concentración de determinados parámetros químicos, la calidad química de sus aguas o cualquier otra propiedad determinada previamente, facilitando la lectura intuitiva de los resultados, incluso de personas no familiarizadas con estos programas.

Otras herramientas utilizadas en la metodología y que también forma parte de un SIG, son las herramientas de interpolación espacial de datos puntuales, por ejemplo valores de concentración de parámetros químicos en puntos de observación. Existen distintos métodos de interpolación que pueden ser utilizados, siempre bajo la hipótesis que la concentración de los parámetros físico-químicos es continua en el espacio y que posee correlación espacial. El método de interpolación debe ser elegido bajo criterio experto tomando en cuenta al menos los siguientes aspectos:

- Cantidad y ubicación de los puntos muestreados.
- Superficie del acuífero.
- Tamaño de la grilla de interpolación.
- Relación entre los valores de la medición entre muestras cercanas.
- Geometría del acuífero y consideración de barreras naturales hidrogeológicas.
- Consideraciones especiales por diferencias de acuíferos muestreados.

La Tabla 4.1 presenta una breve reseña de los principales métodos de interpolación que pueden utilizarse y sus características más importantes. Uno de los métodos más recomendados es el método de *Kriging*, aunque en caso de acuíferos con geometría más compleja (encajonamientos por barreras hidrogeológicas) podría ser necesario utilizar otros métodos como *Spline* con barreras. El uso de estos métodos de interpolación espacial,

incorporados como herramientas en programas SIG, entregan como resultado un mapa tipo *raster*, es decir un área discretizada en celdas en que cada una de ellas tiene un valor numérico de la propiedad interpolada a partir de los datos puntuales.

Además de la gran utilidad que representa el uso de herramientas SIG, incluyendo la interpolación espacial y la visualización espacial de propiedades del acuífero, es importante destacar que la mayoría de las metodologías internacionales evaluadas las utilizan en forma intensiva (Anexos, Sección 2.3).

Tabla 4.1: Principales métodos de interpolación y sus características.

Método	Determinístico / Estocástico	Vecindad Local / Global	Transición Abrupta / Global	Interpolador exacto	Limitantes del método	Recomendable para	Procesamiento computacional	Estructura de salida de datos	Supuestos planteados al modelo
Kriging	Estocástico	Local con variogramas globales. Local con variogramas locales cuando se estratifica. Local con tendencias globales	Gradual	Sí	El error en las estimaciones depende del variograma, de la distribución de los datos puntuales, y del tamaño de los bloques interpolados. Requiere cuidado el elegir qué modelo de correlación espacial se querrá obtener	Cuando los datos son suficientes para computar variogramas y *Kriging* como un método para tratar con datos dispersos. Datos binarios y nominales pueden ser interpolados con indicadores de *Kriging*. Información suave y gradual podría ser también incorporada como tendencias o estratificaciones. Datos multivariados también pueden ser interpolados mediante co-*kriging*.	Moderado	Grilla continua representada en una superficie	La superficie interpolada es lisa Existen hipótesis que operan bajo estadísticas estacionarias

Tabla 4.1: Principales métodos de interpolación y sus características.

Método	Determinístico / Estocástico	Vecindad Local / Global	Transición Abrupta / Global	Interpolador exacto	Limitantes del método	Recomendable para	Procesamiento computacional	Estructura de salida de datos	Supuestos planteados al modelo
Simulación Condicional	Estocástico	Local con variogramas globales. Local con variogramas locales cuando se estratifica. Local con tendencias globales.	Irregular	No		Se desea obtener excelentes estimaciones sobre el rango posible de valores para un atributo o localizaciones no muestrales. En este caso se hace necesario un análisis Monte Carlo u otro tipo de modelo numérico	Moderado a fuerte	Grilla continua representada en una superficie	Existen hipótesis que operan bajo estadísticas estacionarias
Método de Tobler	Determinístico	Local	Gradual	No	Los datos de entrada corresponden a cuentas (frecuencia) o densidades	Pasar de modelos con resultados de distribución espacial discreta a superficies continuas	Liviano a moderado	Grilla continua representada en una superficie, o contornos *raster*	Continuidad espacial y variación gradual de los datos dentro de la superficie
Interpolación lineal	Determinístico	Local	Gradual	Sí	No presenta limitantes	Para interpolar a partir de puntos cuando la densidad de datos es alta y para convertir una grilla de un sistema de proyección a otro	Liviano	Grilla continua, representada en una superficie	Soporta una gran densidad de datos de entrada y salida; muchos más que una aproximación lineal

Tabla 4.1: Principales métodos de interpolación y sus características.

Método	**Determinístico / Estocástico**	**Vecindad Local / Global**	**Transición Abrupta / Global**	**Interpolador exacto**	**Limitantes del método**	**Recomendable para**	**Procesamiento computacional**	**Estructura de salida de datos**	**Supuestos planteados al modelo**
Interpolación de Ponderación Inversa de la Distancia o IDW (*Inverse Distance Weighted*)	Determinístico	Local	Gradual	No con superficies lisas, pero puede ser forzado	Los resultados dependen del tamaño de la ventana de búsqueda y la elección de los pesos para los parámetros.	Una interpolación rápida de la dispersión de datos puntuales en una grilla regular o irregularmente espaciada	Liviano	Grilla continua representada en una superficie, o contornos *raster*	Datos equitativa-mente distribuidos para evitar el efecto *cluster*
Spline y Spline con Barreras	Determinístico con componentes locales estocásticos	Local	Gradual	Sí, con límites graduales	Es posible obtener muy buenos resultados	Una interpolación rápida (univariada o multivariada) de datos digitales de elevación y atributos relacionados con la creación de DEMs con un moderado nivel de detalle	Liviano	Grilla continua representada en una superficie, o contornos *raster*	Toda la superficie sobre la cual opera el modelo presenta suaves variaciones
Clasificación	Determinístico	Global	Abrupta si es que se usa sin otro método complementario	No	La delimitación de áreas y clases puede ser subjetiva, principalmente por efectos de la desviación estándar.	Para estimaciones rápidas cuando los datos son muy dispersos. Para remover diferencias sistemáticas antes de efectuar una interpolación a partir de datos puntuales	Liviano	Polígonos clasificados	Existe homoge-neidad en los datos con los bordes

Tabla 4.1: Principales métodos de interpolación y sus características.

Método	Determinístico / Estocástico	Vecindad Local / Global	Transición Abrupta / Global	Interpolador exacto	Limitantes del método	Recomendable para	Procesamiento computacional	Estructura de salida de datos	Supuestos planteados al modelo
Superficies de Tendencia	Esencialmente determinístico (modelos empíricos)	Global	Gradual	No	El efecto físico de la tendencia no siempre es claro. Características de los bordes de polígonos pueden distorsionar el aspecto general de la superficie y puede ocasionar interpretaciones erróneas.	Para cálculos rápidos de tendencias generales o gruesas.	Liviano	Grilla continua representada en una superficie	Datos normalmente distribuidos
Modelos de Regresión	Esencialmente determinantico (modelos empíricos y estadísticos)	Global con ajustes locales	Gradual si los datos de entrada presentan variación gradual	No	Los resultados dependen fuertemente del modelo de regresión y de la calidad de los datos de entrada.	Como buena alternativa de modelación cuando otros modelos más apropiados no están disponibles o no hay presupuesto para utilizarlos	Liviano	Polígonos o grilla continua representada en una superficie	Modelo extrapolable a toda la superficie
Polígonos de Thyssen	Determinístico	Local	Abrupta	Sí	Sólo actúa un solo punto por polígono. El modelo de teselas depende de la distribución de los datos	Trabajar con datos de observaciones puntuales y nominales	Liviano	Polígonos o grilla	Excelente predicción mientras más cercanos sean los puntos

Fuente: Apunte "La interpolación espacial y los modelos digitales de terreno" del curso "Sistemas de Información Geográfica" de la Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Chile. Accesible en < https://www.u-cursos.cl/forestal/2008/2/EF078/1/material_docente/> [Citado: 13 de abril de 2009]

4.2.2 Parámetros químicos que utiliza la metodología

La calidad química del agua subterránea queda definida por los valores de concentración de todos los parámetros físico-químicos que se puedan evaluar y contrastarse con una normativa vigente. Sin embargo, al momento de definir un índice de calidad es necesario escoger un número de parámetros químicos con los cuales trabajar, considerando por ejemplo: objetivos, consistencia, disponibilidad, relevancia, concentración, origen, recursos, redundancia de información, comparabilidad, etc.

A partir de la revisión de los parámetros que utilizan las distintas metodologías internacionales (Anexos, Sección 2.2) y aquellos normalmente analizados en los planes de monitoreo de nuestro país, especialmente de la Dirección General de Aguas (Anexos, Sección 1.1), además de considerar los objetivos del proyecto, se decidió trabajar en esta metodología con los parámetros que se describen a continuación.

La metodología contempla trabajar con dos grupos de parámetros (Tabla 4.2). El primer grupo está conformado por los parámetros químicos Sólidos Disueltos Totales (SDT), Cloruros (Cl), Sulfatos (SO_4), Calcio (Ca), Sodio (Na) y Magnesio (Mg), que corresponden a parámetros comúnmente realizados en cualquier muestra de agua y que además son utilizados en la mayoría de las metodologías internacionales. Estos parámetros se encuentran siempre disueltos en las aguas en forma natural, y el aumento de sus concentraciones puede deberse a efectos antrópicos. El segundo grupo está conformado por parámetros químicos que dan cuenta de la singularidad de cada acuífero y está conformado por un máximo de tres parámetros: la concentración de Nitratos (NO_3), más la concentración de dos elementos minoritarios que pueden escogerse en forma libre para cada acuífero, siempre y cuando reflejen las particularidades del mismo, ya sea por causas naturales o artificiales.

Tabla 4.2: Parámetros químicos utilizados en la metodología.

Grupo 1	Grupo 2
Sólidos Disueltos Totales (SDT)	Nitratos (NO_3)
Cloruros (Cl)	Parámetro Local 1 (PL1)
Calcio (Ca)	Parámetro Local 2 (PL2)
Sulfatos (SO_4)	
Sodio (Na)	
Magnesio (Mg)	

Los siete parámetros fijos, seis del grupo 1 y uno del grupo 2, normalmente son determinados en los análisis de agua y permiten definir la calidad de las aguas sin redundancia de información. Este concepto se refiere a parámetros altamente correlacionados, como son por ejemplo los SDT y la Conductividad Eléctrica, de modo que debe considerarse sólo uno de ellos dentro de la determinación del índice de calidad. Con esto, la aplicación de la metodología se realiza sobre la base de los mismos parámetros, facilitando la aplicación a nivel país y permitiendo la comparación de resultados de distintas zonas.

Los dos parámetros libres del grupo 2 responden al interés de incorporar parámetros locales que den cuenta de las particularidades específicas de cada acuífero, por ejemplo la presencia en altas concentraciones de Arsénico o Boro en el agua subterránea de la zona norte de Chile, y la contaminación por hidrocarburos o por aguas servidas, y que no necesariamente se ven reflejados en los parámetros fijos. Por otra parte estos parámetros locales no siempre son medidos en todos los sectores acuífero, pues depende de sus características y problemáticas.

Es importante señalar que a pesar del uso de siete parámetros químicos fijos por parte de la metodología, se requiere un análisis químico completo de las muestras de agua subterránea. En efecto, estos siete parámetros fijos deben formar parte de un conjunto mayor de parámetros analizados en cada muestra de agua subterránea, donde la cantidad total dependerá de cada zona de estudio y del uso que pueda darse a los resultados obtenidos. La Tabla 4.3 menciona los parámetros más comúnmente medidos en el agua subterránea y que son coincidentes con los monitoreados por la DGA (Anexos, Sección 1.1). La primera columna indica parámetros mínimos necesarios para una caracterización química básica del agua subterránea de un sector,

y entre los cuales se encuentran los siete parámetros fijos de la metodología. La segunda columna indica parámetros adicionales que pueden ser de interés local, ya que la normativa vigente de agua potable (INN, 2006) los califica como perjudiciales para la salud humana.

Tabla 4.3: Parámetros a medir en caracterización química.

Parámetros mínimos	**Parámetros que pueden afectar la salud humana**
pH	Cobre (Cu)
Conductividad eléctrica	Cromo total (Cr)
Bicarbonato (HCO_3)	Fluoruro (F)
Carbonato (CO_3)	Hierro (Fe)
Potasio (K)	Manganeso (Mn)
Cloruro (Cl)	Selenio (Se)
Sulfato (SO4)	Zinc (Zn)
Calcio (Ca)	Arsénico (As)
Sodio (Na)	Cadmio (Cd)
Magnesio (Mg)	Cianuro (CN)
Sólidos disueltos totales (SDT)	Mercurio (Hg)
Nitratos (NO_3)	Nitrito (NO_2)
	Plomo (Pb)

4.2.3 Depuración de la información química

Cabe mencionar que al momento de disponer de la concentración de los parámetros, es necesario analizar la validez de ellos, revisando los antecedentes disponibles y verificando, al menos, que el error en el balance iónico del análisis químico sea aceptable. El error de balance iónico no debe ser mayor a 5% (en términos absolutos) según la expresión que se presenta a continuación (Ec. 1):

$$error\ (\%) = \frac{\sum cationes - \sum aniones}{\sum cationes + \sum aniones} \cdot 100 \leq 5\% \qquad \text{Ec. 1}$$

La Tabla 4.4 presenta los cationes y aniones (disueltos) con que se realiza el balance iónico en aguas subterráneas. Para realizar este balance todos los compuestos deben estar expresados en miliequivalentes por litro (meq/L).

Tabla 4.4: Aniones y cationes mínimo necesarios para determinar el balance iónico.

Cationes	Aniones
Ca	HCO_3
Mg	CO_3
Na	SO_4
K	Cl
	NO_3

La metodología puede ser aplicada con la frecuencia temporal que se desee (anual, semestral, etc.) en vista de los objetivos del estudio específico. Por lo tanto, la idoneidad o conveniencia de utilizar análisis químicos de distintos puntos monitoreados en distintas fechas dependerá, por un lado, de la información disponible, y por el otro, de la variabilidad temporal de la calidad de las aguas o tendencias de los parámetros químicos que exista en el área. También, en el caso de disponer de distintos puntos de muestreo con distinta frecuencia en sus mediciones, puede optarse por alguno de ellos o bien promediar la concentración de sus parámetros medidos en un número determinado de fechas (mediciones mensuales para determinar el valor anual).

Los datos deben corresponder a la misma unidad hidrogeológica, es decir reflejar la calidad química del mismo acuífero, por lo que se debe poner especial cuidado en sectores que presentan más de un acuífero en forma vertical (superior e inferior) o bien que puedan estar conectados lateralmente.

En la depuración de la información química corresponde identificar valores anormales, y por tanto que requieran su verificación, eliminación o reemplazo, de acuerdo a las condiciones de muestreo, de transporte, medición, etc.

Por último, para aquellos valores que no alcancen el límite de detección de los instrumentos es necesario asumir un criterio para dar un valor numérico a la medición, por ejemplo 25% ó 50% de dicho límite.

La información química depurada del acuífero puede ser ordenada como indica la Tabla 4.5.

Tabla 4.5: Planilla ejemplo con valores químicos para aplicar metodología.

Pozo	Coordenadas		Fecha	Grupo 1						Grupo 2		
	E	N	dd/mm/aa	SDT	Cl	SO_4	Ca	Na	Mg	NO_3	PL1	PL2
1	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
2	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…

PL1 y PL2, corresponden a los parámetros locales.

4.3 Caracterización hidrogeológica y química del sector de aplicación

Como primer paso la metodología considera que se debe recopilar antecedentes (físicos, geológicos, hidrogeológicos, de usos del suelo, etc.) del sector acuífero en estudio, de tal forma de conocer su funcionamiento hidrogeológico (acuífero libre, confinado, direcciones de flujo, profundidad de las aguas, etc.) y establecer su estado de explotación para un momento determinado.

Además, se debe identificar las distintas actividades que se desarrollan sobre el acuífero y la ubicación de los asentamientos humanos que existan sobre éste de modo de poder establecer, en forma preliminar, posibles fuentes de productos químicos que puedan generar variaciones en la concentración química natural del agua subterránea. Con este análisis previo se puede proponer algunos elementos químicos para ser considerados como parámetros locales que den cuenta de problemáticas propias del sector acuífero donde se desee aplicar la metodología.

Se debe recopilar también la información existente de análisis de calidad físico-química de las aguas con la cual se aplicará la metodología. Las posibles fuentes de información son las que se listan a continuación:

- Banco Nacional de Aguas (BNA) administrada por la Dirección General de Aguas (DGA). Esta base de datos contiene estaciones de calidad pertenecientes a la Red de Monitoreo Nacional y, si bien posee pocos puntos de medición en lo que se refiere a calidad de aguas subterráneas, resulta valiosa ya que contiene datos con extensión temporal.

- Estudios previos realizados en la zona. Deben revisarse también si existen estudios públicos o privados, de impacto ambiental (Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental), o de caracterización hidrogeoquímica que permitan obtener valores para distintos parámetros para el período en que se realiza el estudio.

Es importante destacar que la cantidad y calidad de la información disponible, en cuanto a su densidad y distribución en el espacio, y en cuanto a número de parámetros analizados, es lo que determinará si ésta es suficiente para ser utilizada en la aplicación de la metodología o si es necesario generar (y por lo tanto muestrear) nueva información. La densidad necesaria de puntos con información no será siempre la misma, sino que dependerá, entre otros aspectos, del grado de explotación del acuífero y de sus características geológicas e hidrogeológicas.

La clasificación sobre su estado de explotación, o de una parte de él, debe evaluarse a partir del análisis de los derechos de aprovechamiento otorgados por la DGA en el área, y mediante el análisis de las variaciones temporales de los niveles piezométricos. La metodología plantea clasificar cada sector acuífero según si se encuentra en una situación de sobreexplotación o sustentabilidad a partir de las siguientes definiciones:

Sobreexplotado: Acuífero que presente alguna de las limitaciones a la explotación de aguas subterráneas por parte de la DGA ("reducción temporal", "área de restricción" o "zona de prohibición" según Capítulo II de Resolución DGA Nº425 publicada en Diario Oficial el 16 de Abril de 2008), o bien que el análisis de la evolución histórica de los niveles piezométricos indique una clara y sostenida tendencia a la disminución.

Sustentable: Acuíferos sin ninguna limitación por parte de la DGA en cuanto a la explotación de aguas subterráneas, y que sus niveles piezométricos no muestran disminuciones sostenidas en el tiempo, sino un equilibrio dinámico o aumento de los mismos. En esta clasificación calzan aquellos acuíferos que se encuentran en un estado natural o que, aunque se desarrolla algún tipo de actividad sobre ellos, ésta no ha afectado sus niveles.

Por otra parte para reflejar adecuadamente las condiciones del acuífero, organismos internacionales (Eurowaternet, 1998), indican que densidades de un pozo de observación por cada 25 km^2 y 100 km^2 son deseables en sitios impactados y no impactados, respectivamente. En el caso que los acuíferos presenten intrusión salina, la experiencia internacional indica que

la densidad debe ser mayor, siendo ésta entre 5 y 10 km^2 por pozo de observación (DGA, 2005).

La Tabla 4.6 propone una clasificación de la representatividad de la información de calidad química del acuífero según el nivel de explotación y la condición del acuífero. La representatividad puede ser *óptima*, *regular* o *deficiente* a partir de los km^2 que representa o caracteriza cada uno de los puntos con información.

Tabla 4.6: Clasificación de representatividad (km^2/punto) de información química, según nivel de explotación y condición del acuífero.

Condición del Acuífero		**Óptima**	**Regular**	**Deficiente**
Sin Intrusión	Sobreexplotada	Menor a 25*	Entre 25 y 150	Mayor a 150
Salina	Sustentable	Menor a 100*	Entre 100 y 200	Mayor a 200
Con Intrusión	Sobreexplotada	Menor a 5**	Entre 5 y 15	Mayor a 15
Salina	Sustentable	Menor a 10**	Entre 10 y 20	Mayor a 20

** Eurowaternet (1998); ** U. de Chile-DGA (2005).*

Además, es importante mencionar que la cantidad de pozos con información debe estar distribuida en el área de estudio lo más homogéneamente posible, ya que muestras concentradas o localizadas en una zona disminuyen enormemente la validez de los métodos de interpolación que se utilizarán para obtener los mapas de isoconcentraciones del acuífero.

En el caso de existir muestras obtenidas en puntos muy cercanos, producto de la resolución de la escala de trabajo (tamaño de celdas *raster*), puede que sea necesario considerarlos como un sólo pozo. Para este tipo de casos, se recomienda promediar los valores registrados de cada parámetro y representarlos en un único punto ficticio en el lugar. Esto resultará válido solamente cuando dichas muestras corresponden a la misma campaña de muestreo.

4.4 Elección de parámetros químicos locales

Los parámetros locales que integran el Grupo 2 de la metodología deben dar cuenta de la calidad química del acuífero, en cuanto a características hidrogeoquímicas de ocurrencia natural o de actividades locales que se desarrollen en el sector acuífero. La elección de los parámetros químicos locales se debe hacer en base a los siguientes pasos:

1. Recopilar antecedentes de posibles efectos que eleven el valor de la concentración de parámetros químicos en el sector acuífero en el que se desea aplicar la metodología:
    - Efectos de origen natural: geología, salares, volcanes, termas, mar.
    - Efectos de origen antrópico: derrames industriales, depósitos de residuos industriales líquidos (RILes), tranques de relave, vertederos, actividades agrícolas, ganaderas, etc.
2. Analizar las fuentes contaminantes, en cuanto a parámetros químicos asociados y valores propuestos por normas nacionales e internacionales de agua potable y riego, y su porcentaje de remoción mediante un tratamiento tradicional para agua potable.
3. Escoger dos parámetros siguiendo algún criterio establecido, por ejemplo:
    - parámetros más abundantes con respecto a una de las normas consideradas,
    - parámetros más riesgosos para la salud,
    - elementos minoritarios de mayor concentración,
    - parámetros no correlacionados y representativos de actividades antrópicas distintas.

A continuación se hace un desglose entre aquellos parámetros asociados a efectos de ocurrencia natural y de origen antrópico, para aportar ciertas ideas en el momento de escoger los parámetros locales. Este análisis se realizó mediante una recopilación de antecedentes bibliográficos nacionales e internacionales, elaborados por instituciones públicas y/o por investigaciones del ámbito académico.

4.4.1 Elección de posibles elementos de ocurrencia natural

La composición química del agua subterránea es el reflejo de todas las componentes del sistema que integran el sector acuífero: geología, geografía, procesos biológicos, estacionalidad, escorrentía, precipitación, etc. Los principales factores físico-químicos corresponden a pH, turbiedad, temperatura, Oxígeno disuelto, sales y nutrientes orgánicos.

La calidad fisicoquímica depende principalmente de la composición del agua de recarga, las interacciones agua-suelo, suelo-gas y las rocas con las cuales se encuentra en contacto en la zona no saturada, tiempo de residencia y de las distintas reacciones que se producen en el

sector acuífero. Por lo tanto, la calidad puede ser variable incluso en una misma área si existen rocas de distinta composición y solubilidad.

Según los antecedentes geológicos e hidrogeológicos, los flujos de agua, a nivel nacional, atraviesan unidades geológicas en distancias relativamente cortas y con gradientes topográficos relativamente altos. Por esta razón no se asigna un rol de importancia a la litología como elemento influyente a nivel nacional, salvo excepciones en el norte de Chile, como la cuenca del río Loa, y en el sur de Chile, en la Región de Magallanes, donde existen sistemas de drenaje sobre grandes cuencas sedimentarias (SISS, 2001). Luego, los elementos contaminantes de origen natural estarán relacionados con la concentración naturalmente anómala de elementos presentes en zonas donde se ubican yacimientos minerales. El mayor riesgo de contaminación por causas de origen natural se presenta entre las regiones XV de Arica y Parinacota a la IV de Coquimbo, donde existe bajas tasas de precipitación. La Tabla 4.7 presenta una recopilación de los principales posibles parámetros contaminantes de origen natural (DESPOUY, 2005).

Tabla 4.7: Contaminantes naturales típicos de aguas superficiales y subterráneas de Chile.

Región	**Considerados en NCh409/1**	**No considerados en NCh409/1**
XV y I	Cl, SO_4,SDT, As, Mn	Al, B, Li, Mo, Ag, Ba, Asbesto, Sb, Na, U
II	As, Cl	Al, B, Li, Mo, Ag, Be, Ba, Sb, Na, U
III	SO_4, SDT	Al, B, Li, Mo, Va, Ag, Ba, Sb, Na, U
IV	-	Mo, V, Ag, Ba, Asbesto, Sb, U
V	Fe, Mn	Al, Mo, Ba
RM	Fe	Al, Mo, Ba
VI	-	Al, Mo, Sb, U
VII	Fe	Al, Li, V, Asbesto
VIII	Fe, Mn	Al, Ni, Asbesto
IX	Fe, Mn	Al, Mo, Ni, Asbesto
XIV y X	-	Al, Ni, Asbesto, Sb
XI	Fe	Mo, Ag, U
XII	-	Sb

Fuente: DESPOUY (2005)

Para una búsqueda de la ubicación más exacta de cada mineral se recomienda revisar el estudio de la SISS (2001), mientras que para la ubicación de las fuentes de agua potable que presentan problemas de contaminantes incluidos en la norma de NCh409/1, se sugiere revisar el estudio de DESPOUY (2005). El primero revisa los antecedentes de la presencia de contaminantes no controlados en agua potable, mientras que el segundo caracteriza la calidad de las fuentes de agua potable, entre ellas las aguas subterráneas.

4.4.2 Elección de posibles elementos de origen antrópico

Las principales fuentes contaminantes corresponden a residuos industriales líquidos y aguas servidas domésticas, cuya cantidad ha ido incrementando en el tiempo correlacionándose con la industrialización y crecimiento del país. Los efectos de la actividad agrícola también son causa del deterioro de la calidad de las aguas producto de la lixiviación de las sales del suelo y a la incorporación de fertilizantes y pesticidas al sistema.

Existen importantes casos de salinización de diversas cuencas del Norte Grande y Norte Chico, como son San José, Camarones, Copiapó, Huasco, Elqui, etc. El Valle de Azapa es un caso crítico que ilustra esta situación, ya que se ha incrementado progresivamente la salinidad del agua subterránea a medida que se han incorporado nuevos suelos a labores agrícolas. En este valle, además se ha producido un incremento de los Nitratos en las aguas subterráneas debido al riego con aguas servidas (SISS, 2001), y la aplicación de fertilizantes sintéticos.

Por otro lado, el aporte de metales pesados por parte de actividades antrópicas genera importantes problemas de contaminación y toxicidades a nivel general. Sin embargo, en nuestro país, la presencia de metales pesados predominantemente es de ocurrencia natural superando muchas veces las normas de agua potable. La Tabla 4.8 muestra un resumen con los metales pesados asociados a las distintas actividades desarrolladas en la cuenca de Santiago (ANTINAO, 1998). En términos científicos se puede hablar de contaminación por metales pesados sólo cuando se detectan concentraciones anómalas en comparación con la línea de base de cada elemento (ALLOWAY y AYRES, 1993). Sin embargo, en términos legales hablamos de contaminación cuando las concentraciones (naturales o antrópicas) superan la normativa ambiental aplicable. En nuestro país, las aguas naturales están contaminadas si

superan la normativa secundaria, mientras que aquellas aguas que superan la norma de agua potable (NCh409) sólo pueden ser clasificadas como no aptas para el consumo humano.

Tabla 4.8: Metales asociados a distintos tipos de actividad en la cuenca de Santiago.

Actividad	Tipo de Actividad	Metales Asociados
Industria	Metalúrgica	As, Be, Bi, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni, V, Zn
	Química	Ba, As, Cd, Cr, Cu, Pb, Sn, V, Zn
	Papel	Cr, Cu, Pb, Hg, Ni
	Textiles	As, Ba, Cd, Cu, Pb, Hg, Ni
	Agroquímicos	As, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Mn, Ni, Zn
Agricultura	Impurezas en fertilizantes	Cd, Cr, Mo, Pb, U, V, Zn
	Pesticidas	Cu, As, Hg, Pb, Mn, Zn
	Abonos	As, Cd, Cu, Ni, Pb, Zn
	Líquidos percolados	Cd, Ni, Cu, Pb, Zn
Otros	Preservantes de la madera y corrosión de objetos metálicos	As, Cu, Zn, Cd
Residuos Urbanos	Aguas Servidas	Pb, Cu, Zn, Cr
	Rellenos Sanitarios	Cd, Cu, Pb, Sn, Cr, Hg, Co

Fuente: ANTINAO (1998).

Otra experiencia internacional revisada indica los parámetros asociados a distintos tipos de actividades antrópicas. En la cuenca del Llobregat, al noreste de España (SOLER, y otros, 2002), mediante el análisis de las composiciones isotópicas de Estroncio (Sr) y Azufre (S), se identificó parámetros químicos contaminantes asociados a actividades antrópicas (Tabla 4.9).

Tabla 4.9: Contaminantes asociados a distintas actividades.

Fuente	Parámetros Químicos Asociados
Mina de Potasio	Na, K, Cl, Mg, Ca y SO_4
Fertilizantes	K, NO_3, PO_4 y SO_4
Ganadería	NH_4, NO_3 y TOC[1]
Residuos Urbanos e Industriales	Cl, NH_4, PO_4 y TOC

Fuente: ANTICH, y otros (2000), OTERO, y otros (2005) y SOLER, y otros (2002).

En definitiva, se debe definir qué parámetros locales incluir en la metodología, considerando los efectos de ocurrencia natural o antrópicos según sea el grado de implicancia para la salud humana y las distintas actividades que se desarrollen.

4.5 Cálculo de índice de calidad

4.5.1 Mapas de isoconcentración

La Figura 4.2 muestra el esquema mediante el cual se obtiene los mapas de isoconcentración de los parámetros utilizados.

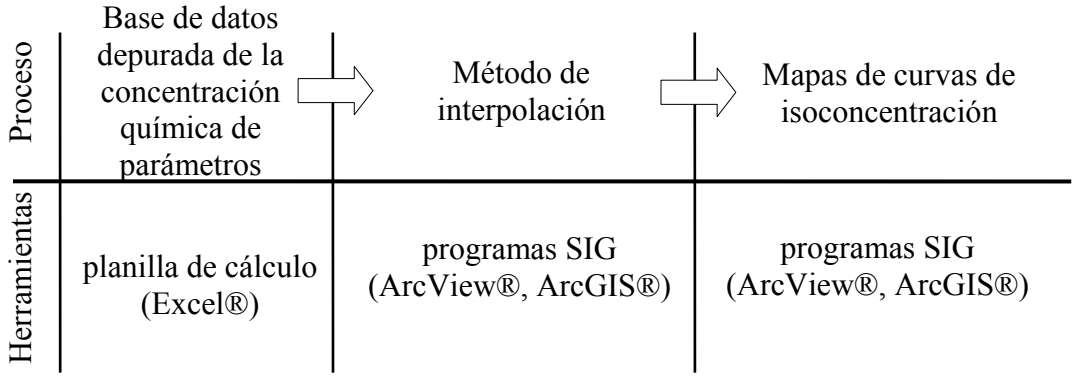


Figura 4.2: Esquema de interpolación de parámetros químicos.

[1] Carbono Orgánico Total

Para aplicar la metodología es necesario generar mapas de isoconcentración de cada uno de los parámetros en estudio, a partir de una base de datos químicos convenientemente depurada de acuerdo a lo indicado anteriormente, es decir revisar los datos considerando el balance iónico, la temporalidad, unidad hidrogeológica de interés, límites de detección, y chequeo de valores anormales.

Los mapas de isoconcentración se generan con herramientas SIG, por ejemplo usando el *software* ArcGIS®, en base a un método de interpolación espacial, aceptando la hipótesis que las concentraciones de los parámetros físico-químicos son continuas y que están correlacionadas en el espacio.

Cabe recalcar que, como se explicó anteriormente, existen varios métodos de interpolación espacial (Tabla 4.1), y la elección del método más adecuado debe responder a un criterio experto y profesional que considere las características del acuífero. De hecho el método más recomendado es el *Kriging* ordinario, sin embargo en acuíferos cuya geometría sea compleja debido a la longitud y encajonamientos por múltiples barreras físicas, sería necesario considerar otros métodos como *Spline* con barreras.

A partir de los datos registrados en cada uno de los puntos de muestreo se obtienen seis mapas de isoconcentración para el Grupo 1 (parámetros fijos) y 3 mapas para el Grupo 2 (Nitratos y dos parámetros locales a elegir), es decir:

Grupo 1:

SDT	Cl	Ca	Mg	SO_4	Na

Grupo 2:

NO_3	PL1	PL2

Posteriormente, cada uno de los mapas es subdividido en un conjunto de celdas regulares, conocidas como *raster*, las cuales podrán tener distinto tamaño según la extensión del acuífero que se esté estudiando, su morfología y su densidad de puntos con información química.

En la Tabla 4.10 se propone criterios para escoger el tamaño de la grilla según el tipo de acuífero en que se aplique la metodología, sin embargo cabe recordar que la decisión final debe ser tomada con criterio experto que tome en cuenta las características del problema en cuestión.

Tabla 4.10: Propuesta de resolución de grilla para aplicar la metodología.

Tipo y Estado del Acuífero	**Tamaño celda (m)**	**Resolución propuesta (celdas/km^2)**
Acuífero de gran extensión, no encajonado y que puede ser fácilmente representado dado que no existen barreras físicas que lo atraviesen. Se encuentra en estado sustentable.	200	25
Acuífero de gran extensión, que no presenta cortes marcados por barreras físicas naturales. Se desea tener una mejor resolución porque existe mayor actividad en la zona superior, se encuentra en estado sobreexplotado.	150	44
Acuífero formado por depósitos encajonados que necesita mayor resolución para representar de manera óptima la forma del sector acuífero. Se desea tener una resolución óptima porque se encuentra en estado sobreexplotado.	50	400

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, es importante tener en cuenta que el tamaño mínimo de las celdas muchas veces queda limitado por la capacidad del procesador en el que se aplica la metodología puesto que se podría generar una enorme cantidad de celdas. Por ejemplo, para el sector acuífero El Loa, con una área de 7.950 km^2, al elegir un tamaño de celda de 200×200 m se generan 198.750 celdas por mapa, mientras que definiendo un tamaño de celda de 50×50 m se generan 3.180.000 celdas. Esta enorme cantidad de celdas en la misma área puede aumentar considerablemente el tiempo y los requerimientos de memoria del procesador, dificultando la implementación de la metodología.

Un último aspecto que debe considerarse en relación con el tamaño de la celda es la separación a la que se encuentran los puntos de muestreo de calidad. En el caso de nuestro país, la revisión de información disponible indica que la mayoría de los acuíferos no posee una resolución de la información de calidad química menor a 200 m, por lo que no sería necesario trabajar con celdas de menor tamaño. Sin embargo, si se desea aplicar la metodología a un sector acuífero pequeño con alta densidad de muestras, por ejemplo separadas cada 40 m, se debe escoger un tamaño de celda menor a esta distancia de manera que represente adecuadamente la variación de los parámetros de calidad.

4.5.2 Índice de calidad individual por parámetro

Después de generar los archivos en formato *raster* con la concentración por celda de cada parámetro químico, se procede a la clasificación de cada celda a partir de la escala de valores del índice de calidad. Este trabajo se debe realizar con programas que permitan manipular y operar con gran número de celdas, por ejemplo ArcGIS® o Excel® (versión 2007 o superior).

El índice de calidad (IC) de una celda, para cada uno de los parámetros, se obtiene mediante la interpolación lineal entre las concentraciones límites de cinco clases de calidad (C1, C2, C3, C4 y C5) y los valores de corte (VC1, VC2, VC3 y VC4), tal como se muestra en la Figura 4.3.

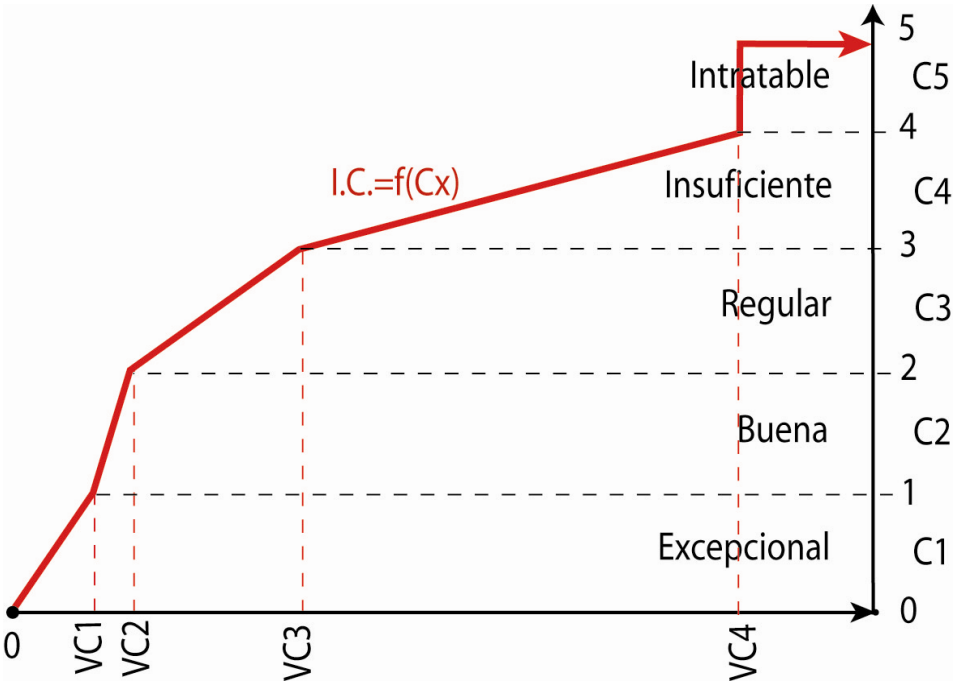


Figura 4.3: Cálculo de índice de calidad mediante interpolación lineal entre clases.

Las cinco clases de calidad corresponden a diferentes condiciones cualitativas de la calidad del agua subterránea, en base a valores límites provenientes de normativas vigentes y/o recomendaciones sanitarias, tal como se presenta a continuación.

- Valor de corte 1 (VC1) define la concentración máxima de calidad *Excepcional* (C1). Se define en base a recomendaciones de concentración máxima de un parámetro químico, que toma en cuenta la salud humana o bien la aceptabilidad del agua potable dada por su sabor. Por lo tanto, toma concentraciones que aseguran la no afectación a la salud humana o su percepción de las características organolépticas del agua que consume. La referencia principal de este valor son las indicaciones de la Organización Mundial de la Salud respecto a la calidad del agua para consumo humano[2].
- Valor de corte 2 (VC2) define la máxima concentración para la calidad *Buena* (C2). Se define en base a las exigencias sobre las características de concentración máxima

[2] Guidelines for Drinking-water Quality de OMS (2006).

permitida en el agua potable por una normativa legal. En este caso, la principal referencia es la normativa chilena respecto a los requisitos del agua potable NCh409/1.Of2005. En el caso que esta norma no establezca límite para un parámetro de interés se toma como referencia otras fuentes como OMS[2], USEPA[3], o normas del Consejo de la Unión Europea[4] (CE).

- Valor de corte 3 (VC3) define la máxima concentración de calidad *Regular* (C3). Se define en base a recomendaciones y/o especificaciones de concentración máxima de elementos en el agua subterránea para ser utilizada en la actividad agrícola. La referencia principal proviene de la *Water Quality for Agriculture* de la FAO (FAO, 1994), sin embargo se considera también la norma chilena de riego, NCh1333/78 (INN, 1996).

- Valor de corte 4 (VC4) define la máxima concentración de calidad *Insuficiente* (C4). Se define como la concentración máxima de un cierto compuesto o elemento químico presente en el agua subterránea, de modo que permita ser tratada y alcanzar la calidad de agua potable definida por la normativa establecida. La estimación de este valor depende de las tecnologías de tratamiento disponibles y de su efectividad de remoción de cada parámetro, considerando aspectos técnicos y económicos. Se han considerado dos referencias principales, primero el criterio propuesto por SISS (INN, 2008) para definir el tipo de tratamiento necesario cuando se supera determinado nivel de concentración, y segundo, la clasificación de rangos de efectividad encontrados en la literatura técnica (HAMANN, y otros, 1990; LANKFORD y ECKENFELDER, 1990; PONTIUS, 1996; MENA, 2007).

  Al considerar que en esta clase el agua presenta valores superiores a los definidos en la normativa de agua potable, y que por ende la SISS la clasifica en aguas de tipo III, es necesario tratamientos especiales como por ejemplo procesos de membrana. De acuerdo a la literatura técnica estos procesos tienen rangos de efectividad según tipo de

[3] NPDWR y NSDWR, de la USEPA (USEPA, 2009).

[4] Directiva 98/83/CE 3 Nov. 1998, del Consejo de la Unión Europea.

proceso y parámetro (Tabla 4.12), por lo que se adopta un valor intermedio representativo de procesos de membrana para cada parámetro, como se presenta en la Tabla 4.11.

En definitiva, la estimación del valor de corte 4 queda establecida por la ecuación Ec. 2, en donde el valor límite (VL) es el valor definido para aguas tipo III de acuerdo a la SISS (INN, 2008) o en su defecto el valor para la clase C2, y el porcentaje de eficiencia de remoción indicado en la Tabla 4.11, para cada parámetro.

$$C4 = \frac{VL}{1 - \%\text{EficienciaRemoción}} \qquad \text{Ec. 2}$$

Tabla 4.11: Porcentajes representativos de eficiencia remoción de procesos de membrana.

Parámetro	**%**
SDT	75
Cloruros	75
Sulfatos	95
Calcio	95
Sodio	75
Magnesio	95
Nitratos	75

Tabla 4.12: Rangos de remoción de distintos procesos de tratamiento de aguas.

Parámetro	Coagulación y filtración	Intercambiador de iones		Procesos de membrana			Oxidación química, desinfección	Adsorción
		Aniónica	Catiónica	Osmosis inversa	Ultra filtración	Electro-diálisis		Carbón activado regular
SDT	P	P	P	MB-E	P-B	MB-E	P	P
Cloruros	-	-	-	E	-	-	-	-
Sulfatos	P	MB-E	P	E	P	E	P	P
Calcio	-	-	-	E	-	-	-	-
Sodio	-	-	-	E	-	-	-	-
Magnesio	-	-	-	E	-	-	-	-
Nitratos	P	MB-E	P	MB	-	MB	P	P
Hierro	B-E	P	MB-E	MB-E	MB	MB-E	MB-E	P
Manganeso	B-E	P	MB-E	MB-E	MB	MB-E	B-E	P
Aluminio	B	P	MB-E	E	-	E	P	-

P: Pobre (0-20% de remoción); B: Bueno (20 a 60% de remoción); MB: Muy Bueno (60 a 90% de remoción); E: Excelente (90 a 100% de remoción); "-": datos insuficientes.

Fuente: HAMANN y otros (1990), complementado con MENA (2007).

- Los parámetros con concentraciones por sobre el valor de corte 4 son clasificados como *Intratables* (C5). Hay que considerar que al haber adoptado un valor intermedio de remoción para la definición del valor de C4, las aguas de esta clase no se refiere, en términos estrictos, a aguas que no se pueden tratar, sino más bien que el tratamiento requerido para cumplir normativa de agua potable, de ser posible, sería con procesos que aseguren una mayor eficiencia, por lo que probablemente serían más complejos y costosos.

La Tabla 4.13 presenta los valores de corte que definen las cinco clases de calidad (Excepcional, Buena, Regular, Insuficiente e Intratable) para cada uno de los siete parámetros obligatorios que considera la metodología.

Tabla 4.13: Valores corte de los parámetros fijos de la metodología.

Parámetro	Unidad	VC1	VC2	VC3	VC4
SDT	mg/L	1.200[a]	1.500[c]	2.000[f]	6.000[g]
Cloruro	mg/L	250[a]	400[c]	1.064[f]	1.600[g]
Sulfato	mg/L	250[a]	500[c]	961[f]	10.000[g]
Calcio	mg/L	100[a]	200[d]	401[f]	4.000[g]
Sodio	mg/L	200[a]	200[e]	920[f]	6.000[g]
Magnesio	mg/L	100[a]	125[c]	250[f]	2.500[g]
Nitratos	mg/L	10[b]	50[c]	133[f]	200[g]

Notas:

a: Fuente OMS. A excepción de Nitratos, para el resto de parámetros no existe un valor que afecte a la salud humana, por lo que valor límite es propuesto en base a aceptabilidad dada por el sabor. En caso del Calcio y Magnesio se adoptó criterios respecto a la dureza.

b: Fuente OMS. Valor máximo observado en zonas sin afectación antrópica, por lo que nivel inferior indicaría un origen natural.

c: Fuente NCh409. Valores límites en base a normativa chilena

d: Fuente OMS. Valor límite propuesto para la dureza, bajo el cual se reduce posible depositación de minerales en cañerías de agua potable y artefactos.

e: Fuente CE. Valor límite para el agua potable, y que coincide con valor propuesto por OMS.

f: Fuente FAO. Valor máximo entre aquellos que indican: a) potenciales problemas de irrigación, b) rangos normales de uso, y c) potencial riesgo para animales.

g: Fuente SISS (NCh777/1), Ec. 2 y Tabla 4.11. El valor VL coincide con valor de NCh409/1, excepto para el Calcio en que el valor adoptado es C2, y para el Sodio en que el valor adoptado es igual al C2 de SDT.

A continuación la Figura 4.4 y la Figura 4.5 muestran todos los elementos considerados como base en esta metodología y su respectiva interpolación lineal de los rangos de calidad que permiten calcular el IC de cada elemento por separado. Todos los valores del IC se obtienen mediante interpolación lineal si la concentración es menor al límite de tratamiento, mientras que aquellas que lo superan toman el valor de 5 que representa la calidad de agua intratable.

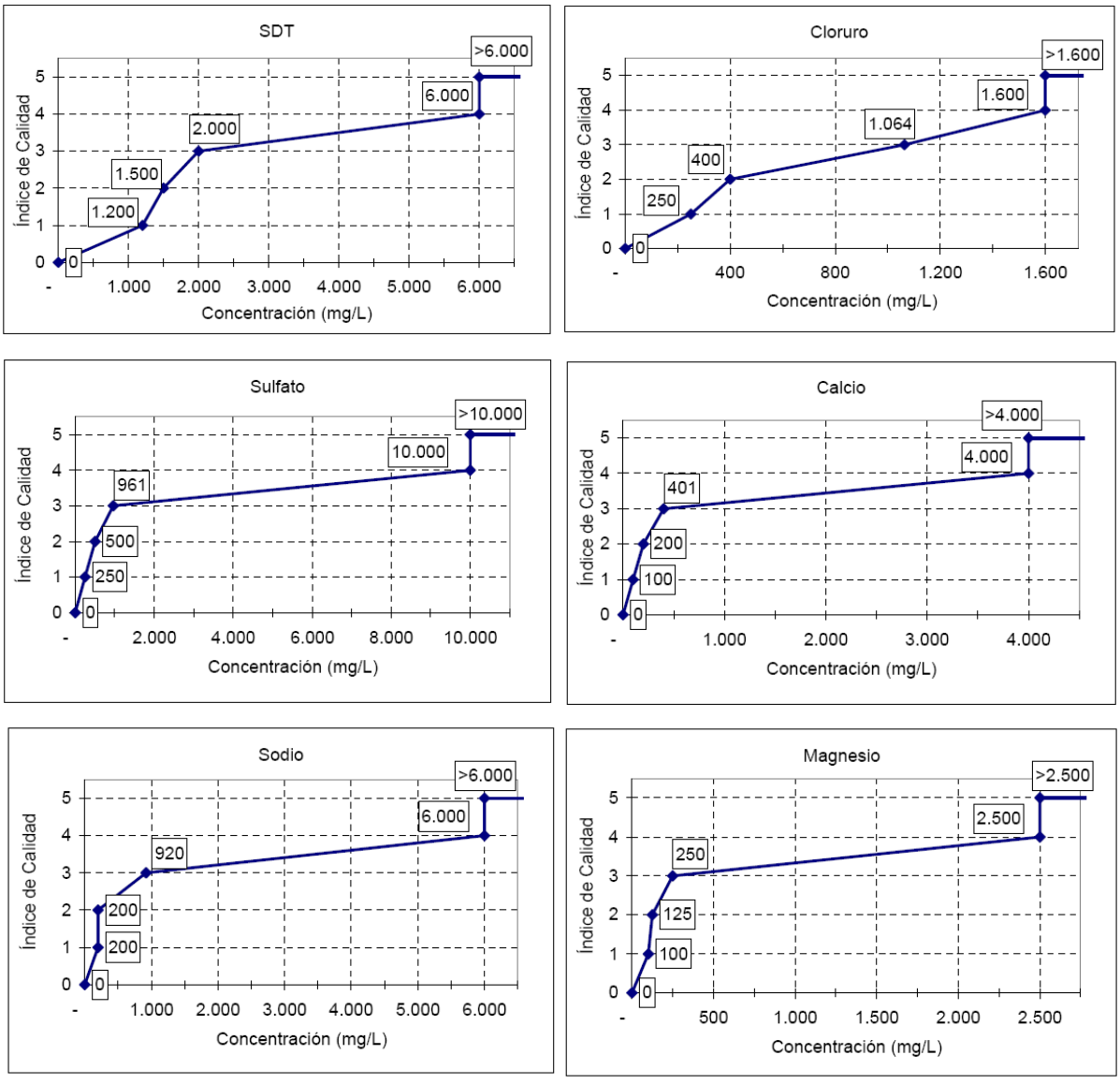


Figura 4.4: Gráfico para obtener IC asociado a elementos del Grupo 1.

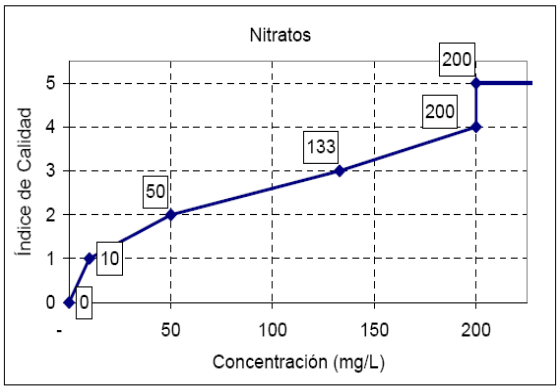


Figura 4.5: Gráfico para obtener IC asociado a Nitratos del Grupo 2.

La Tabla 4.14 presenta los valores de corte propuestos para cada parámetro químico que podría formar parte del Grupo 2, en base a las referencias disponibles mencionadas anteriormente. Cabe mencionar que para algunos parámetros no se cuenta con recomendaciones o normativas que permitan definir adecuadamente cada una de las clases. En caso de ausencia de un valor de corte, se adopta de preferencia el valor de corte inferior, o bien el valor superior, por lo tanto se reduce el número de clases definidas y con ello la clasificación del agua se polariza. Los valores de corte presentados en la Tabla 4.14 deben ser revisados en la medida que surjan nuevas recomendaciones, normativas y/o técnicas de tratamiento.

Tabla 4.14: Valores de corte de parámetros no fijos de la metodología.

Parámetro	Unidad	VC1	VC2	VC3	VC4	VL[m]	% remoción[n]
Fe	mg/L	0,3[b]	0,3[d]	5[e]	200[k]	50	75%
Mn	mg/L	0,05[c]	0,10[d]	0,20[e]	40,00[k]	10	75%
Ag	mg/L	0,1[b]	0,1[c]	0,2[f]	0,4[k]	0,1	75%
Al	mg/L	0,2[b]	0,2[c]	5[e]	6,7[k]	0,2	97%
Asbesto	MFL	7[c]	7[h]	7[h]	7[h]	-	-
B	mg/L	0,5[a]	2[c]	5[e]	5[h]	-	-
Ba	mg/L	0,7[a]	0,7[h]	0,7 [h]	2,8[k]	0,7	75%
Be	mg/L	0,1[g]	0,1[g]	0,1[e]	0,1[h]	-	
Cd	mg/L	0,003[a]	0,010[d]	0,050[e]	0,200[k]	0,01	95%
Co	mg/L	1[g]	1[g]	1[e]	1[h]	-	-
Cr	mg/L	0,05[a]	0,1[c]	1[e]	1[h]	-	-
Cu	mg/L	2[a]	2[d]	2[h]	40[k]	2	95%
F	mg/L	1,5[g]	1,5[d]	2[e]	30[k]	1,5	95%
Hg	mg/L	0,001[a]	0,0010[d]	0,010[e]	0,050[k]	0,001	98%
K	mg/L	2[g]	2[g]	2[e]	2[h]	-	-
Li	mg/L	2,5[g]	2,5[g]	2,5[e]	2,5[h]	-	-
Mo	mg/L	0,07[a]	0,07[h]	0,07 [h]	0,07[h]	-	-
NH_4	mg/L	1,5[b]	1,5[d]	1,5 [h]	1,5[h]	-	-
Ni	mg/L	0,02[a]	0,02[i]	0,20[e]	0,40[k]	0,02	95%
Pb	mg/L	0,01[a]	0,05[d]	5,00[e]	5,00[h]		95%
PO_4	mg/L	6,13[g]	6,13[g]	6,13[e]	6,13[h]	-	-
Se	mg/L	0,01[g]	0,01[d]	0,05[e]	0,05[h]	-	-
U	mg/L	0,015[a]	0,03[c]	0,03 [h]	0,60[k]	0,03	95%
V	mg/L	0,1[g]	0,1[g]	0,1[e]	0,1[h]	-	-
Zn	mg/L	3[b]	3[d]	24[e]	60[k]	3	95%
As	mg/L	0,01[a]	0,01[d]	2,00[e]	4,00[k]	1,00	75%

Notas:

a: Fuente OMS. Valor límite en base a posible efectos en la salud humana.

b: Fuente OMS. Valor límite propuesto en base a aceptabilidad del agua potable, y no por niveles que puedan afectar a la salud humana.

c: Fuente USEPA. Valor límite para agua potable.

d: Fuente NCh409/1. Valor límite para el agua potable.

e: Fuente FAO. Valor máximo entre aquellos que indican: a) potenciales problemas de irrigación, b) rangos normales de uso, y c) potencial riesgo para animales.

f: Fuente NCh1333. Valor límite para agua de riego.

g: En ausencia de valor recomendado o normado, se adopta igual valor que clase superior.

h: En ausencia de valor recomendado o normado, se adopta igual valor que clase inferior.

i: *Fuente CE. Valor límite para el agua potable.*

k: *Ec. 2. Estimación en base a VL y % de remoción.*

m: *Valor basado que coincide con dado por NCh409/1, excepto para Sodio, Hierro, Manganeso y Arsénico. En caso del Sodio se adopta valor límite del SDT, y en caso del Hierro, manganeso y Arsénico se adopta valor de 50mg/L, 10mg/L y 1mg/L de acuerdo a concentración que define la SISS (NCh777/1) como tipo III.*

n: *Fuente HAMANN, y otros, (1990), complementado con MENA (2007). Valores propuestos.*

4.5.3 Cálculo e interpretación del resultado del IC general

Una vez que se dispone del IC individual de cada parámetro es posible obtener el IC general del sector acuífero. Se definió que los criterios para definir el IC general dependieran principalmente del IC de los elementos químicos que, de acuerdo a la norma chilena de agua potable vigente (INN, 2006), afecten la salud humana (Tabla 4.15), y buscan reflejar que la calidad del acuífero esté definida por el parámetro de peor calidad. Lo anterior resulta consistente con los objetivos de la DGA. Los criterios se presentan en la Tabla 4.16 y se aplican para cada celda del sector acuífero de acuerdo a la interpolación generada (archivo *raster*).

Tabla 4.15: Elementos o sustancias químicas de importancia para la salud (Tipo II) según NCh409/1Of.2005.

Elementos esenciales	**Elementos no esenciales**	**Sustancias orgánicas**	**Plaguicidas**	**Productos secundarios de la desinfección**
Cobre	Arsénico	Teracloroeteno	DDT	Monocloroamina
Cromo	Cadmio	Benceno	DDD	Dibromoclorometano
Fluoruro	Cianuro	Tolueno	DDE	Bromodiclorometano
Hierro	Mercurio	Xilenos	2.4-D	Tribromometano
Manganeso	Nitrato		Lindano	Triclorometano
Magnesio	Nitrito		Metoxicloro	Trihalometanos
Selenio	Plomo		Pentaclorofenol	
Zinc				

Tabla 4.16: Criterios para establecer el IC general.

Condición IC individual		Resultado IC general	Expresión
Si existe un parámetro con IC Intratable	→	IC general es Intratable	$Si\ \ IC_{individual} > 4$ $IC_{general} = 5$
Si alguno de los parámetros que afectan la salud humana, según NCh409, presentan IC Bueno, Regular o Insuficiente	→	IC general es el peor IC individual de todos los parámetros	$Si\ 1 < IC_{individual} \leq 4$ $IC_{general} = \underset{i=parametro}{Max}\left(IC_i\right)$
Si todos los parámetros que afectan la salud humana, según NCh409, presentan IC Excepcional	→	IC general es el promedio aritmético del IC individual de todos los parámetros	$Si\ \ IC_{individual} \leq 1$ $IC_{general} = \frac{\sum_{i=parametro} IC_i}{n^o\ parametros}$

A partir de lo anterior se obtiene un valor para el índice de calidad general del sector acuífero en el rango continuo entre 0 y 5, sin embargo para efectos de la visualización se utiliza una escala discreta de las cinco clases establecidas. La interpretación de la calidad según el IC general está definida en base a los criterios utilizados para su determinación, es decir los parámetros que afectan a la salud humana y/o que presenten la peor calidad química. A continuación se describe la interpretación de los valores que puede tomar el IC general, sin embargo se recalca que debido a los criterios definidos, ésta debe ser complementada con los IC individuales.

Calidad Excepcional ($0 \leq IC_{general} \leq 1$): Implica que todos los parámetros definidos por la norma NCh 409 como de importancia para la salud (elementos esenciales y no esenciales, sustancias orgánicas, plaguicidas y productos secundarios de la desinfección), presentan IC Excepcional y que el IC final está dado por el promedio aritmético de todos los parámetros seleccionados. Por lo tanto, la calidad excepcional permite asegurar que entre los parámetros seleccionados ninguno afecta a la salud humana, aunque el resto de parámetros presentes puede tener calidad Regular o Insuficiente. Sin embargo la situación esperada es que el resto de parámetros seleccionados presenten calidad Buena o Excepcional, en cuyo caso estas aguas con IC Excepcional no afectan la salud humana y cumplirían con criterios de aceptabilidad del agua potable. Para una interpretación más completa será necesario analizar el IC individual del resto de parámetros que no afecten la salud humana, por ejemplo para definir la existencia de

afectación antrópica, el nivel de dureza, la clasificación como fuente de agua potable según la SISS o las limitaciones de uso.

Calidad Buena (1 < ICgeneral ≤2): Esta situación puede darse tanto porque existe algún parámetro que afecta a la salud humana (según normativa NCh409) que presenta IC individual Bueno y el resto presenta IC Bueno o Excepcional, o bien los parámetros de importancia para la salud humana, según normativa NCH409, presentan IC Excepcional y el resto de parámetros presenta IC Buena, Regular y/o Insuficiente. De este modo las aguas clasificadas con IC Bueno no afectan a la salud humana, sin embargo podrían presentar concentración elevada en algunos parámetros que reflejen afectación antrópica o limiten su uso. Una interpretación más detallada requiere del análisis del IC individual.

Calidad Regular (2 < ICgeneral ≤3): Esta calidad puede ser reflejo que al menos uno de los parámetros que afectan la salud humana (según normativa NCh409) tiene IC Regular mientras el resto presenta IC Regular, Bueno y/o Excepcional. Sin embargo, también puede ocurrir cuando la concentración de parámetros relevantes a la salud humana no son altos (IC Bueno o Excepcional) y existe uno o más del resto de parámetros con IC Regular. Por lo tanto, el IC Regular corresponderá principalmente a aguas que afectan a la salud humana, aunque no se descarta que las aguas no sean nocivas para la salud humana y sea el resto de los parámetros seleccionados los que definen la calidad general. Dado esto, se debe analizar el IC individual para definir con mejor detalle limitaciones de uso o afectación antrópica.

Calidad Insuficiente (3 < ICgeneral ≤4): Esta situación puede reflejar que existe al menos un parámetro nocivo para la salud humana (según normativa NCh409) que presenta IC Insuficiente, es decir que limita su uso en agricultura. Sin embargo, también puede producirse cuando los parámetros que afectan la salud humana tienen IC Bueno o Excepcional, pero existe al menos uno del resto de parámetros con IC Insuficiente. Por lo tanto, el IC Insuficiente corresponde a aguas que no pueden ser usadas en la agricultura ni menos para el consumo humano, debido a que al menos uno de los parámetros seleccionados, tanto nocivos o no nocivos para la salud humana supera las recomendaciones.

Calidad Intratable (ICgeneral = 5): Esta situación define cuando existe al menos un parámetro de los seleccionados que presenta una calidad intratable, ya sea que afecte o no a la salud humana. Estos niveles son tales que dificultan enormemente su tratamiento, pues exigen procesos de tratamiento de alta eficiencia, y probablemente asociado a mayor complejidad y costos. En definitiva esta agua presentaría limitaciones para la mayoría de los usos.

4.6 Análisis temporal del índice de calidad

Mediante un análisis temporal se busca complementar la caracterización de la calidad química de aguas en un sector acuífero. El análisis temporal de la metodología permite conocer la evolución o tendencia de la calidad del agua en el tiempo o en dos momentos dados, pudiendo ésta empeorar, mejorar o mantenerse. En términos generales la evaluación de este cambio temporal consiste en comparar el IC proveniente de mapas de calidad del mismo sector acuífero, pero en distintos momentos o entre un tiempo reciente y la situación de la línea base.

En la práctica, la comparación entre los mapas se facilita con el uso de herramientas SIG, ya que es necesario comparar el valor de IC en los tiempos disponibles, pero en la misma zona o celda. Por lo tanto, es necesario procesar la información disponible para obtener los mapas de tiempos distintos con la misma discretización (tamaño de celda, número de celdas, método, etc.) para la misma superficie.

Los mapas de calidad pueden corresponder tanto a índices individuales como a generales, ya sea con rango de valores continuo entre 0 y 5, o bien clasificado en 5 clases discretas, como sería el caso normal.

En el caso que el análisis temporal se realice entre dos momentos dados, la evaluación consiste en determinar el cambio porcentual entre el IC inicial y final, con respecto a la situación inicial (Tabla 4.17). La metodología plantea utilizar un porcentaje fijo de T1% para definir empeoramiento (aumento del T1%), mejoramiento (disminución del T1%) o sin cambios significativos (menores a T1% en términos absolutos). El valor T1% debe ser definido con un criterio experto y de acuerdo al alcance del análisis y considerando el horizonte temporal del análisis. Todos estos cambios están referidos al período comprendido entre ambos mapas de calidad.

Por otra parte, si interesa evaluar los cambios en la calidad de aguas en más de dos instantes de tiempo, y por tanto se dispone de varios mapas con índices de calidad, por ejemplo cada año en el transcurso de 5 años, el esquema de evaluación se modifica para considerar la evolución temporal de forma más detallada. Con esta información, es posible obtener para cada celda de cada mapa, la tendencia temporal del índice de calidad, es decir una serie temporal de éste. La evaluación de la tendencia temporal se realiza a partir de la regresión lineal de la serie temporal de datos, para luego establecer que si existe tendencia al incremento (pendiente positiva) la calidad empeora, o si la tendencia es decreciente (pendiente negativa) la calidad mejora, o bien si la tendencia es constante (pendiente nula) la calidad se mantiene inalterada (Tabla 4.17). El valor numérico de la pendiente a partir de la cual se considera positiva o negativa, por ejemplo T2, dependerá del horizonte temporal considerado, el cual está definido por los mapas de calidad utilizados. Por lo tanto resulta complejo establecer un valor de T2 a priori, y por tanto debe ser definido con criterio experto y de acuerdo al alcance del análisis y los datos disponibles (PASSARELLA y CAPUTO, 2006).

La Tabla 4.17 presenta un resumen de los criterios planteados para definir la clase temporal a partir de la variación del índice de calidad en el tiempo.

Tabla 4.17: Criterios para establecer la clase temporal.

Criterio para dos mapas	**Criterio para más de dos mapas**	**Clase temporal**
Aumento mayor a T1%	Pendiente negativa menor a T2	Mejorando
Cambio menor a T1% absoluto	Pendiente nula	Inalterado
Disminución mayor a T1%	Pendiente positiva mayor a T2	Empeorando

Considerando la variable temporal en la metodología es posible obtener un nuevo mapa del sector acuífero que refleje la calidad del agua subterránea considerando la variación temporal del IC. Para esto se plantea una nueva clasificación en base al cruce entre las clases de calidad y la clase temporal según la Tabla 4.18. El espectro de colores de rojo a verde refleja la situación calidad-temporal, donde el color rojo refleja una situación no deseable (calidad insuficiente o intratable que se mantiene o empeora) y el color verde una situación deseada (calidad excepcional o buena que se mantiene o mejora). Entre ambos extremos se encuentra

el color naranjo (regular empeorando o intratable mejorando), amarillo (bueno empeorando, regular constante o insuficiente mejorando) y verde claro (excepcional empeorando y regular mejorando).

Tabla 4.18: Reclasificación temporal de la calidad química de aguas.

Clase temporal	Clase de Calidad				
	Excepcional	**Bueno**	**Regular**	**Insuficiente**	**Intratable**
Empeorando					
Constante					
Mejorando					

Fuente: Adaptado de PASSARELLA y CAPUTO (2006).

El objetivo principal de incorporar la evolución temporal de la calidad química en la clasificación de sectores acuíferos es caracterizar temporalmente su condición de calidad. Eventualmente podría ocurrir que la calidad de un agua subterránea se clasifique como Buena y por tanto no tenga mayores restricciones de uso, sin embargo esta calidad puede estar empeorando desde tiempos anteriores, a partir de una calidad Excepcional. Esto indicaría por ejemplo que la actividad que se desarrolla en el sector acuífero, o bien las condiciones de éste podrían llevar en un futuro a que el agua siga empeorando su calidad al punto de tener una calidad Regular o Insuficiente. Por otra parte, en el caso que en una zona del sector acuífero se haya evaluado con calidad Regular, debido a la contaminación por algún elemento proveniente de la industria, y por ende los organismos pertinentes hayan tomado medidas para revertir la fuente contaminante, el IC y su tendencia temporal permitirían evaluar la calidad del sector acuífero y observar como ésta mejora en el tiempo.

En definitiva, la caracterización temporal de la calidad de las aguas en un sector acuífero es una herramienta importante que puede ser usada en la planificación y en las medidas de protección del acuífero.

En el desarrollo de este proyecto no se contó con bases de datos de calidad de química temporales de sectores acuíferos, provenientes de períodos de tiempo distintos y comparables, es decir, que permitiesen el adecuado estudio y aplicación de la metodología.

El estudio y la aplicación de la metodología para la evaluación temporal de su calidad requieren contar con programas de muestreo establecidos y sistemáticos, donde la red de puntos, la frecuencia, y los parámetros analizados estén definidos, como se plantea más adelante en el Capítulo 7 de este informe. En vista de esta falta de base de datos adecuadas, el análisis temporal de la metodología no pudo ser evaluado en detalle en los sectores acuíferos seleccionados, y no se pudo definir valores recomendados de T1% y T2, por lo que constituye uno de los aspectos que debieran ser desarrollados en futuros estudios.

4.7 Análisis estadístico para determinar el origen de los compuestos disueltos

El origen de los compuestos disueltos que definen la calidad de las aguas subterráneas puede identificarse en base a los antecedentes disponibles de la zona de estudio como el uso de suelo, catastro de actividades antrópicas, etc. Cuando no se dispone de esta información o ésta no es lo suficientemente precisa como para determinar el origen de la calidad química del acuífero, pueden utilizarse herramientas estadísticas aplicadas a la concentración de los elementos o compuestos químicos presentes en el agua subterránea. Las herramientas estadísticas utilizadas en estos casos corresponden a los análisis multivariados, dado que se cuenta con gran cantidad de información producto de: i) cantidad de parámetros químicos analizados, ii) número de pozos de la red de monitoreo, y iii) existencia de series de tiempo en muchos casos extensas. En particular para el estudio de la hidrogeoquímica es utilizado el Análisis de Componentes Principales (ACP), ya que tiende a develar factores latentes que existen entre los parámetros físico-químicos de un acuífero (TOLOSANA-DELGADO, y otros, 2005) y con ello permite agrupar parámetros que se encuentren correlacionados, y por ende reconocer grupos de características similares (LOVE, y otros, 2004).

Bajo esta perspectiva, la metodología considera en primer lugar desarrollar un ACP a la base de datos (en el período de tiempo considerado) de valores de concentración de los parámetros en los puntos de muestreo, obteniendo al final de éste grupos de parámetros químicos que probablemente provienen desde una misma fuente. En segundo lugar, para identificar las fuentes comunes se cruza la información obtenida con referencias disponibles, por ejemplo actividad industrial en el sector acuífero o correlaciones realizadas por la OMS (2007) entre distintos compuestos en las aguas subterráneas, y así identificar el origen común de los

compuestos disueltos, por ejemplo agricultura, industria, aguas servidas, etc. El esquema de la Figura 4.6 muestra el proceso de análisis para el conjunto de parámetros registrados.

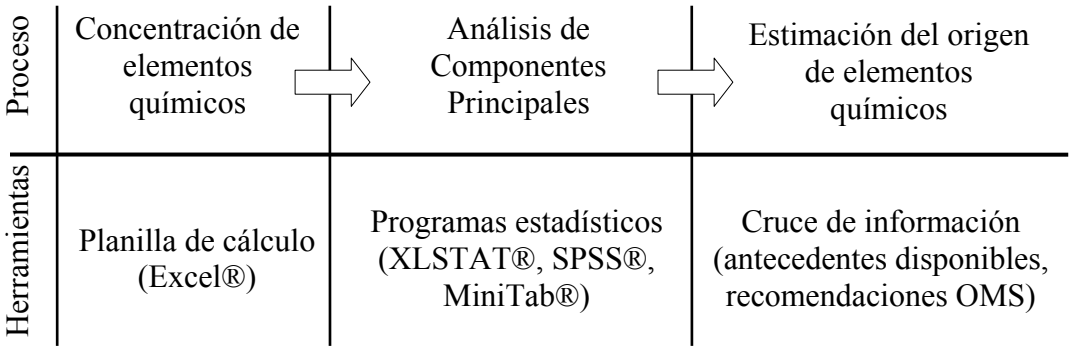


Figura 4.6: Esquema de análisis estadístico.

4.7.1 Aplicación del ACP en la metodología

Conceptualmente el ACP supone que si se dispone de una serie de datos que presentan interrelaciones importantes, resulta posible obtener componentes principales o factores, no observables en forma directa, capaces de resumir la información original usando menos variables, clarificando las relaciones entre ellas y sin una pérdida excesiva de detalle.

Si bien en los Anexos (Capítulo 5) se encuentra una descripción detallada de la formulación matemática del ACP, se puede indicar que el procedimiento implica realizar una transformación lineal de los valores originales (observados) en un sistema de coordenadas que facilita la comparación entre ellos. La transformación lineal queda definida por vectores y valores propios, en cantidad igual al número de variables estudiadas. Los vectores propios, o en este caso también denominados factores o componentes principales, son aquellos cuya dirección no cambia con la transformación, mientras que el valor propio asociado es un factor de escalamiento de la magnitud del vector propio.

Además, estos factores y valores propios asociados tienen la característica de explicar la varianza total de los datos en forma decreciente, es decir, el primer factor explica la mayor parte de ésta, la segunda explica la mayor parte de la varianza total que no es explicada por el

primer factor, y así sucesivamente. De este modo los primeros factores contienen gran parte de la información original, mientras que los últimos no. Por lo tanto, omitir los últimos factores no se traduce en pérdida relevante de información, a la vez que se reduce el número de variables consideradas.

El ACP consiste en una serie de pasos secuenciales, que deben ser realizados con criterio profesional para obtener conclusiones relevantes al problema en cuestión. Los pasos son los siguientes: a) requisitos de la base de datos, b) selección de factores, c) matriz de factores, d) interpretación de factores, e) puntuaciones factoriales y f) representaciones gráficas. Existen varias herramientas computacionales que facilitan el ACP, sobre todo cuando la base de datos es extensa, entre ellos se menciona los *software* XLSTAT®, SPSS® y MiniTab®. A continuación se presenta un resumen de los pasos de un ACP basado en diversas fuentes (MAKOVEC, 2008; DEPTO SOCIOLOGIA IV, 2008; IN3, 2002).

a. Requisitos de la base de datos

- Número de observaciones en la base de datos: al menos 5 veces mayor a la cantidad de variables observadas.
- Cumplimiento de test de correlación estadística entre variables. Si bien basta con confirmar uno de los test que se presentan más adelante para demostrar la correlación entre variables, se recomienda aplicar al menos los tres primeros. En caso que no se verifiquen dichos test de correlación, el análisis con ACP no resultaría válido.
    - Visualizar matriz de correlación: los coeficientes de esta matriz toman valores entre -1 y 1. Estos deben ser variados y no nulos con algún nivel de significancia, de modo que reflejen correlación entre variables. La Tabla 4.19 presenta un ejemplo de esta matriz con 5 parámetros o variables. Se observa que la matriz es simétrica, con valores de 1 en la diagonal y con valores entre 1 y -1 fuera de ella, en donde aquellos destacados en negrita se consideran no nulos.

Tabla 4.19: Ejemplo de matriz de correlación de parámetros.

Variables	V1	V2	V3	V4	V5
V1	**1,00**	**0,35**	**0,79**	**0,60**	**-0,30**
V2	**0,35**	**1,00**	**0,72**	**0,46**	0,14
V3	**0,79**	**0,72**	**1,00**	**0,55**	0,01
V4	**0,60**	**0,46**	**0,55**	**1,00**	-0,03
V5	**-0,30**	0,14	0,01	-0,03	**1,00**

- Determinante de matriz de correlaciones: este valor debe ser bajo, aunque no nulo, de modo que indique que las variables están linealmente correlacionadas.
- Test de Esfericidad de Bartlett: consiste en un test estadístico donde se contrasta la matriz de correlaciones con la matriz identidad (valores 1 en la diagonal y 0 fuera de ella), siendo la hipótesis nula (H0) que ambas sean iguales. Por lo tanto si se rechaza H0, indica que las variables están relacionadas. A partir de la matriz de correlación se puede calcular un estadístico que distribuye χ^2 con $\left(k^2 - k\right)/2$ grados de libertad, donde K es el número de variables, y por tanto si el nivel de significancia es menor al definido, por ejemplo 5% (95% de confianza), se debe rechazar la hipótesis nula.
- Test de Kaisser-Mayer-Olkin: consiste en evaluar el valor del coeficiente KMO, el cual contrasta la magnitud de los coeficientes de correlación observados con la magnitud de los coeficientes de correlación parcial. Un valor del coeficiente KMO entre 0,5 y 1,0, implica que existen correlaciones entre las variables.
- Correlación múltiple (CM): este índice estadístico toma valores entre 0 y 1, y cuantifica la correlación entre una variable y el resto. Por lo tanto deben ser altos de modo que indique correlación entre variables.

- Matriz de correlación anti-imagen: los coeficientes de esta matriz (coeficientes de correlación parcial cambiados de signo) tienen que ser cercanos a cero fuera de la diagonal y próximos a uno en ella.
- Medida de Adecuación Muestral (MSA): consiste en la diagonal de la matriz de correlación anti-imagen. Valores no bajos reflejan que existe correlación entre variables.

b. Selección de factores

Dado que el procedimiento para obtener los factores explica en forma decreciente la varianza total, es posible obtener un gráfico, llamado curva o gráfico de sedimentación, en donde se presenta el valor propio asociado a cada factor en forma decreciente (Figura 4.7). Este gráfico puede ser complementado con la varianza explicada acumulada.

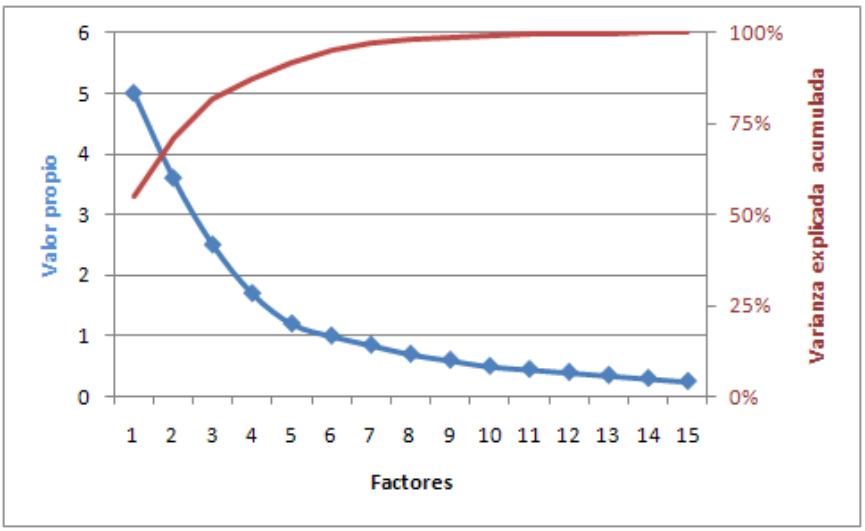


Figura 4.7: Ejemplo de gráfico de sedimentación.

La selección del número de factores puede ser realizada en base a varios criterios que se presentan a continuación, sin embargo todos ellos consideran una cantidad tal que la pérdida de información no sea significativa, es decir aceptar un nivel de explicación de la varianza total. En cualquier caso, los criterios son guías y su aplicación depende de cada caso.

- Porcentaje explicado fijo: adoptar un valor de varianza total explicada, por ejemplo 90%. En el caso de la Figura 4.7 bastaría considerar hasta el factor 4.
- Criterio de Kaisser: sólo considerar factores con valor propio mayor a 1,0. En el caso de la Figura 4.7 bastaría considerar hasta el factor 6.
- Criterio de Kaisser-Jolliffe: sólo considerar factores con valores propios mayores a 0,7. En el caso de la Figura 4.7 bastaría considerar hasta el factor 9.
- Scree-Test de Catell: considerar sólo primeros factores hasta un cambio de pendiente importante en la curva de sedimentación. En el caso de la Figura 4.7 bastaría considerar hasta el factor 5.

c. Matriz de factores

Matriz que indica la correlación entre las variables originales y los factores seleccionados, cada elemento (a_{ij}) es el coeficiente factorial entre un factor (y_j) y una variable original (x_i). Esta matriz contiene información relevante para la interpretación de los factores, pues representa el grado de explicación de una variable en un determinado factor.

	y_1	y_2	$\cdots$	y_p
x_1	a_{11}	a_{21}	$\cdots$	a_{1p}
x_2	a_{21}	a_{22}	$\cdots$	a_{2p}
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$
x_n	a_{n1}	a_{n2}	$\cdots$	a_{np}

Figura 4.8: Matriz de factores o factorial.

d. Interpretación de factores

La interpretación de los factores consiste en entregar un significado semántico o conceptual a cada uno de los factores seleccionados, en base a los antecedentes adicionales o el conocimiento de las relaciones entre variables.

La asignación de una interpretación de cada factor seleccionado puede ser compleja si no se cumplen las siguientes características:

- Los coeficientes factoriales son próximos a 1.
- Una variable tiene coeficientes elevados sólo en un factor.
- No existir factores con coeficientes similares.

En el caso que lo anterior no ocurra, es posible realizar rotación de los ejes para alcanzar dichas características. A continuación se menciona las rotaciones posibles, sin embargo las ortogonales son las más usadas pues no cambian la correlación entre los factores.

- Ortogonales: mantienen la independencia de factores, aunque cambia la varianza explicada de cada factor, la varianza acumulada se mantiene: Varimax (optimiza por factores), Quartimax (optimiza por variables) y Equimax (optimiza por variables y por factores a la vez).
- Oblicuas: no mantienen independencia de factores y por tanto modifica la relación entre variables, por ejemplo Oblimin y Promax.

e. Puntuaciones factoriales

Consiste en una matriz con los valores que toma cada observación en los factores seleccionados. De esta manera se transforman los valores observados en nuevos valores según los factores seleccionados, matemáticamente consiste en una transformación lineal de coordenadas.

f. Representaciones gráficas

- Gráfico Biplot-variables: diagrama de dispersión en donde los ejes son dos factores seleccionados y la ubicación son las cargas factoriales de cada variable en dichos factores. Cada variable queda representada por un vector desde el origen, y con una dirección determinada de acuerdo a su relación con los factores representados. En este gráfico se puede apreciar varias relaciones entre las variables según la longitud de cada vector y el ángulo entre ellos o con los ejes, así como la varianza explicada por ambos factores.

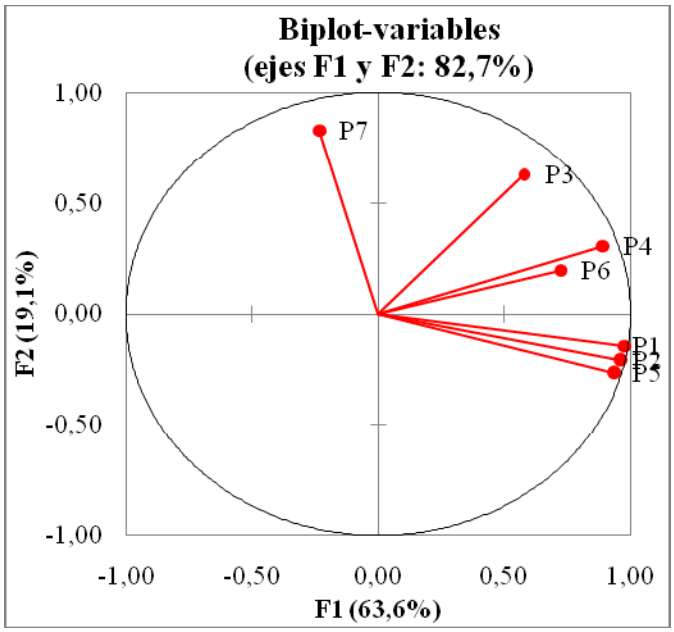


Figura 4.9: Ejemplo de gráfico Biplot-variables.

En las abscisas y ordenadas se presenta el porcentaje de la variable explicada por cada factor, de modo que la suma de ambas indica la varianza total explicada con ambos factores. En este caso el factor 1 y factor 2 explican el 82,7% de la varianza total, 63,6% y 19,1%, respectivamente.

El coseno del ángulo entre cada vector y los ejes de los factores (donde factor 1 es la abscisa y factor 2 es la ordenada) indica el grado de relación con el factor respectivo, por ejemplo: un ángulo cercano a 90º refleja nula relación, un ángulo cercano a cero refleja alta correlación positiva. Del mismo modo el grado de relación entre las variables está marcado por el coseno del ángulo entre ambos vectores, por ejemplo ángulos cercanos a 270º reflejan alta correlación negativa, es decir una variable aumenta en la medida que la otra disminuye. En este caso variables P1, P2 y P5 están muy relacionadas debido al pequeño ángulo entre vectores. Sin embargo la variable P7 no está relacionada con P4 y P6 (muy relacionadas entre ellas), debido al ángulo casi perpendicular entre ellos.

La longitud del vector de cada variable indica el peso relativo de cada una de ellas respecto a las otras, por lo que es deseable encontrar longitudes similares y cercanas a 1. En caso que la longitud sea baja, indica que dicho parámetro tiene menor representación con las componentes principales del gráfico, o bien posee buena representación en factores no graficados. En el caso de la Figura 4.9 sólo la variable P6 está levente menos representada en los dos factores, pero no marcadamente.

- Gráfico Biplot-valores: diagrama de dispersión (Figura 4.10) en donde los ejes son dos factores seleccionados y la ubicación son las puntuaciones factoriales de cada observación (puntos azules), o bien observaciones adicionales (puntos naranjos) que no fueron utilizadas en los cálculos. Esta representación, en conjunto con características de los puntos de observación (coordenadas, posición en acuífero, cercanía a ciudades o industrias, momento del muestreo, etc.) permite apreciar tendencias espaciales y/o temporales, o similitudes entre ellos, o incluso entre datos de bases de datos distintas En el ejemplo de la Figura 4.10 se parecía que varios pozos se agrupan tanto en zonas aguas arriba y aguas abajo, como en zonas agrícolas. Por otra parte, se ha agregado observaciones adicionales (puntos naranjos), pudiendo ser agrupadas en la zona de vertientes.

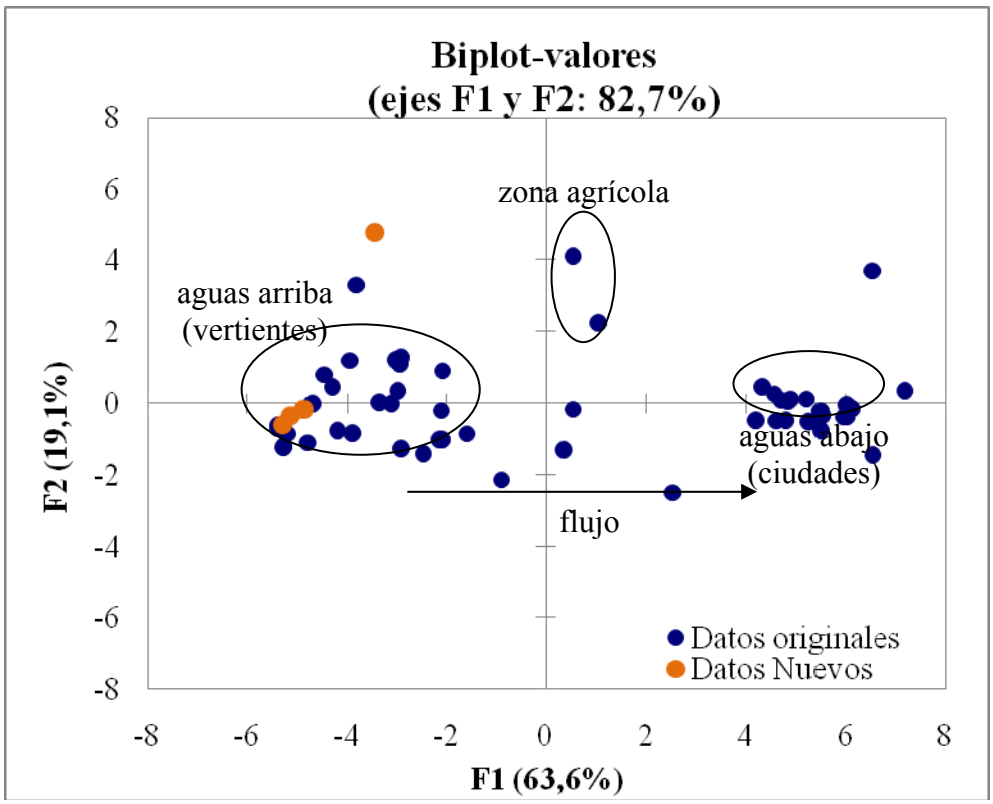


Figura 4.10: Ejemplo de gráfico Biplot-valores.

4.7.2 Interpretación de resultados del ACP

A continuación, para un acuífero cualquiera, se ilustrará como interpretar los resultados al aplicar ACP a la concentración observada de los parámetros químicos Na, Cl, SDT, Ca, Mg, SO_4 y NO_3. La Figura 4.11 presenta el gráfico Biplot-variables con los dos primeros factores o componentes principales.

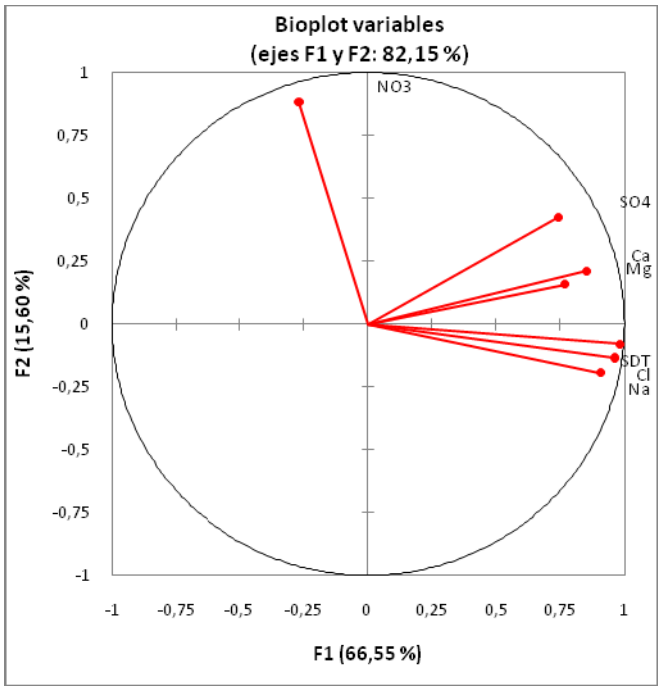


Figura 4.11: Gráfico Biplot-variables de acuífero ejemplo.

En primer lugar se destaca que la varianza total explicada por ambos factores alcanza 82,15% (factor 1: 66,55% y factor 2: 15,60%), por lo que contienen gran parte de la información de los datos originales.

En segundo lugar, la longitud del vector indica el grado de representación de los elementos en el espacio reducido de dos factores o componentes principales representados. Se debe prestar especial atención a este valor cuando un parámetro sea extremadamente pequeño con respecto al resto, puesto que corresponderá a un parámetro que tiene menor representación en las componentes principales del gráfico, o bien posee buena representación en factores no graficados, y por lo tanto no es bien explicado por dichos factores. En el caso de la Figura 4.11 se verifica que todos los parámetros tienen buena representación en los primeros dos factores o componentes principales.

En tercer lugar, a partir del ángulo de los vectores con los ejes, el gráfico muestra (al igual que la matriz de factores) que los parámetros SDT, Na, Cl, Ca y Mg están altamente explicados por el factor 1, el parámetro NO_3 por el factor 2, mientras que el SO_4 es explicado por una

combinación de ambos. Cabe señalar que si se incluyera en el análisis la concentración de metales provenientes de la actividad industrial (por ejemplo Cd, Cu, Cr, Pb y Zn), y por tanto con un alto nivel de correlación entre ellos, probablemente se agruparían entorno a un tercer componente principal asociado a la actividad industrial y no se agruparían entorno a los dos primeros factores (YU, y otros, 1998).

Por otra parte, del ángulo entre los vectores de los parámetros químicos se reconocen varios grupos con muy buena correlación (Na-Cl-SDT y Ca-Mg), y otros que tienen menor o ninguna correlación (SO_4 y NO_3).

A partir de lo anterior, la relación entre parámetros y entre estos y los factores, ya es posible afirmar que los grupos Na-Cl-SDT y Ca-Mg tendrían origen similar, mientras que el NO_3 tiene un origen completamente distinto. Por último el SO_4 tendría un origen combinado.

Cabe mencionar que una interpretación más detallada de los factores requiere mayores antecedentes de la zona de estudio como concentraciones, actividades económicas, industria presentes, geología, etc. En este caso, suponiendo que la concentración de Na-Cl-SDT y Ca-Mg son bajas y se encuentran en rangos atribuibles a condiciones naturales, el factor 1 asociado a dichos grupos se interpretaría como de origen natural. El factor 2 se interpretaría como de origen antrópico, pues el NO_3 generalmente es incorporado por actividades humanas.

La Figura 4.12 presenta el gráfico Biplot-valores con la puntuación factorial de cada observación según los dos factores seleccionados (factor 1 en la abscisa y factor 2 en la ordenada) y con algunos datos adicionales (agua de mar y agua dulce).

Los antecedentes adicionales de las observaciones (ubicación en el acuífero, cercanía a fuentes contaminantes, etc.) permiten agrupar puntos de observaciones con similares características, por ejemplo en la figura se destaca zonas agrícolas, zonas costeras, y zonas áridas.

Además se puede destacar que los puntos con peor calidad química se ubican en la porción alta de los factores, es decir hacia las zonas agrícolas con altos valores de NO_3 (factor 2) y hacia zonas costeras con altos valores de sales disueltas (factor 1). Y por lo tanto, la gran cantidad de observaciones se ubican próximas al origen reflejando una mejor calidad de estas aguas.

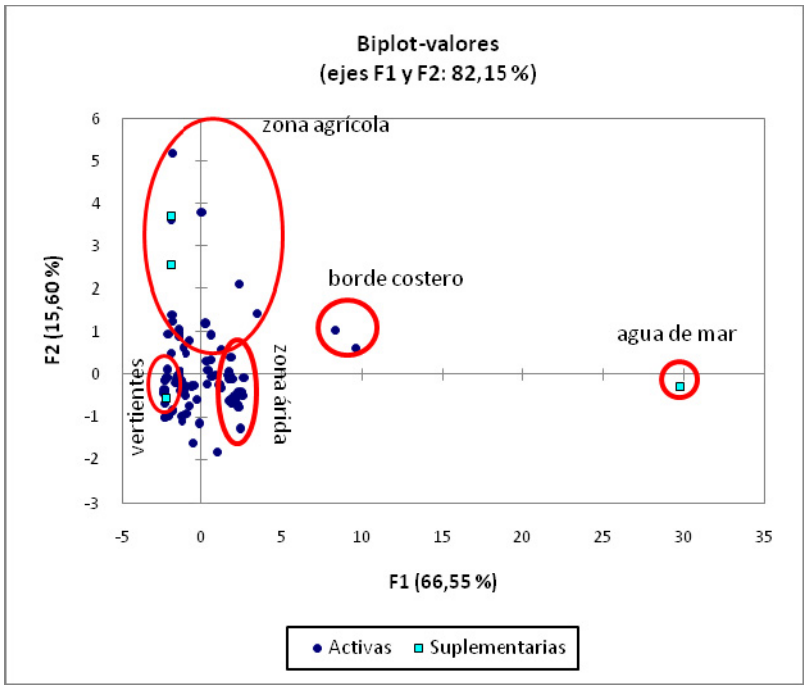


Figura 4.12: Gráfico Biplot-valores de acuífero ejemplo.

En definitiva, como resultado de este análisis estadístico con ACP se obtiene un grupo de parámetros con origen común. En este ejemplo las variables Na, Cl, SDT, Mg y Ca provienen de la misma fuente (y asociado a factor 1), el NO_3 proviene de una fuente distinta (asociado a factor 2), y el SO_4 tienen dos fuentes distintas (y asociado a factor 1 y factor 2).

4.7.3 Cruce de información

Con la finalidad complementar el resultado del ACP, la metodología plantea establecer una interpretación más precisa de los factores seleccionados indicando el posible origen para cada uno de ellos, por ejemplo natural o antrópico, y por consiguiente a los compuestos disueltos seleccionados como parámetros. Para lo anterior resulta necesario conocer otros antecedentes de la zona de estudio como concentraciones observadas, actividad económica, industrias presentes, etc., así como antecedentes complementarios de correlación entre parámetros u origen de estos en las aguas.

Los antecedentes de la zona están disponibles en la metodología a partir de la base de datos química y la caracterización de la zona de estudio. Por otra parte, la metodología propone

utilizar como antecedentes complementarios la Tabla 4.20, que constituye un extracto de la Tabla A1.1 y la Tabla A1.2 propuesta por la OMS respecto a seguridad química en agua potable (OMS, 2007). Esta tabla relaciona un elemento químico con su posible origen, pudiendo ser ocurrencia natural, actividad agrícola, asentamientos humanos, industrial, y producción y distribución de agua potable según la Tabla 4.21.

Tabla 4.20: Posible origen de elementos químicos en el agua.

Elemento	Ocurrencia natural	Actividad agrícola	Asentamientos humanos	Industrial	Producción y distribución de A.P.	Mayores usos
Cl	x		x	x		Producción de químicos industriales (soda cáustica, cloro, sodio, clorito de sodio, hipoclorito de sodio), control de hielo y nieve; producción de fertilizantes.
*Ca	x	x		x		Depósitos naturales, intrusión de agua salina o agua de mar. Industria de prefabricados de la construcción, alimentarias y papeleras. Fertilizantes.
*SO_4	x	x		x		Fertilizantes; productos químicos; colorantes; vidrio; papel; jabones; textiles; fungicidas; insecticidas astringentes; eméticos; minería, pulpa de madera, industria de metales y galvanizados; tratamiento de aguas servidas; procesamiento de cuero; agente de sedimentación; control de algas
Na	x			x		Fabricación de tetraetilo de plomo y de hidruro de sodio; producción de titanio; catalizador para caucho sintético; reactivos de laboratorio; refrigerante de reactores nucleares; cables de energía eléctrica; alumbrado público; generadores de energía solar; tratamiento de aguas.
*Mg	x	x		x		Abundante en la naturaleza, y se halla en minerales rocosos, además se encuentra en el agua de mar, salmueras subterráneas y lechos salinos. Fertilizantes. Industria metalúrgica y papelera.
NO_3		x	x	x		Fertilizantes inorgánicos; agente oxidante; producción de explosivos; confección de vidrio.

Tabla 4.20: Posible origen de elementos químicos en el agua.

Elemento	Ocurrencia natural	Actividad agrícola	Asentamientos humanos	Industrial	Producción y distribución de A.P.	Mayores usos
Al			x	x	x	Antiácidos; vacunas; antitranspirantes; aditivo de comidas; floculantes;
Fe	x			x	x	Tuberías de agua potable; pigmentos en pinturas y plásticos, colorantes de comida; tratamiento de deficiencia en humanos; coagulante
Mn	x			x		Aleaciones (acero, hierro); baterías; vidrio; extinción de incendio; oxidante con propósito de limpieza, blanqueamiento y desinfección.
As	x			x		Agentes de aleación en la fabricación de transistores, láser, y semiconductores; transformación de vidrio, pigmentos textiles, papel, adhesivos de metal, madera y, municiones; plaguicidas, productos farmacéuticos

Fuente: OMS (2007). **Fuentes complementarias:* GONZÁLEZ y ORTIZ (2004), LENNTECH (2008).

Tabla 4.21: Categorización del origen de elementos químicos en el agua.

Fuente	Ejemplos
Ocurrencia natural (incluye ocurrencia natural de toxinas de algas)	Rocas y suelos, cianobacterias en aguas superficiales.
Actividad agrícola (incluye pesticidas)	Aplicación de purines, fertilizantes y pesticidas; prácticas intensivas de producción animal.
Asentamientos humanos (incluye aquellos usados con propósitos de salud pública, por ejemplo control de vectores)	Disposición de basura y aguas servidas, escurrimiento urbano, pérdidas de combustible.
Industrial	Manufactura, procesamiento y minería.
Producción y distribución de agua potable	Químicos de tratamiento de aguas; corrosión y/o depositación proveniente de estanques de almacenamiento y tuberías.

Fuente: OMS (2007).

4.7.4 Resultado del origen de compuestos disueltos

En definitiva, mediante el cruce de información del análisis de ACP, la información de la OMS (2007) y los antecedentes disponibles es posible identificar el origen de parámetros químicos de modo de caracterizar más precisamente el origen de la calidad obtenida en el sector acuífero. El resultado final del análisis estadístico para determinar el origen de compuestos disueltos es una tabla que relaciona cada parámetro con una posible fuente, como la Tabla 4.22 que resume el análisis de origen para el ejemplo presentado en la sección 4.7.2.

Tabla 4.22: Ejemplo de resultado final análisis de origen de compuestos disueltos.

Parámetros	Posible origen
Na, Cl, SDT	Natural (condiciones hidrogeoquímicas)
Ca, Mg	Natural (condiciones hidrogeoquímicas)
NO_3	Antrópico (agrícola)
SO_4	Natural y Antrópico (agrícola)

En el caso del ejemplo presentado en la sección 4.7.2 (Figura 4.11 y Figura 4.12) se obtiene que el grupo Na-Cl-SDT, de acuerdo a Tabla 4.20, tiene fuente común la ocurrencia natural o industrial, sin embargo si las concentraciones son tales que no permiten relacionarlas a alguna industria, probablemente el origen sea natural. Dado que estos elementos se asocian al factor 1, se asigna un origen natural a este factor.

Por otra parte el NO_3, y por consiguiente el factor 2, tendrían origen antrópico ya que, de acuerdo a Tabla 4.20, las fuentes pueden ser actividad agrícola, asentamientos humanos y/o industrial. Suponiendo que los antecedentes disponibles indican que existen varios pozos en zonas agrícolas, así como ausencia de industrias contaminantes de Nitratos, el origen puede establecerse como antrópico-agrícola.

En el caso del SO_4, dado que está asociado tanto al factor 1 como a la factor 2, probablemente tiene un origen natural y antrópico, lo que resulta consistente con lo planteado por la Tabla 4.20. En último caso el grupo Ca-Mg está asociado principalmente al factor 1, por lo que su origen probable es natural.

5 APLICACIÓN DE METODOLOGÍA DE CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS

En este capítulo se describe la aplicación de la metodología desarrollada para la clasificación de acuíferos en cuanto a su calidad química para los tres sectores acuíferos elegidos, es decir: El Loa, Los Choros y Aconcagua.

La descripción se presenta ordenada de la misma manera en que se presenta la metodología en el Capítulo 4, es decir, se detalla el procesamiento de la información y luego los resultados (mapas temáticos) para cada uno de los pasos de metodológicos definidos. Primero en base a los antecedentes disponibles de análisis químicos de aguas subterráneas se realiza la elección de los parámetros que se considerarán en el Grupo 2 y el análisis de los datos. En segundo lugar se determina el IC, individual y general del acuífero según los criterios antes descritos y los mapas de isoconcentración de cada uno de los parámetros, obtenidos por interpolación espacial. En tercer lugar, se realiza el análisis estadístico para identificar origen de la calidad en base a las concentraciones observadas de cada parámetro. En cuarto lugar, corresponde realizar el análisis temporal de la calidad del acuífero para indicar su tendencia en el tiempo, aunque no existen datos del IC del acuífero de períodos distintos. Finalmente se presenta un mapa del acuífero con la correspondiente calidad y la caracterización de origen y temporal.

Todos los cálculos se realizaron bajo la plataforma ArcGIS®, con el apoyo de Excel®, donde se realizó la interpolación y las posteriores clasificaciones del IC individual y el IC general. Se eligió esta plataforma debido a que contiene una gran cantidad de opciones de interpolación y contiene opciones de cálculo. Cada uno de estos cálculos arroja como resultado mapas de los acuíferos donde se representa espacialmente los distintos índices de calidad.

5.1 Elección de sectores-acuífero para la aplicación de la metodología

Las bases del proyecto propusieron 12 sectores acuíferos para determinar en cuál o cuáles permitirían la aplicación de la metodología diseñada, en función de la calidad y cantidad de la información disponible. En las primeras etapas del estudio se recopiló y analizó toda la información respecto de los acuíferos propuestos (red de medición de niveles y calidad química de aguas subterráneas de la DGA y otros estudios). En base a esta información se realizó un exhaustivo análisis para definir los tres sectores acuíferos posibles para la

aplicación de la metodología propuesta, a saber: El Loa (como sector piloto), Aconcagua y Los Choros (como sectores para validar la metodología). A continuación se presenta las tablas resumen de estos sectores acuífero respecto a la información disponible de ellos, mientras que en los Anexos (Sección 1.1) se encuentra las fichas del resto de los sectores acuíferos estudiados.

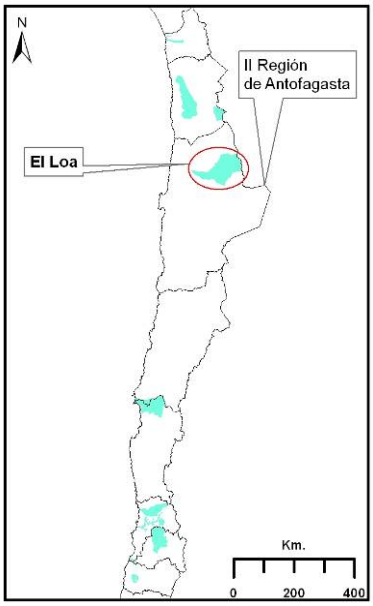
Tabla 5.1: Ficha resumen de información disponible sector acuífero El Loa.

SECTOR ACUÍFERO RÍO LOA

II Región de Antofagasta

Cantidad y tipo de acuíferos:	2 (libre-confinado)	Nº de pozos con datos de química:	1
Localización de acuífero:	Altiplánico	Superficie por punto (km^2):	7.950,38
Superficie acuífero (km^2):	7.950,38	Nº de pozos con datos de niveles:	14
Profundidad acuífero:	-	Superficie por punto(km^2):	567,88
Prof. nivel piezométrico:	-	Nº de pozos con datos de derechos:	206
Caudal total otorgado (L/s):	2.805	Superficie por punto (km^2):	38,59

Localización sector acuífero



Detalle sector acuífero y pozos DGA con información

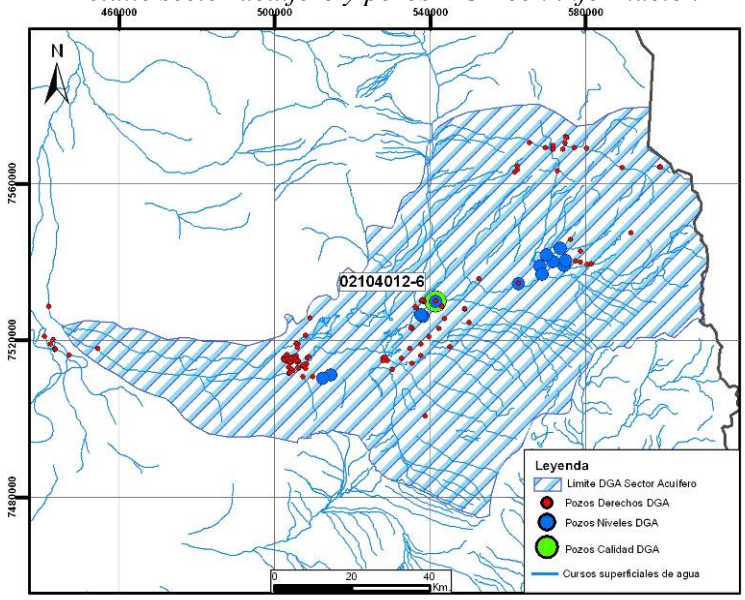


Tabla 5.1: Ficha resumen de información disponible sector acuífero El Loa. (cont.).

INFORMACIÓN DATOS DGA

Calidad química:

Nº de pozos:	1	*Extensión de los registros (años)*	
Nº de pozos vigentes:	1	5-9:	0
Nº promedio análisis por pozo:	28	9-12:	1
% de análisis con B. Iónico correcto:	87%	12-15:	0

Valores temporales (extensión de registro) de parámetros físico-químicos

Promedios

		Na (mg/L):	785,2	Cl (mg/L):	1.772,3
Cond. eléctrica (µmhos/cm):	5.714,4	Ca (mg/L):	101,6	HCO_3 (mg/L):	215,0
pH (u. pH):	7,9	Mg (mg/L):	67,8	SO_4 (mg/L):	65,0
		K (mg/L):	80,2	CO_3 (mg/L):	4,3

Máximos

		Na (mg/L):	2.980,0	Cl (mg/L):	5.533,8
Cond. eléctrica (µmhos/cm):	16.209,0	Ca (mg/L):	184,2	HCO_3 (mg/L):	381,4
pH (u. pH):	8,5	Mg (mg/L):	264,0	SO_4 (mg/L):	750,0
		K (mg/L):	234,0	CO_3 (mg/L):	38,4

Mínimos

		Na (mg/L):	87,5	Cl (mg/L):	634,6
Cond. eléctrica (µmhos/cm):	2.282,0	Ca (mg/L):	38,0	HCO_3 (mg/L):	135,8
pH (u. pH):	6,6	Mg (mg/L):	25,0	SO_4 (mg/L):	0,0
		K (mg/L):	3,9	CO_3 (mg/L):	0,0

Desviación estándar

		Na (mg/L):	642,6	Cl (mg/L):	1.380,0
Cond. eléctrica (µmhos/cm):	3.664,4	Ca (mg/L):	43,7	HCO_3 (mg/L):	68,5
pH (u. pH):	0,5	Mg (mg/L):	53,1	SO_4 (mg/L):	161,2
		K (mg/L):	61,0	CO_3 (mg/L):	9,2

Otros parámetros analizados:

Ag, Al, As, B, Cd, Co, Cr, Cu, Fe , Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, Zn, $P(PO_4)$

Datos Niveles:

Nº de Pozos:	14	*Extensión de los registros (años)*	
Nº de Pozos con cota:	8	0 - 10:	5
Nº de Pozos vigentes:	8	10 - 20:	9
Nº de Pozos suspendidos:	6	+ de 20:	0
Calidad de la información:	R		

B (Buena): Más de 20 pozos con buena calidad de coordenadas y cotas
R (Regular): Menos de 20 pozos con buena calidad de coordenadas y cotas
D (Deficiente): Menos de 20 pozos con coordenadas a corregir

Datos Derechos :

Nº Solicitudes:	206	*Usos*			
Aprobados, Ley 20017:	117	Agua Potable:	0	Industria:	8
Provisorios:	0	Riego:	20	Otros usos:	58
Pendientes:	10	Minería:	108	Sin información:	14
Denegados:	79				
Caudal total aprobado (L/s):	2.805				

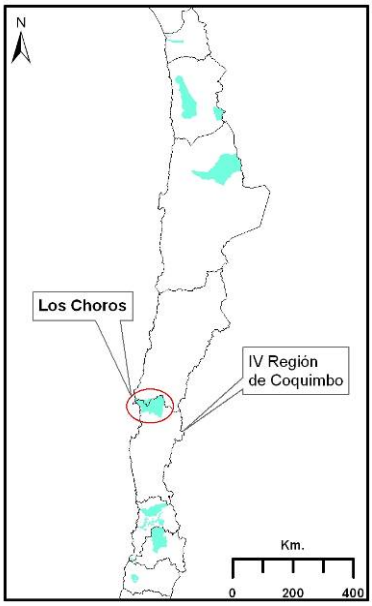
Tabla 5.1: Ficha resumen de información disponible sector acuífero El Loa. (cont.).

INFORMACIÓN ESTUDIOS Y DOCUMENTOS RECOPILADOS			
Nº Estudios considerados:	4		
Nº Estudios útiles:	3		
Calidad Química:			
Nº Análisis químicos:	249	Nº Estudios con muestras en agua superficial:	1
Nº Puntos de muestreo:	128	Nº Estudios con muestras en agua subterránea:	2
Nº Puntos con medición temporal:	67	Nº de Estudios con datos nuevos:	2
Nº Estudios con parámetros principales:			
Cond. eléctrica:	2	Mg:	1
pH:	1	Cl:	1
Na:	1	HCO_3:	1
Ca:	1	SO_4:	1
Nº Estudios con parámetros isotópicos:			
$d^{18}O$:	2	d^2H:	2
Tritio:	2		
Nº Estudios con otros parámetros:			
CO_3:	1	Br:	0
Li:	1		
As:	1	Cianuro:	0
M_2CO_3:	0		
B:	2	CO_2:	0
Mn:	0		
Cu:	0	Col Fec:	0
Mo:	0		
Fe:	0	Col Totales:	0
OD:	0		
Pb:	0	Color aparente:	0
RAS:	0		
PO_4:	0	Cr:	0
RASO:	0		
NO_3:	2	DBO_5:	0
S:	0		
Nitrito:	1	Densidad:	0
$Si O_2$:	1		
SS:	0	Dureza:	0
Sn:	0		
ST:	1	F:	0
Zn:	0		
Alc:	1	I:	0
Tº:	1		
Al:	0	K:	1
Nº Estudios con caracterización de:			
Niveles de agua:	1	Activ. prod. pot. contaminantes:	1
Uso de suelo:	0	Zona de riesgo tradicional:	0
Demanda ambiental suelos:	0	Zona disposición de riles:	0
Carga contaminante existente:	0	Descarga de riles:	0

Tabla 5.2: Ficha resumen de información disponible sector acuífero Los Choros.

SECTOR ACUÍFERO LOS CHOROS *IV Región de Coquimbo*			
Cantidad y tipo de acuífero:	2 (libre-conf.)	Nº de pozos con datos de química:	2
Localización de acuífero:	Costero	Superficie por punto (km^2):	7.139,86
Superficie acuífero (km^2):	14.279,71	Nº de pozos con datos de niveles:	13
Profundidad acuífero:	-	Superficie por punto(km^2):	1.098,94
Prof. nivel piezométrico:	-	Nº de pozos con datos de derechos:	316
Caudal total otorgado (L/s):	3.476	Superficie por punto (km^2):	45,19

Localización sector acuífero



Detalle sector acuífero y pozos DGA con información

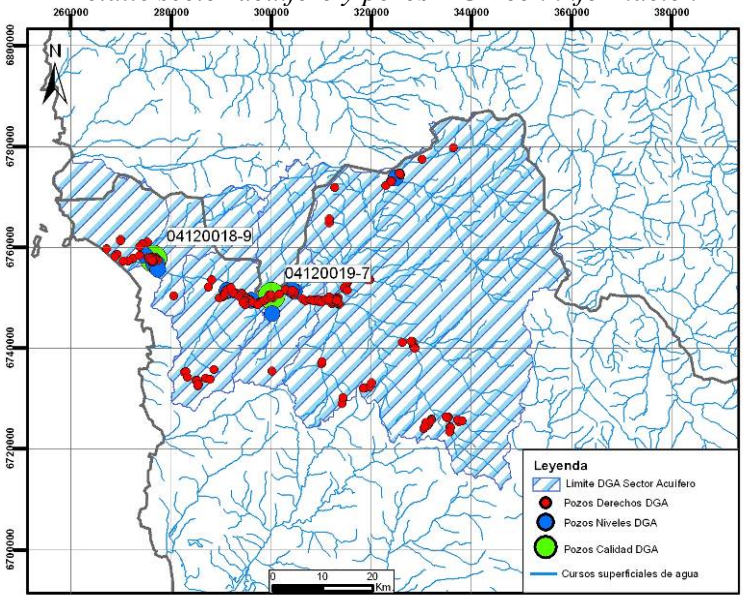


Tabla 5.2: Ficha resumen de información disponible sector acuífero Los Choros. (cont.)

INFORMACIÓN DATOS DGA

Calidad química:

Nº de pozos:	2
Nº de pozos vigentes:	2
Nº promedio análisis por pozo:	38
% de análisis con B. Iónico correcto:	92 %

Extensión de los registros (años)

5-9:	0
9-12:	0
12-15:	2

Valores temporales (extensión de registro) de parámetros físico-químicos

Promedios

		Na (mg/L):	118,6	Cl (mg/L):	166,0
Cond. eléctrica (µmhos/cm):	977,7	Ca (mg/L):	55,8	HCO_3 (mg/L):	153,2
pH (u. pH):	8,0	Mg (mg/L):	21,1	SO_4 (mg/L):	120
		K (mg/L):	6,0	CO_3 (mg/L):	0,8

Máximos

		Na (mg/L):	170,5	Cl (mg/L):	239,8
Cond. eléctrica (µmhos/cm):	1.630,0	Ca (mg/L):	123,6	HCO_3 (mg/L):	219,7
pH (u. pH):	9,4	Mg (mg/L):	42,6	SO_4 (mg/L):	260,0
		K (mg/L):	67,2	CO_3 (mg/L):	17,0

Mínimos

		Na (mg/L):	90,2	Cl (mg/L):	104,6
Cond. eléctrica (µmhos/cm):	217,9	Ca (mg/L):	4,8	HCO_3 (mg/L):	97,3
pH (u. pH):	6,7	Mg (mg/L):	2,0	SO_4 (mg/L):	0,0
		K (mg/L):	1,6	CO_3 (mg/L):	0,0

Desviación estándar

		Na (mg/L):	14,1	Cl (mg/L):	32,4
Cond. eléctrica (µmhos/cm):	259,5	Ca (mg/L):	29,0	HCO_3 (mg/L):	29,7
pH (u. pH):	0,5	Mg (mg/L):	9,9	SO_4 (mg/L):	69,8
		K (mg/L):	5,6	CO_3 (mg/L):	2,8

Otros parámetros analizados:

Ag, Al, As, B, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, Zn, $N(NO_2)$, $P(PO_4)$

Datos Niveles:

Nº de Pozos:	13
Nº de Pozos con cota:	0
Nº de Pozos vigentes:	13
Nº de Pozos suspendidos:	0
Calidad de la información:	D

Extensión de los Registros (años)

0 - 10:	0
10 - 20:	2
+ de 20:	11

B (Buena): Más de 20 pozos con buena calidad de coordenadas y cotas
R (Regular): Menos de 20 pozos con buena calidad de coordenadas y cotas
D (Deficiente): Menos de 20 pozos con coordenadas a corregir

Datos Derechos :

Nº Solicitudes:	316		*Usos*		
Aprobados, Ley 20017:	257	Agua Potable:	28	Industria:	0
Provisorios:	0	Riego:	263	Otros usos:	0
Pendientes:	4	Minería:	108	Sin información:	2
Denegados:	55				
Caudal total aprobado (L/s):	3.476				

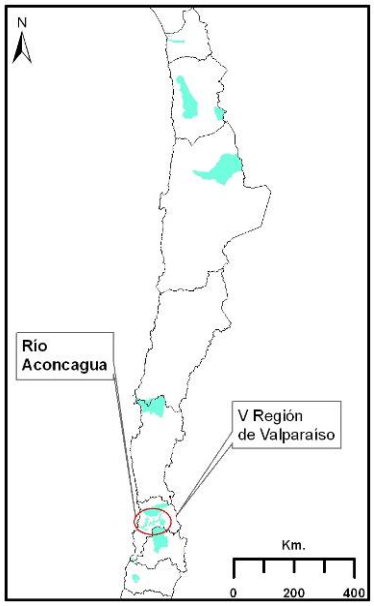
Tabla 5.2: Ficha resumen de información disponible sector acuífero Los Choros. (cont.)

INFORMACIÓN ESTUDIOS Y DOCUMENTOS RECOPILADOS			
Nº Estudios considerados: 7			
Nº Estudios útiles: 7			
Calidad Química:			
Nº Análisis químicos: 46		Nº Estudios con muestras en agua superficial: 0	
Nº Puntos de muestreo: 34		Nº Estudios con muestras en agua subterránea: 2	
Nº Puntos con medición temporal: 12		Nº de Estudios con datos nuevos: 2	
Nº Estudios con parámetros principales:			
Cond. eléctrica: 2		Mg: 2	
pH: 2		Cl: 2	
Na: 2		HCO_3: 2	
Ca: 2		SO_4: 2	
Nº Estudios con parámetros isotópicos:			
$d^{18}O$: 0	d^2H: 0	Tritio: 0	
Nº Estudios con otros parámetros:			
CO_3: 1	Br: 0	Li: 0	
As: 0	Cianuro: 0	M_2CO_3: 0	
B: 0	CO_2: 0	Mn: 0	
Cu: 0	Col Fec: 0	Mo: 0	
Fe: 0	Col Totales: 0	OD: 0	
Pb: 0	Color aparente: 0	RAS: 1	
PO_4: 0	Cr: 0	RASO: 0	
NO_3: 2	DBO_5: 0	S: 0	
Nitrito: 1	Densidad: 0	$Si O_2$: 1	
SS: 1	Dureza: 1	Sn: 0	
ST: 2	F: 0	Zn: 0	
Alc: 0	I: 0	Tº: 1	
Al: 0	K: 1		
Nº Estudios con caracterización de:			
Niveles de agua: 7		Activ. prod. pot. contaminantes: 0	
Uso de suelo: 1		Zona de riesgo tradicional: 0	
Demanda ambiental suelos: 0		Zona disposición de riles: 0	
Carga contaminante existente: 0		Descarga de riles: 0	

Tabla 5.3: Ficha resumen de información disponible sector acuífero Aconcagua.

SECTOR ACUÍFERO RÍO ACONCAGUA *V Región de Valparaíso*			
Cantidad y tipo de acuíferos:	2 (libre-conf.)	Nº de pozos con datos de química:	2
Localización de acuífero:	Dep. Intermedia	Superficie por punto (km^2):	577,79
Superficie acuífero (km^2):	1.155,58	Nº de pozos con datos de niveles:	63
Profundidad acuífero:	-	Superficie por punto(km^2):	18,34
Profundidad nivel piezométrico:	-	Nº de pozos con datos de derechos:	1.542
Caudal total otorgado (L/s):	6.055	Superficie por punto (km^2):	0,75

Localización sector acuífero



Detalle sector acuífero y pozos DGA con información

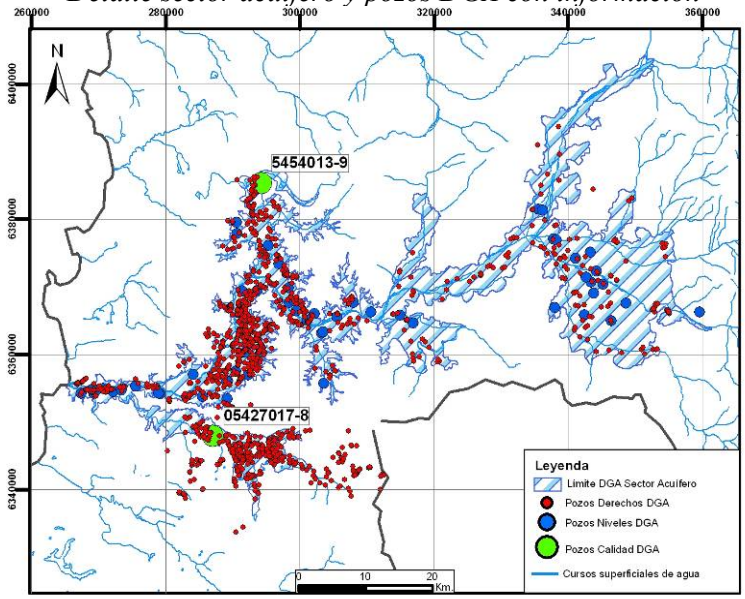


Tabla 5.3: Ficha resumen de información disponible sector acuífero Aconcagua. (cont.)

INFORMACIÓN DATOS DGA

Calidad química:

Nº de pozos:	2	*Extensión de los registros (años)*	
Nº de pozos vigentes:	2	5-9:	0
Nº promedio análisis por pozo:	29	9-12:	1
% de análisis con B. Iónico correcto:	91 %	12-15:	1

Valores temporales (extensión de registro) de parámetros físico-químicos

Promedios

		Na (mg/L):	35,2	Cl (mg/L):	39
Cond. eléctrica (µmhos/cm):	759,1	Ca (mg/L):	96,7	HCO_3 (mg/L):	175,2
pH (u. pH):	7,7	Mg (mg/L):	28,5	SO_4 (mg/L):	208,4
		K (mg/L):	2,1	CO_3 (mg/L):	2,5

Máximos

		Na (mg/L):	57,3	Cl (mg/L):	218,8
Cond. eléctrica (µmhos/cm):	1.159,0	Ca (mg/L):	220,0	HCO_3 (mg/L):	261,3
pH (u. pH):	8,7	Mg (mg/L):	95,9	SO_4 (mg/L):	445,0
		K (mg/L):	32,0	CO_3 (mg/L):	19,3

Mínimos

		Na (mg/L):	2,8	Cl (mg/L):	15,3
Cond. eléctrica (µmhos/cm):	8,2	Ca (mg/L):	45,0	HCO_3 (mg/L):	10,4
pH (u. pH):	6,2	Mg (mg/L):	10,4	SO_4 (mg/L):	40,2
		K (mg/L):	0,6	CO_3 (mg/L):	0,0

Desviación estándar

		Na (mg/L):	8,4	Cl (mg/L):	22,5
Cond. eléctrica (µmhos/cm):	224,1	Ca (mg/L):	30,4	HCO_3 (mg/L):	37,8
pH (u. pH):	0,6	Mg (mg/L):	10,1	SO_4 (mg/L):	62,8
		K (mg/L):	3,0	CO_3 (mg/L):	4,7

Otros parámetros analizados:

Ag, Al , As, B, Cd, Co, Cr, Cu , Fe , Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, Zn, $P(PO_4)$

Datos Niveles:

Nº de Pozos:	63	*Extensión de los registros (años)*	
Nº de Pozos con cota:	35	0 - 10:	2
Nº de Pozos vigentes:	59	10 - 20:	4
Nº de Pozos suspendidos:	4	+ de 20:	57
Calidad de la información:	B		

B (Buena): Más de 20 pozos con buena calidad de coordenadas y cotas
R (Regular): Menos de 20 pozos con buena calidad de coordenadas y cotas
D (Deficiente): Menos de 20 pozos con coordenadas a corregir

Datos Derechos :

Nº Solicitudes:	1.542		*Usos*		
Aprobados, Ley 20017:	909	Agua Potable:	189	Industria:	0
Provisorios:	0	Riego:	1.335	Otros usos:	0
Pendientes:	25	Minería:	18	Sin información:	0
Denegados:	608				
Caudal total aprobado (L/s):	6.055				

Tabla 5.3: Ficha resumen de información disponible sector acuífero Aconcagua. (cont.)

INFORMACIÓN ESTUDIOS Y DOCUMENTOS RECOPILADOS					
Nº Estudios considerados: 6					
Nº Estudios útiles: 4					
Calidad Química:					
Nº Análisis químicos: 0		Nº Estudios con muestras en agua superficial: 0			
Nº Puntos de muestreo: 0		Nº Estudios con muestras en agua subterránea: 0			
Nº Puntos con medición temporal: 0		Nº de Estudios con datos nuevos: 0			
Nº Estudios con parámetros principales:					
Cond. eléctrica: 0		Mg: 0			
pH: 0		Cl: 0			
Na: 0		HCO_3: 0			
Ca: 0		SO_4: 0			
Nº Estudios con parámetros isotópicos:					
$d^{18}O$: 0	d^2H: 0	Tritio: 0			
Nº Estudios con otros parámetros:					
CO_3: 0	Br: 0	Li: 0			
As: 0	Cianuro: 0	M_2CO_3: 0			
B: 0	CO_2: 0	Mn: 0			
Cu: 0	Col Fec: 0	Mo: 0			
Fe: 0	Col Totales: 0	OD: 0			
Pb: 0	Color aparente: 0	RAS: 0			
PO_4: 0	Cr: 0	RASO: 0			
NO_3: 0	DBO_5: 0	S: 0			
Nitrito: 0	Densidad: 0	Si O_2: 0			
SS: 0	Dureza: 0	Sn: 0			
ST: 0	F: 0	Zn: 0			
Alc: 0	I: 0	Tº: 0			
Al: 0	K: 0				
Nº Estudios con caracterización de:					
Niveles de agua: 0		Activ. prod. pot. contaminantes: 0			
Uso de suelo: 0		Zona de riesgo tradicional: 0			
Demanda ambiental suelos: 0		Zona disposición de riles: 0			
Carga contaminante existente: 0		Descarga de riles: 0			

El estudio entrega una herramienta que permite caracterizar cualquier sector acuífero en el país, debido a esto a que los sectores acuíferos seleccionados interpretan distintas realidades geográficas de Chile, distintas características físicas del territorio, como también distintas características en lo que se refiere a actividades antrópicas desarrolladas. Por ejemplo el sector acuífero El Loa representa características hidrogeológicas propias de los acuíferos del norte del país, además se puede relacionar a la actividad minera del norte grande con una potencial contaminación específica. El sector acuífero Los Choros es interesante de estudiar debido a los

problemas de intrusión salina que tienen la mayoría de los acuíferos costeros, que en cierta medida se ven afectados con el aumento de la extracción de agua subterránea debido a las distintas actividades antrópicas que se pueden desarrollar en esas áreas. Por último el sector acuífero Aconcagua representa a los acuíferos típicos de la zona central del país, los cuales poseen una fuerte demanda por el recurso hídrico utilizado en la industria, agua potable y riego, entre otras. Además de esta fuerte demanda por el recurso, están muy susceptibles a ser contaminados por los distintos residuos que producen las actividades antrópicas que se desarrollan.

5.2 Sector acuífero El Loa

5.2.1 Antecedentes disponibles

Este acuífero está ubicado en la II Región de Antofagasta, al interior de la cuenca del Río Loa y posee un comportamiento exorreico. Los escurrimientos principales son el río San Pedro, El Loa, Salado y El Salvador y las quebradas Llalqui y León. El acuífero posee un área de 7.950 km^2 y se extiende desde el valle central hasta la Cordillera de los Andes. Entre las ciudades importantes se puede mencionar a Calama con 136.600 habitantes (Censo 2002).

La hidrogeología del sector acuífero la componen depósitos no consolidados, con rocas volcánicas fracturadas y rocas carbonatadas, en tres zonas características: Calama, Llalqui y León. Existen dos acuíferos, uno superior de condición libre y con espesor máximo de 100 m, y otro inferior del tipo confinado y cuyo espesor puede alcanzar los 200 m. Ambos acuíferos se encuentran separados por un estrato confinante con espesor entre 0 y 200 m (DICTUC, 2005).

La metodología describe la calidad de un acuífero, por lo que en este sector acuífero como se reconocen dos, uno superior libre y otro inferior confinado, sería necesario aplicarla a cada uno de ellos en forma independiente.

En este acuífero se cuenta con la información del estudio "Evaluación de los Recursos Hídricos Sectores Calama y Llalqui, Cuenca del Río Loa, S.I.T. Nº85" (DGA, 2003). Se debe tener en cuenta que los datos disponibles (Anexos, Sección 4.1.1) en este sector acuífero son

pocos, con una densidad muy baja, y con deficiente distribución. Además las mediciones corresponden a distintas fechas (años 1999 y año 2000) o éstas son desconocidas.

Del estudio antes mencionado se seleccionaron 38 puntos que pertenecen al acuífero superior, y en el cual se aplicó la metodología por contar con más datos y revestir mayor riesgo de afectación antrópica.

A partir de los puntos seleccionados y su ubicación se realizó la caracterización de tres zonas del acuífero, donde se consideró que la información disponible era aceptable para la interpolación de la información y la aplicación de la metodología (ver Figura 5.1). En otras palabras, en base a la información disponible no fue posible realizar un análisis del sector acuífero completo. Estas tres zonas abarcan 1.991 km^2 y fueron delimitados considerando un radio máximo de interpolación de 8 km por pozo, que representa un área de 200 km^2 para cada pozo.

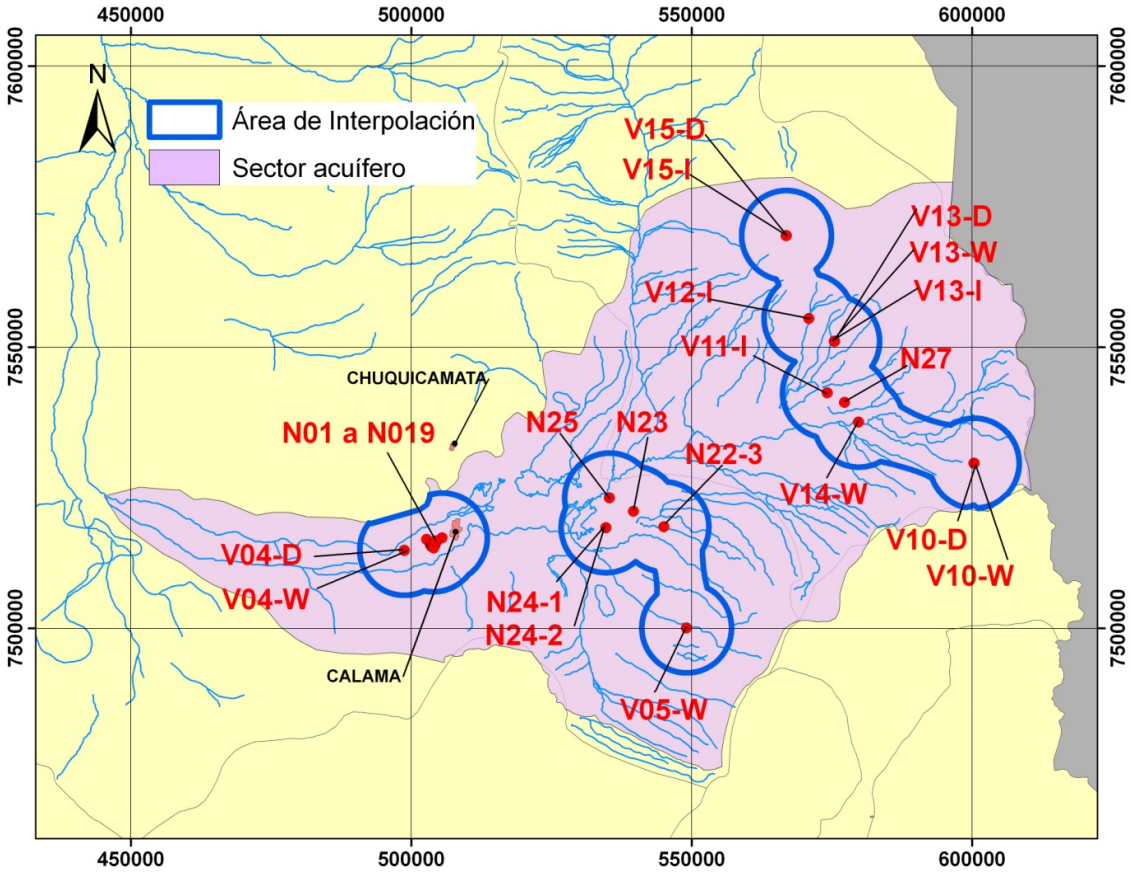


Figura 5.1: Distribución de los puntos de muestreo en sector acuífero El Loa.

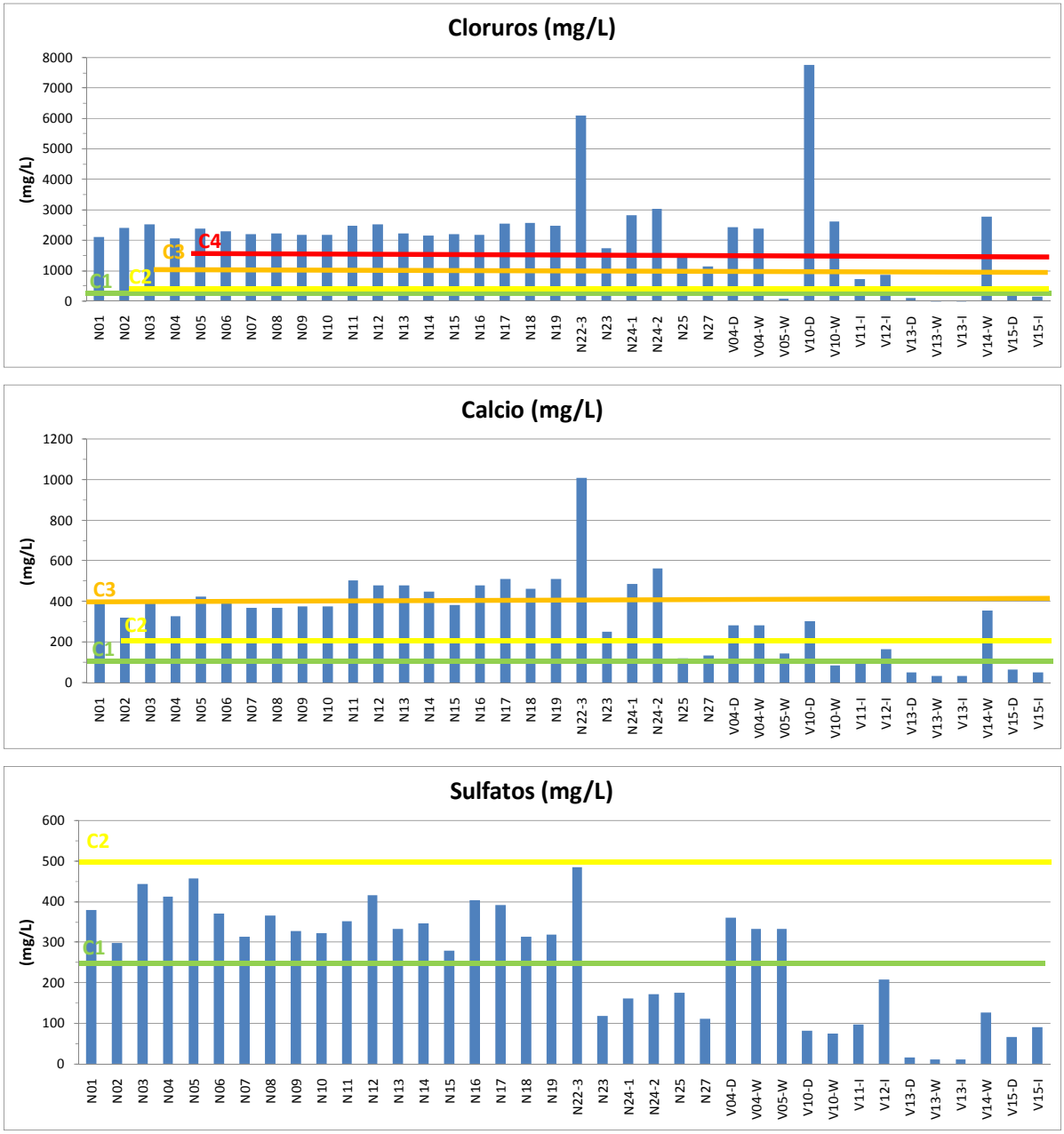
5.2.2 Elección de parámetros locales

Como se explicó anteriormente, para el grupo 2 se deben elegir dos parámetros locales además de Nitratos (NO_3) que es fijo. Sin embargo, para este sector solo se eligió el Arsénico (As), ya que es el único parámetro que cuenta con datos en todos los puntos seleccionados y que presenta valores elevados en la zona.

5.2.3 Análisis de datos medidos.

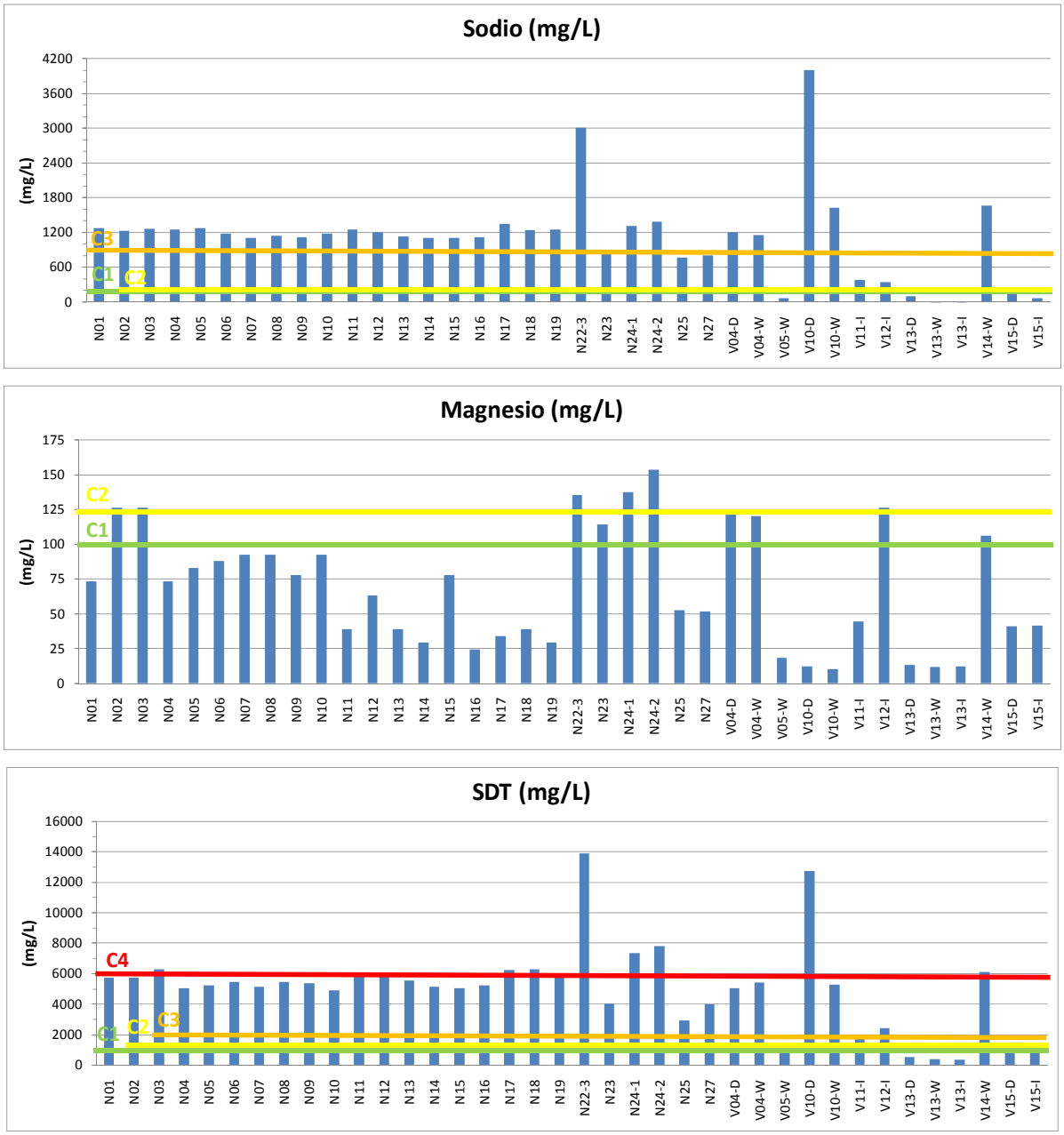
Previo a la interpolación se revisó la calidad de los datos de los análisis químicos para cada uno de los parámetros, con la finalidad de detectar datos dudosos y definir el método de interpolación a utilizar. La base de datos se encuentra en Anexos (Sección 4.1.1).

De acuerdo a la Tabla 4.13 y la Tabla 4.14, en este sector acuífero se presentan parámetros con calidad intratable tanto en el Grupo 1 como en el Grupo 2. En laFigura 5.2 se presenta los parámetros observados para el Grupo 1 junto con la línea de los límites de separación de las clases de calidad. En este sector se aprecia que los parámetros más altos corresponden a los Cloruros, Sólidos Disueltos Totales, Sodio y Calcio, que sobrepasan el límite de calidad Insuficiente ($IC \geq 3$) en muchos de los puntos, y en el caso de los Cloruros la mayoría de los puntos están dentro del rango de Intratable. Los puntos con mayores valores son el N22-3 y V10-D.



En las abscisas se presentan los puntos de observación

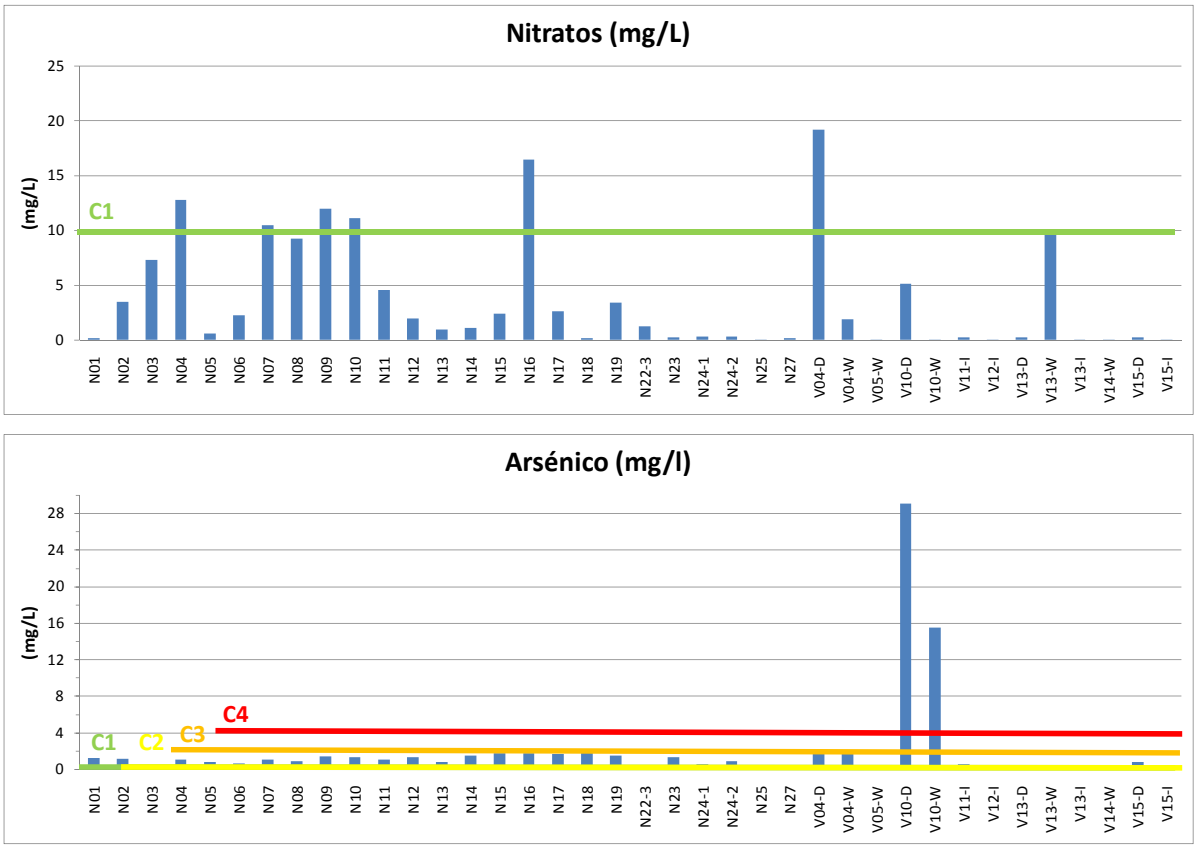
Figura 5.2: Concentración de parámetros Grupo 1 y valores de corte, sector acuífero El Loa.



En las abscisas se presentan los puntos de observación

Figura 5.2: Concentración de parámetros Grupo 1 y valores de corte, sector acuífero El Loa. (cont.)

En el Grupo 2 (Figura 5.3) los valores más altos corresponden al Arsénico, parámetro en el que dos muestras (V10-D y V10-W) presentan afectaciones del rango intratable con valores muy altos. Estos dos puntos también presentan valores altos otros parámetros, lo que junto a su ubicación podría estar reflejando una condición natural de la zona debido a fuentes geotermales. Los Nitratos por otra parte, presentan valores bajos que sólo en algunos puntos superan el primer límite de afectación (calidad Buena).



En las abscisas se presentan los puntos de observación

Figura 5.3: Concentración de parámetros Grupo 2 y normativa, sector acuífero El Loa.

5.2.4 Determinación del índice de calidad

5.2.4.1 Interpolación

Para el sector acuífero El Loa se determinó un área de interpolación que corresponde a tres zonas, donde el máximo radio de interpolación para un dato fue 8 km, considerando que la máxima área representativa de un punto es 200 km^2 a su alrededor.

Para este caso y debido a las características geomorfológicas de la cuenca se decidió utilizar el método de interpolación *Spline* con barreras ya que permite interpolar los datos abarcando únicamente el área representativa de los puntos con información. De acuerdo al tamaño del área de interpolación y la distancia entre los puntos se decidió ocupar una grilla de 50x50 m.

En esta sección sólo se presentará los mapas de índice de calidad, mientras que los resultados de la interpolación de cada parámetro se presentan en mapas de isoconcentración en los Anexos (Sección 6.1.1).

5.2.4.2 Cálculo de los índices de calidad individual

Se realizó la evaluación del IC individual de acuerdo a los límites especificados en la Tabla 4.13, es decir evaluando en las rectas que se construyeron entre cada límite para cada uno de los parámetros estudiados y que corresponde a la interpolación lineal entre los valores de corte.

Los resultados del cálculo del índice de calidad de cada parámetro químico se presentan desde la Figura 5.4 a la Figura 5.11. En las primeras seis figuras se expone los parámetros del Grupo 1. Los parámetros que presentan mayores concentraciones y por lo tanto, que disminuyen la calidad química del acuífero corresponden a Cloruros y SDT. Ambos parámetros generan zonas definidas como de calidad Intratable en el centro y al este del sector acuífero, mientras que al oeste (próximo a Calama) los Cloruros generan una zona de calidad Intratable, peor a la calidad Insuficiente generada por los SDT.

Los parámetros del Grupo 2 se presentan desde la Figura 5.10 a la Figura 5.11. Se aprecia que el Arsénico presenta alta afectación en la zona suroriente, donde la afectación por Cloruros y SDT también es intratable.

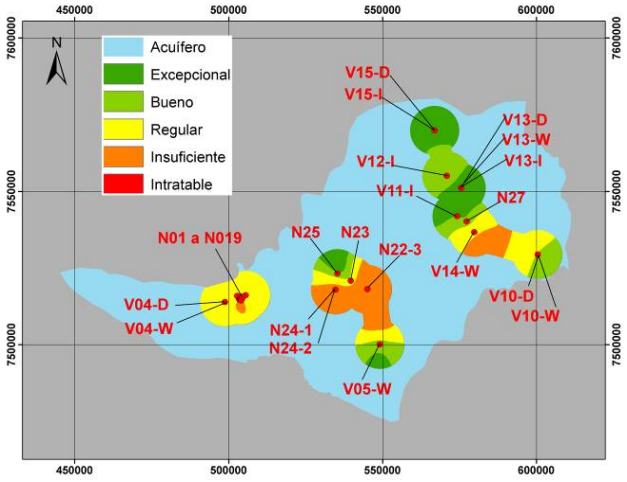


Figura 5.4: Índice de calidad individual de Ca en el sector acuífero El Loa.

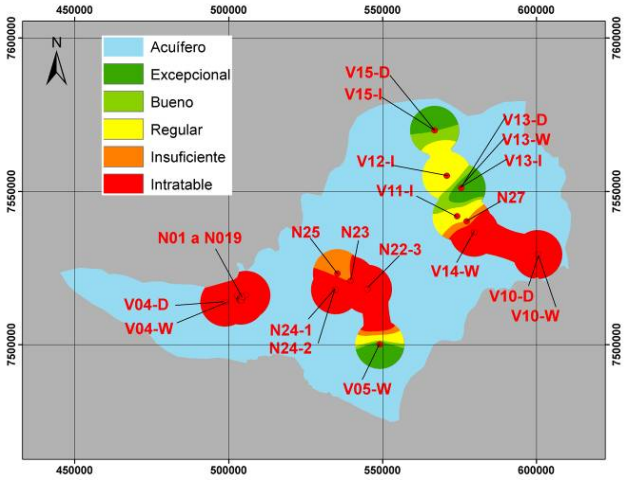


Figura 5.5: Índice de calidad individual de Cl en sector acuífero El Loa.

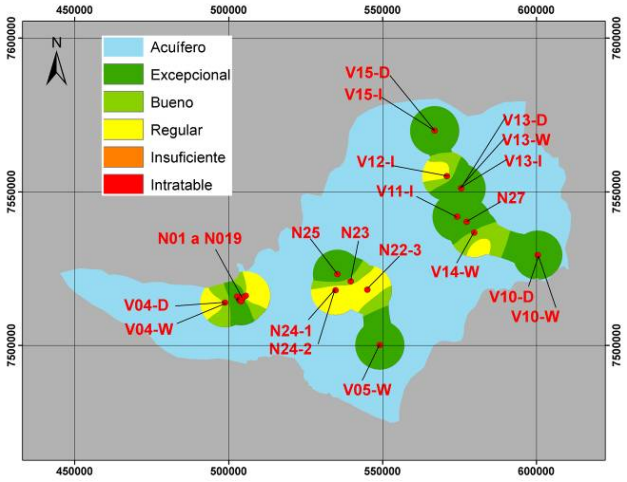


Figura 5.6: Índice de calidad individual de Mg en sector acuífero El Loa.

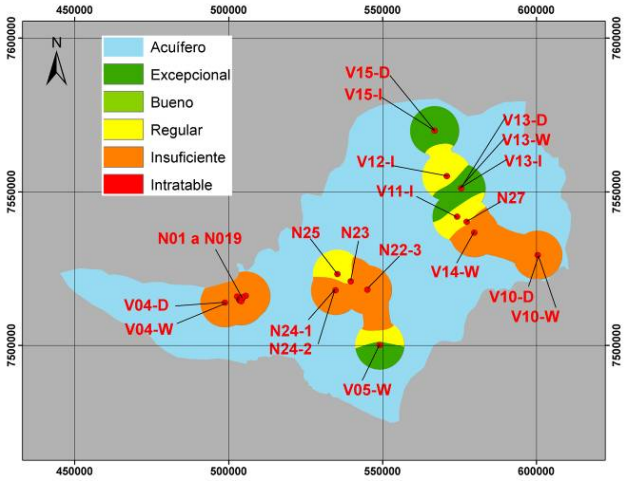


Figura 5.7: Índice de calidad individual de Na en sector acuífero El Loa.

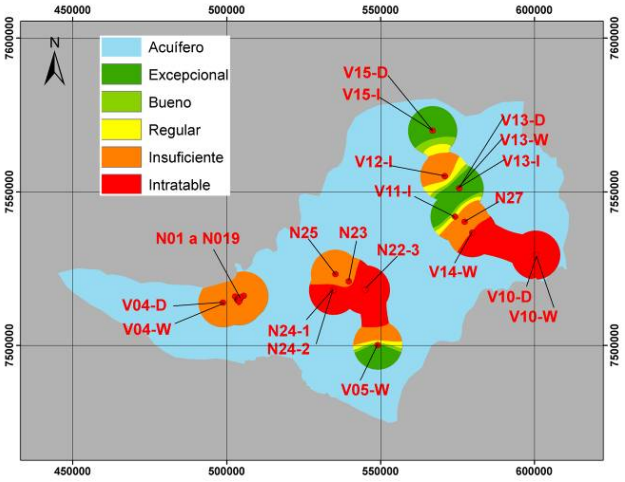


Figura 5.8: Índice de calidad individual de SDT en sector acuífero El Loa.

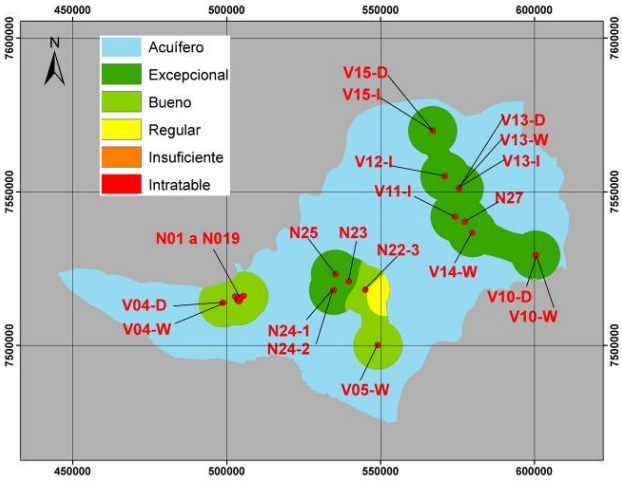


Figura 5.9: Índice de calidad individual de SO_4 en sector acuífero El Loa.

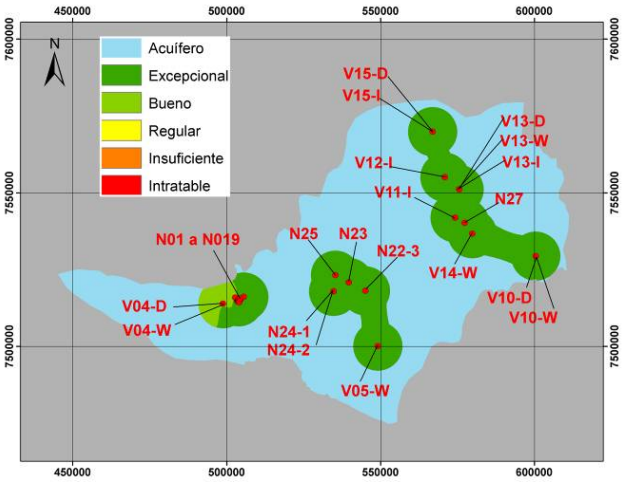


Figura 5.10: Índice de calidad individual de NO_3 en sector acuífero El Loa.

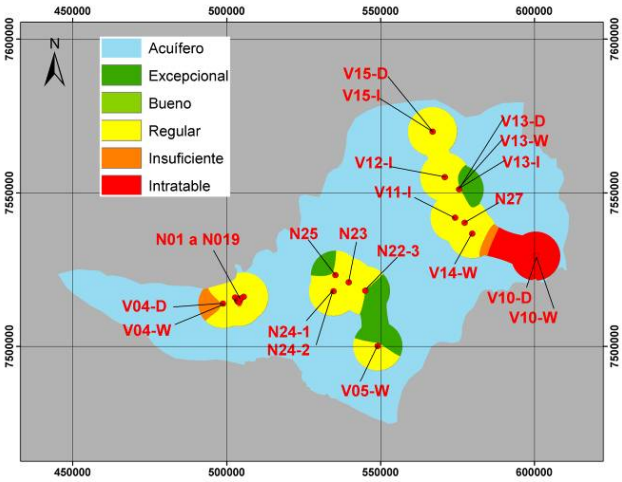


Figura 5.11: Índice de calidad individual de As en sector acuífero El Loa.

5.2.4.3 Cálculo del índice de calidad general

Según lo especificado en la metodología, el cálculo del IC general debe realizarse de acuerdo a los criterios especificados en la Tabla 4.16, revisando la aplicabilidad de éstos en el área estudiada. En la Tabla 5.4 se presenta los requisitos del cálculo del IC general en conjunto con comentarios acerca de la aplicabilidad de cada uno de ellos para los parámetros estudiados.

Tabla 5.4: Criterios y comentarios sobre la aplicación en sector acuífero El Loa.

Criterios	Comentarios
Si existe un parámetro con IC Intratable, el IC general es Intratable	Este criterio se aplicó en gran parte del área estudiada.
Si alguno de los parámetros que afectan la salud humana, definidos en la NCh409, presentan IC Bueno, Regular o Insuficiente, el IC General de determina como el peor IC entre todos los parámetros.	Este criterio se aplicó en una parte importante del área estudiada, ya que la mayor parte de la zona que no cae en el criterio anterior se presenta afectación regular para el Arsénico.
Si todos los parámetros que afectan la salud humana, definidos en la NCh409, presentan IC Excepcional, el IC General se determina como el promedio aritmético del IC de todos los parámetros.	Este criterio se utilizó en una zona muy acotada del área estudiada.

La Figura 5.12 presenta el mapa de IC general para el sector acuífero El Loa. Se aprecia una importante zona con IC Intratable, debido principalmente a los Cloruros y SDT, aunque el Arsénico también contribuye en el extremo sureste. El resto del área presenta mayoritariamente IC Regular, el que se debe principalmente al segundo criterio, ya que en esta zona el peor IC por parámetro corresponde a Regular.

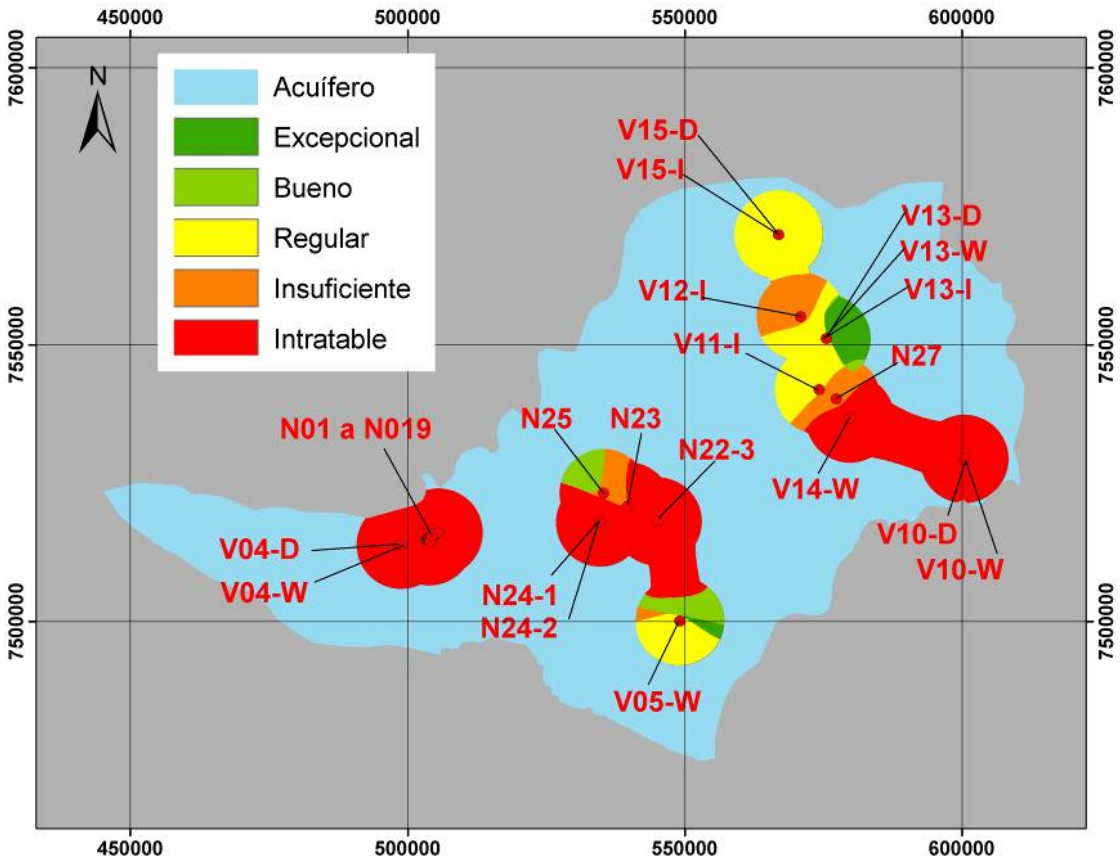


Figura 5.12: Índice de calidad general para el sector acuífero El Loa.

La distribución espacial del IC muestra claramente el efecto de aumento natural de la concentración, en el sector oriental del acuífero, donde se alcanzan altas concentraciones de As, Cl y SDT, producto de la actividad volcánica en el sector del Tatio. Por otra parte en el sector nororiente se observa una calidad mejor del agua debido a que se está cerca de las zonas de recarga del sistema acuífero. Finalmente el sector poniente presenta mala calidad, que puede ser el reflejo de la mezcla de efectos naturales y antrópicos, dada su ubicación cercana a un centro urbano.

5.2.5 Análisis estadístico ACP

Para obtener la caracterización de posible origen de la calidad química en el sector acuífero El Loa, se realiza el análisis de componentes principales con el apoyo de una rutina establecida en el programa computacional XLSTAT® acoplado al *software* Excel®, y siguiendo cada uno

de los pasos presentados en la metodología. La salida de la ejecución de este programa se presenta en Anexos (Sección 6.3.1).

5.2.5.1 Requisitos de la base de datos

La base de datos es la misma utilizada para determinar los índices de calidad, por lo que se reitera la insuficiencia de la información existente, ya que son valores con distribución heterogénea, no existe certeza de la fecha de medición en varios datos, existe incertidumbre en la representación de acuífero superior e inferior de algunos datos, y balance iónico superan 5% y alcanza hasta 12%. Esta base de datos cuenta con 38 observaciones del acuífero superior de 8 parámetros seleccionados: SDT, Cl, SO_4, Ca, Na, Mg, NO_3 y As. Por lo tanto no cumple con el tamaño mínimo recomendado (5 veces la cantidad de parámetros) y es probable que las correlaciones obtenidas tengan menor validez estadística y se encuentren más influenciadas por valores extremos en los datos. En el caso de realizar una mayor depuración de los datos, eliminando los datos con balance iónico superior a 5%, la cantidad de observaciones se reduciría a 26, situación claramente peor. Por último, se pudo comprobar que las observaciones en dos pozos (V10-D y V10-W) tomados en "Tatio salida" afectan enormemente las relaciones entre las variables, por lo que se decidió omitirlas para obtener factores principales más representativos del resto de pozos, pero igualmente mostrarlas en los gráficos.

Respecto a la correlación entre las variables y a partir de la inspección visual de la matriz de correlación, su determinante ($2{,}7 \times 10^{-6}$) y el test de esfericidad de Bartlett (rechazo de H0 con error <0,01%), se puede establecer que existe una estructura interna en los datos que hacen útil el ACP para obtener variables independientes que resuman la relación entre las variables. La inspección visual de matriz de correlaciones indica que hay correlación entre variables SDT, Cl, SO_4 y Ca, y en menor medida con variables NO_3, As y Mg.

5.2.5.2 Selección de factores

Con el uso de XLSTAT®, se obtiene el gráfico de sedimentación que indica los valores propios de los 8 componentes principales y la explicación de la varianza total. Adoptando el criterio de Kaisser de usar sólo aquellos componentes principales con valores propios mayores

a 1, sólo sería necesario seleccionar los dos primeros que explican el 78,7% de la varianza total.

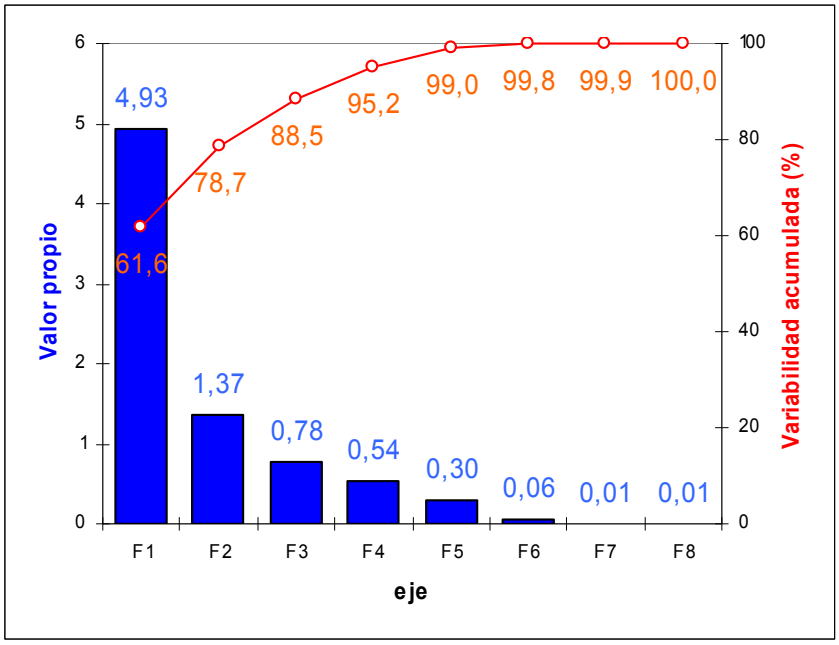


Figura 5.13: Gráfico de sedimentación ACP en sector acuífero El Loa.

5.2.5.3 Matriz de factores

La matriz factorial (Tabla 5.5), que contiene la correlación entre las variables originales (parámetros) y las variables nuevas (componentes principales o factores seleccionados) refleja que las variables SDT, Cl, SO_4, Ca y Na tienen valores altos en factor 1, las variables NO_3 y As toman valores medio-altos en factor 2, y la variable Mg tiene valores medios en factor 1 y factor 3. Sin embargo, es posible mejorar la saturación de las variables (valor más alto en un solo factor) considerando la rotación ortogonal de los ejes según el método Quartimax. La matriz factorial considerando los tres primeros factores y su rotación, se presenta a continuación.

Tabla 5.5: Matriz factorial de parámetros en sector acuífero El Loa.

Parámetro	Factor F1	Factor F2	Factor F3	Factor rotado D1	Factor rotado D2	Factor rotado D3
SDT	0,973	-0,187	-0,035	0,986	-0,026	0,097
Cl	0,979	-0,148	-0,017	0,986	0,017	0,098
SO_4	0,784	0,334	-0,160	0,749	0,364	-0,240
Ca	0,943	-0,090	-0,218	0,966	-0,016	-0,110
Na	0,969	-0,137	-0,028	0,976	0,021	0,083
Mg	0,581	-0,332	0,661	0,538	0,056	0,769
NO_3	0,228	0,777	0,478	0,073	0,929	0,128
As	0,439	0,677	-0,194	0,370	0,605	-0,430
Varianza explicada acumulada	61,6%	78,7%	88,5%	57,0%	75,6%	88,5%

5.2.5.4 Interpretación de factores

La interpretación semántica de los factores considera los valores observados de los parámetros relacionados a los factores y a los antecedentes disponibles. El factor 1 se asocia a un origen o fuente natural ya que los parámetros Na, Cl, SDT, Ca, SO_4 y Mg asociados, presentan valores esperados en un ambiente con alto contenido de minerales que pueden entrar en disolución. El factor 2 se asocia a un origen antrópico, ya que NO_3 presenta valores sobre 10 mg/L en algunos puntos. Sin embargo los valores son inferiores a 20 mg/L por lo que dada la ubicación y la actividad económica el origen antrópico se asocie principalmente a la industria o asentamientos urbanos, más que a actividades agrícolas. Por último, aunque no resulta fundamental para asignar el origen a todos los parámetros se puede indicar la interpretación del factor 3. Este factor sólo estaría asociado al Mg, con valores medios que no permiten dilucidar claramente su origen, sin embargo se espera que sea natural pero con un comportamiento químico algo distinto al resto de elementos mayores como Na y Cl.

Para considerar los tres primeros factores principales, correspondería representar las relaciones mediante tres gráficos Biplot-variables y tres gráficos Biplot-valores, sin embargo para efectos de la metodología y tomando en cuenta la representatividad alcanzada por los dos primeros factores, sólo es necesario gráficos Biplot (Figura 5.14) con factores 1 y 2 rotados. El resto de gráficos se presenta en Anexos (Sección 6.2.1).

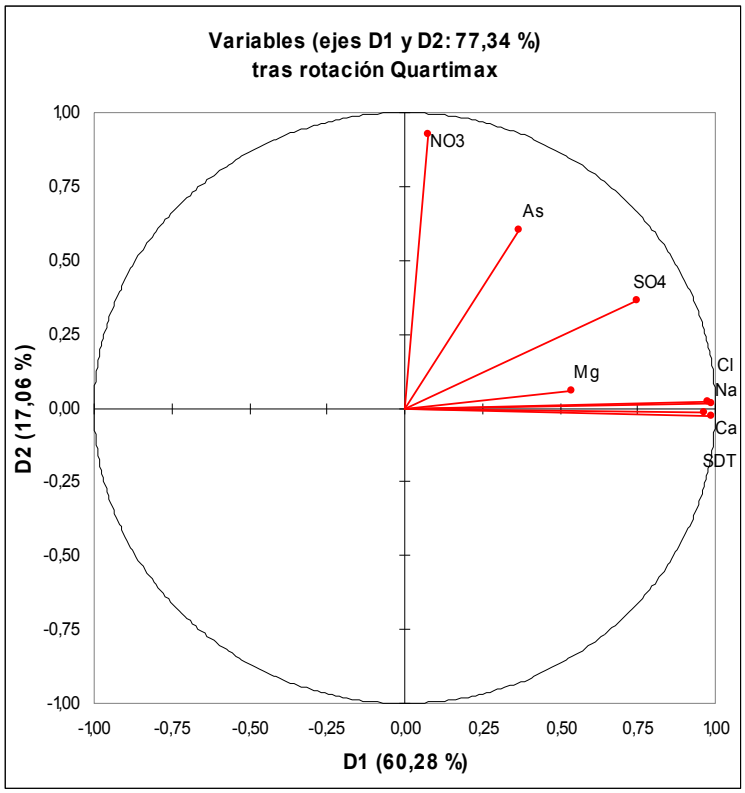


Figura 5.14: Gráfico Biplot-variables en sector acuífero El Loa.

Los factores 1 y 2 rotados representan el 77,3% de la varianza total. Los parámetros Na, SDT, Cl y Ca se encuentran bien representados (longitud de vectores), se relacionan entre ellos (ángulo pequeño) y se asocian fuertemente al factor 1 (ángulo pequeño), por lo que su origen debe ser principalmente natural y probablemente asociado a formaciones geológicas. El parámetro Mg, se encuentra menos representado que los mencionados anteriormente, pero de todas maneras se reconoce un origen natural tanto por el factor 1, como por factor 3. El parámetro NO_3 tendría origen antrópico, probablemente asociado a la industria y/o asentamientos urbanos. El parámetro SO_4 se aleja del factor 1, por lo que su origen es natural aunque tendría un componente antrópico, por ejemplo asociado a la industria metálica. El parámetro As tendría un efecto combinado entre antrópico y natural, tal cual se indica en la literatura técnica, ya que en la II región el As se debería a fuentes volcánicas o geotermales, pero también por la industria del cobre. Lo anteriormente expuesto, resulta consistente con lo planteado por la OMS como posibles fuentes de los parámetros en cuestión.

Tabla 5.6: Origen principal de parámetros en sector acuífero El Loa.

Parámetros	Origen principal
Na, Cl, SDT, Ca	Natural (condiciones hidrogeoquímicas)
Mg	Natural (condiciones hidrogeoquímicas)
NO_3	Antrópico (industrial y/o asentamiento urbano)
SO_4	Natural y Antrópico (industrial minería)
As	Natural y Antrópico (industrial minería)

5.2.5.5 Puntuaciones factoriales y representaciones gráficas

Para completar el ACP en sector acuífero El Loa se presenta el gráfico Biplot-variables, con las puntuaciones factoriales de las observaciones de acuerdo a los factores 1 y 2 rotados, y se han agregado las dos observaciones en V10-D y V10-W. Se aprecia que los puntos suplementarios se asociarían a origen antrópico, lo que podría ser incongruente dada la cercanía a una fuente geotermal como el Tatio. Por otra parte la gran densidad de puntos se ubica en torno al factor 1, reflejando que el origen natural de los parámetros es lo principal, y a partir de la ubicación se puede establecer que a medida que se aproximan a la ciudad de Calama, los puntos aumentan su componente antrópico.

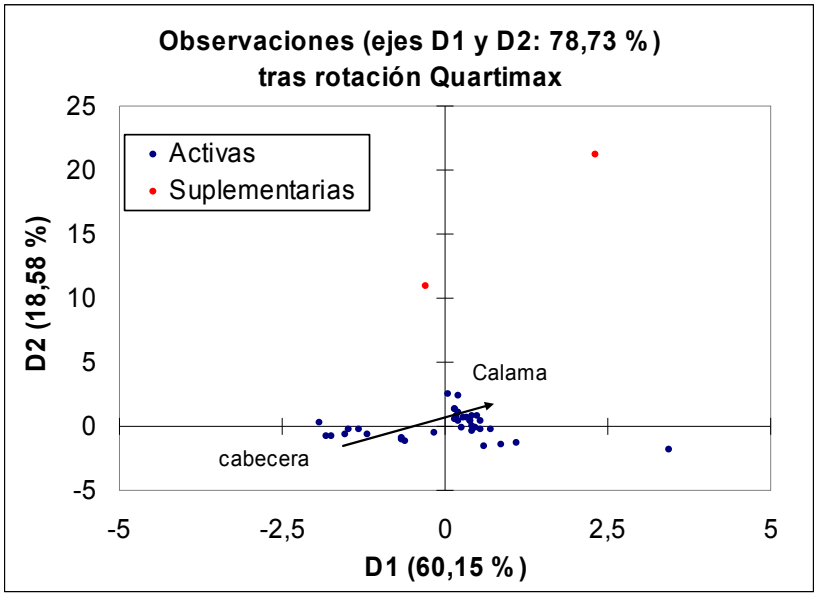


Figura 5.15: Gráfico Biplot-valores en sector acuífero El Loa.

5.2.6 Análisis temporal

El sector acuífero El Loa no cuenta con bases de datos de calidad química de las aguas provenientes de tiempos distintos, que permitan la aplicar adecuadamente la metodología y con ello determinar el IC en tales períodos. Por lo tanto, no es posible aplicar el análisis temporal que plantea la metodología.

5.2.7 Resultados finales

En general, el acuífero presenta aguas subterráneas de mala calidad, ya que predominan zonas con IC Regular a Intratable. Esta situación se explica por los altos niveles de SDT, Cl y As. Tanto el Cl como SDT tienen un origen natural producto de condiciones hidrogeoquímicas del acuífero. Mientras que el As tendría un origen mixto, es decir natural y antrópico.

El Mapa 01 que se adjunta a este informe presenta para el sector acuífero El Loa los resultados finales de la metodología, incluyendo el IC, general e individual, así como el análisis del origen de los compuestos disueltos.

5.3 Sector acuífero Los Choros

5.3.1 Antecedentes disponibles

Este acuífero se ubica en la IV Región de Coquimbo, al interior de la cuenca Los Choros tiene un comportamiento exorreico. Los principales cauces son Quebrada el Pelicano, quebrada los Pedernales y Quebrada Los Choros. Este acuífero posee un área total de 4.173 km^2 y se desarrolla en la depresión intermedia y zona costera. La hidrogeología del sector está compuesta por rocas sedimentarias y mixtas sedimento-volcánicas, además de encontrarse rocas plutónicas e hipabisales. En el área de estudio, comprendida en parte por subsector acuífero Los Choros Bajos y Playa Los Choros, en el sector costero, se reconoce un único acuífero con espesor de relleno entre 10 y 200 m, en donde se mezclan arcillas, limos, arena y gravas (DGA, 2005).

El uso de suelo es predominantemente agrícola, mediante cultivos tales como olivos, hortalizas, maíz y cítricos. Respecto a los derechos de aprovechamiento del recurso subterráneo destaca el riego (agrícola), posteriormente agua potable y finalmente minería.

Existen antecedentes respecto a problemas de intrusión salina en la zona de estudio (DGA 2005), el cual se acrecienta por efecto del bombeo que realiza el sector agrícola en la zona más cercana a la costa.

En este sector acuífero, no se contó con la información mínima necesaria para la aplicación de la metodología, por lo que fue necesario realizar una campaña de monitoreo adicional (Geohidrología Consultores-DGA, 2009). Dicha campaña abarcó un área de 635 km^2 y consideró el muestreo de 18 puntos de observación (norias y pozos). La Figura 5.16 presenta la distribución de los puntos muestreados en la campaña. Sin embargo a partir de los datos obtenidos, de la ubicación de los puntos de muestreo y de otras razones presentadas más adelante, sólo se realizó una caracterización de una porción del sector acuífero original. Esta porción queda definida como el área de interpolación e incluye 16 de los 18 puntos muestreados, representando una densidad de 7 km^2 por punto en un área de 108 km^2.

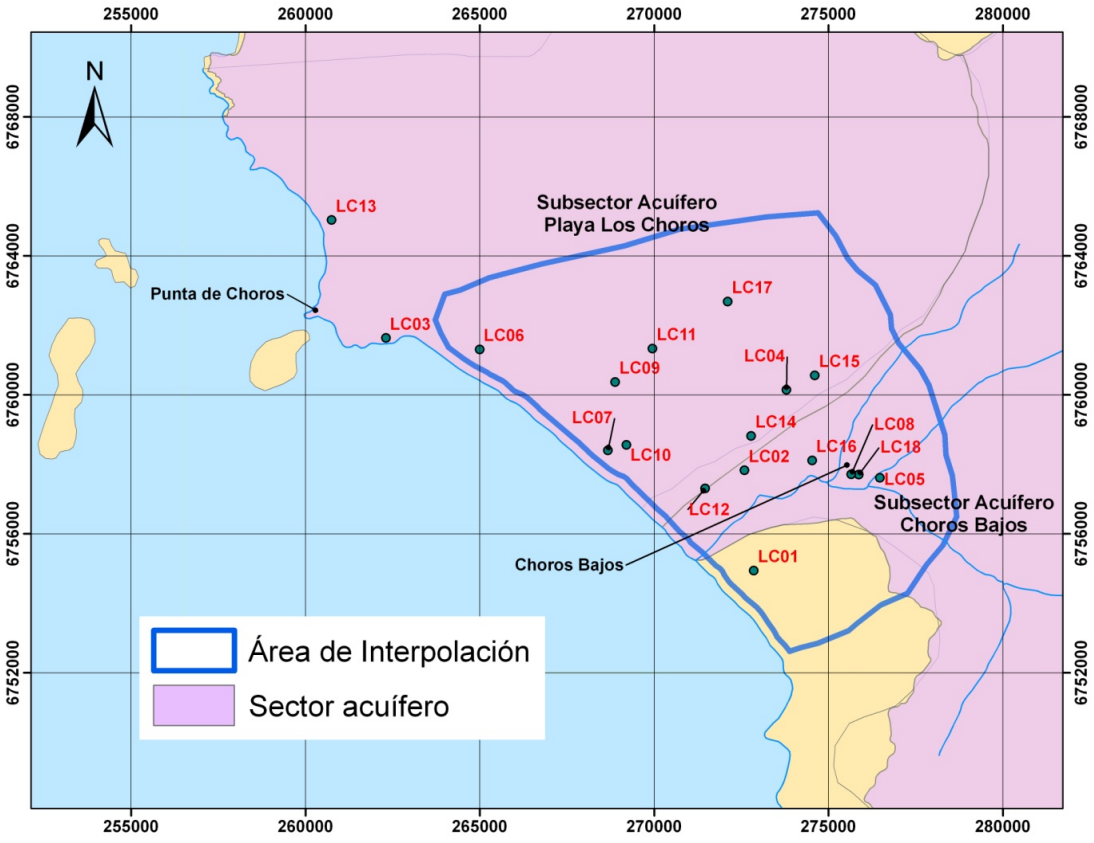


Figura 5.16: Distribución de los puntos de muestreo en sector acuífero Los Choros.

5.3.2 Elección de parámetros locales

Los parámetros medidos en cada uno de los puntos de muestreo fueron: Cl, NO_3, SO_4, Ca, Na, Mg, SDT, HCO_3, K, pH, Al, Fe, Mo, Hg, Ni y PO_4. Todos estos parámetros fueron escogidos considerando las actividades productivas y las características naturales del sector, de acuerdo a lo indicado en secciones 4.2.2 y 4.4 de este informe.

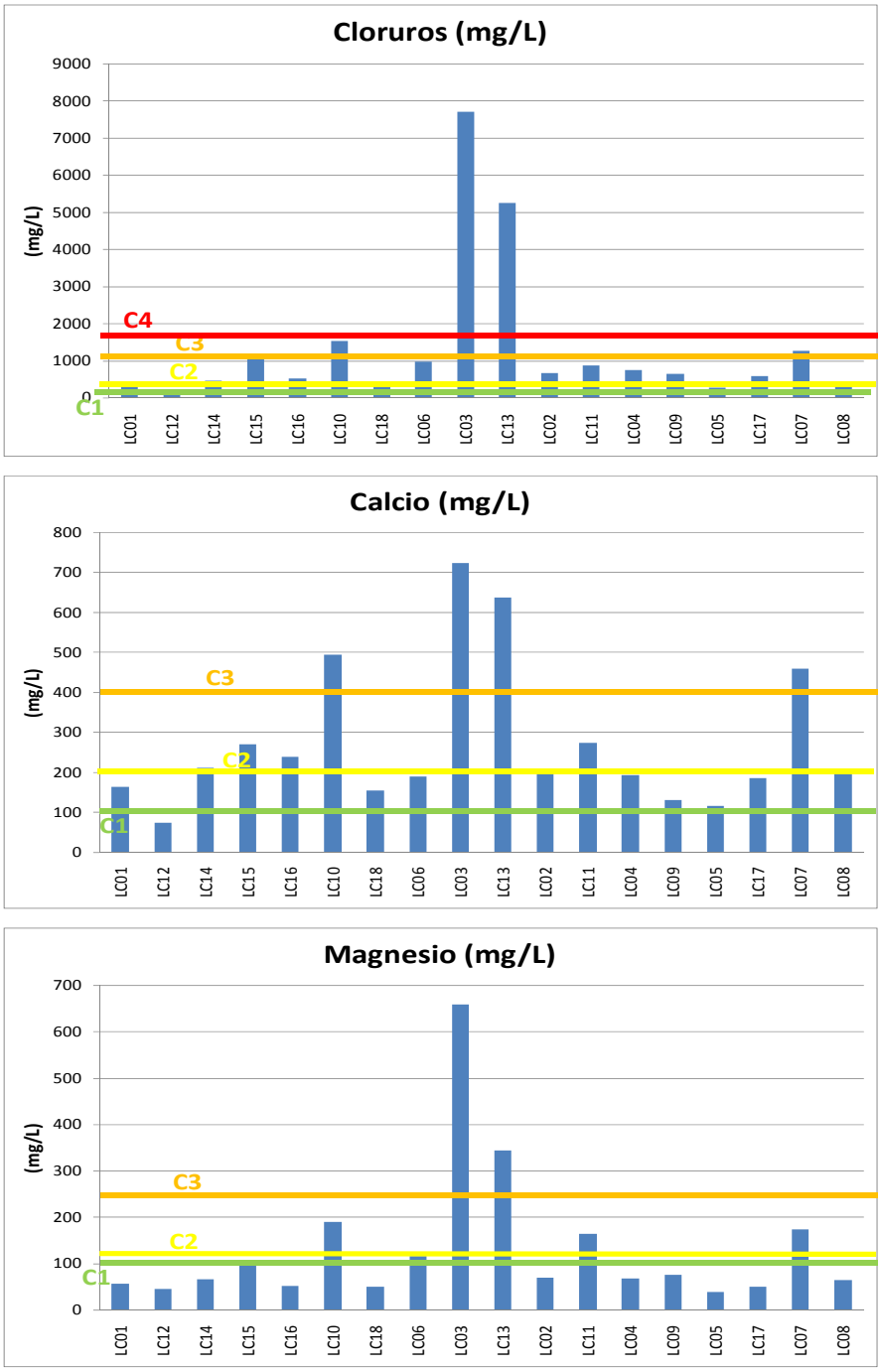
Como se explicó en la metodología, los parámetros del Grupo 1 para el cálculo del IC del acuífero son fijos y son: Cl, SO_4, Ca, Na, Mg y SDT. Sin embargo, para el Grupo 2 se deben elegir dos parámetros locales además del NO_3 que se encuentra fijo. Los parámetros elegidos fueron el Hierro (Fe) y el Aluminio (Al). Estos dos parámetros presentaron valores más elevados que el resto.

5.3.3 Análisis de datos medidos

Antes de realizar la interpolación se revisó los análisis químicos entregados por el laboratorio para cada uno de los puntos de observación, con la finalidad de reconocer valores anormales o dudosos y poder verificarlos, eliminarlos o reemplazarlos, tomando en consideración las condiciones de muestreo. Esta revisión sirvió también para elegir el método de interpolación que a utilizar. La base de datos se presenta en los Anexos (Sección 4.1.2).

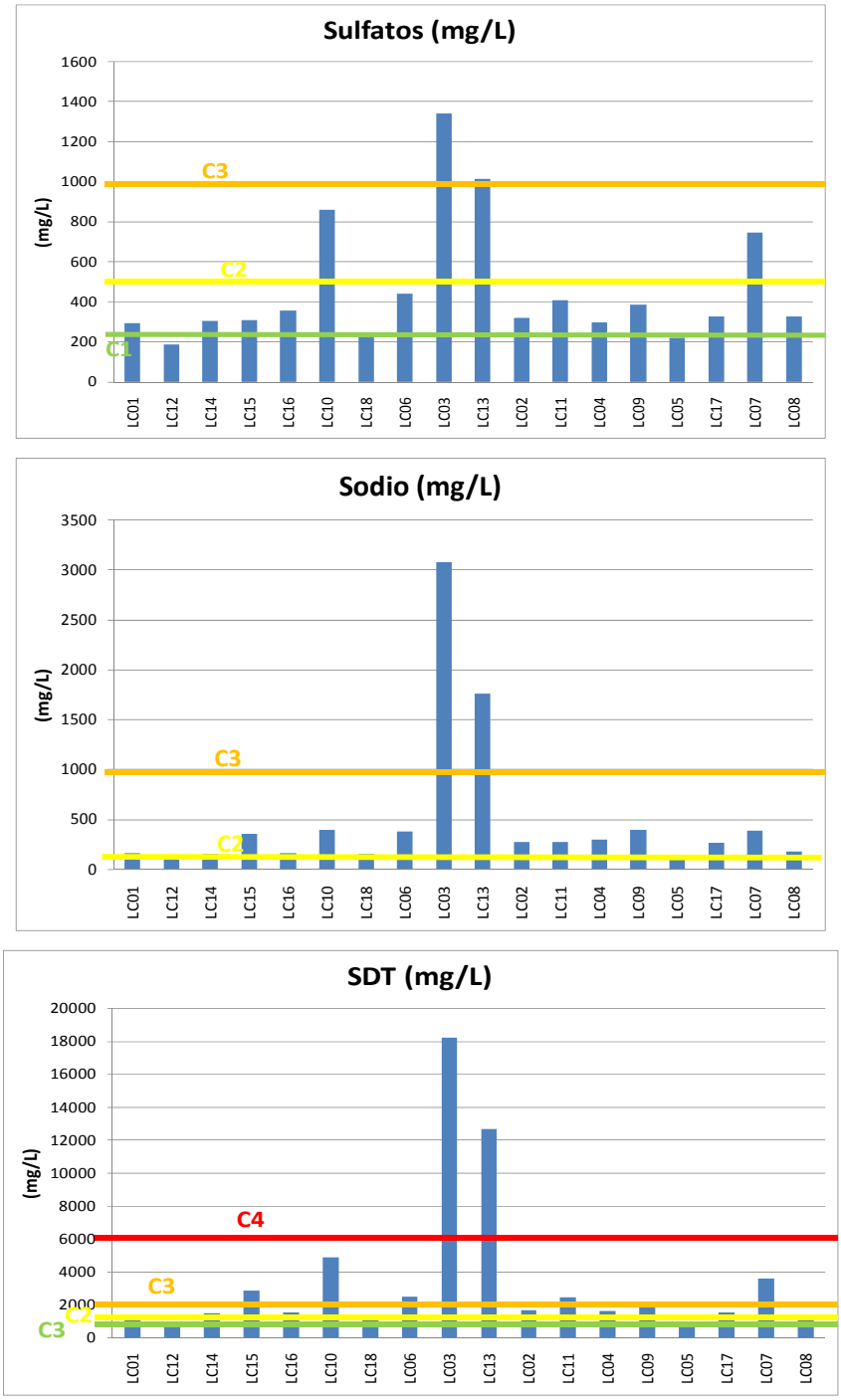
Los resultados se presentan en la Figura 5.17 y la Figura 5.18, junto con la línea de los límites de separación de las clases de calidad. Sin embargo, para algunos parámetros estos gráficos no muestran dichas líneas, ya sea porque los límites se encuentran fuera del rango de los resultados, o porque coinciden en el mismo valor (como es el caso de los límites C1 y C2 del Hierro y el Aluminio).

El sector acuífero Los Choros presenta mayor concentración de los elementos del Grupo 1 respecto del Grupo 2, en particular en los parámetros que están relacionados a la intrusión salina (Cl y SDT). La Figura 5.17 muestra que los valores medidos de Cloruros, Sodio, Calcio y Magnesio sobrepasan el límite C1 (calidad Buena), para la mayoría de los puntos muestreados. Destacan además los puntos LC03 y LC13 con valores particularmente altos, lo que puede ser explicado por su cercanía al mar.



En las abscisas se presentan los puntos de observación

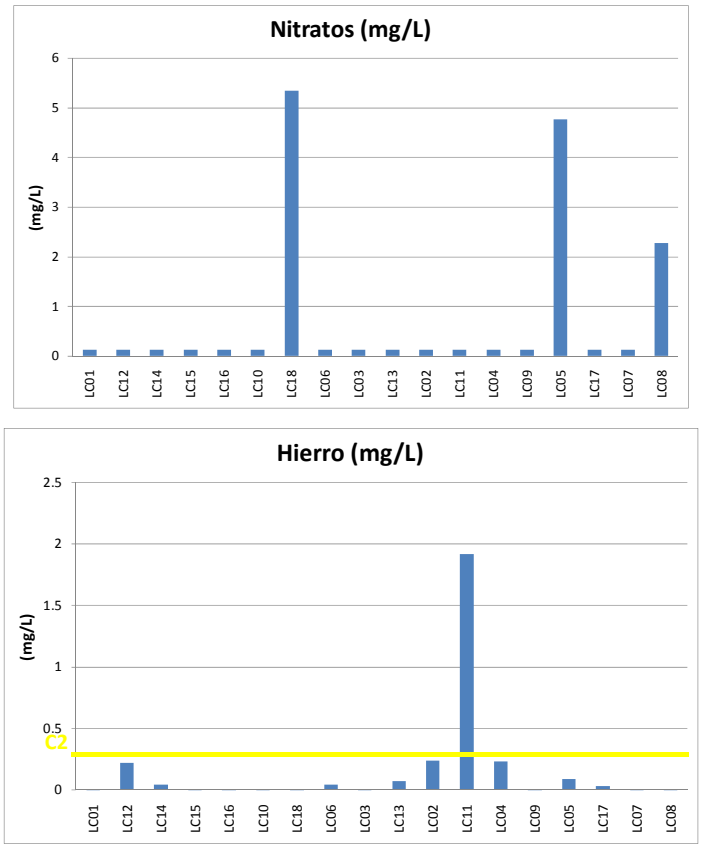
Figura 5.17: Concentración de parámetros Grupo 1 y valores de corte, sector acuífero Los Choros.



En las abscisas se presentan los puntos de observación

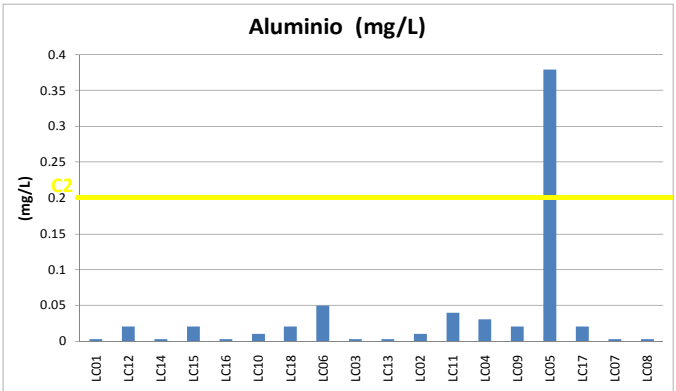
Figura 5.17: Concentración de parámetros Grupo 1 y valores de corte, sector acuífero Los Choros. (cont.).

En el Grupo 2 (Figura 5.18) sólo se alcanza los primeros límites establecidos en dos de los tres parámetros, y en forma localizada en algunos puntos muestreados. El Aluminio sobrepasa el primer límite de calidad en el punto LC05 y constituye un dato puntual que no se aprecia en los demás puntos por lo que podría explicarse por su proximidad al pueblo Los Choros Bajos o bien que proviene desde otro sector. Para el caso del Hierro, se detectó sólo un punto (LC11) con un valor alto, lo que se atribuyó a las condiciones del pozo pues se encontraba en desuso y probablemente afectado por depositación de los materiales de habilitación. Los valores de Nitratos son relativamente bajos, sin embargo se detectan algunos valores más altos (sin alcanzar el primer valor de corte) y que se encuentran dentro del área agrícola del sector.



En las abscisas se presentan los puntos de observación

Figura 5.18: Concentración de parámetros Grupo 2 y valores de corte, Los Choros.



En las abscisas se presentan los puntos de observación

Figura 5.18: Concentración de parámetros Grupo 2 y valores de corte, Los Choros. (cont.).

5.3.4 Determinación del índice de calidad

5.3.4.1 Interpolación

Para el sector acuífero Los Choros se realizan las siguientes consideraciones especiales previas a la interpolación espacial y que determina el área mostrada en la Figura 5.16:

- No se incluyeron dentro de la interpolación los puntos LC03 y LC13. En primer lugar estos puntos se encuentran alejados del resto de puntos de observación, por lo que incluirlos produciría una interpolación errónea en sectores intermedios sin puntos medidos. En segundo lugar, su cercanía al mar y las concentraciones observadas de Cloruros indican que las aguas corresponden a una mezcla de agua dulce con agua de mar, a la vez que es muy distinto al resto de las observaciones realizadas.
- La zona de interpolación se restringió a una zona del acuífero con características conocidas aunque alejadas de la cuña salina. El primer antecedente es que existe una cuña salina (entrada de agua de mar por debajo del acuífero) cuya profundidad de la aumenta a medida que se aleja de la orilla del mar (DGA, 2005). Por otro lado sólo los puntos LC03 y LC13 se encuentran ubicados a una distancia tal de la orilla del mar que permitiese incorporar las características químicas de la cuña salina. En definitiva, interpolar una zona en que uno de los límites es el mar implicaría conocer de manera

exacta las concentraciones de los distintos parámetros en la orilla, en conjunto con incorporar el efecto de la cuña salina a medida que se aleja de la orilla del mar.

- La zona de interpolación tiene una extensión de 108 km^2, ya que está restringida a aquella en que existe una representatividad adecuada con los puntos muestreados.
- El valor de Hierro en el punto de muestreo LC11 fue reemplazado por el valor observado en pozo LC09 próximo. Esto se justifica en la presunción que dicho pozo se encuentra en desuso y por tanto el alto valor observado proviene de la habilitación y no es una condición del acuífero en el lugar.
- Para aquellos valores de concentración que no alcanza el límite de detección, se adoptó el criterio de remplazarlos con el 25% de dicho límite analítico. Esto ocurrió para algunas mediciones de parámetros como Hierro, Aluminio y Nitratos.

A partir de la configuración de los puntos, los valores medidos y el área considerada, los métodos de interpolación no entregarían resultados muy distintos. Por esta razón y por la facilidad de aplicación, se utilizó el método de interpolación de *Spline* con barreras, imponiendo como barrera el área de interpolación antes descrita. De acuerdo al tamaño del acuífero y la distancia mínima entre los puntos medidos se decidió ocupar una grilla de interpolación de 10 m, valor mucho menor a los propuestos en Tabla 4.10. Los resultados de la interpolación se presentan en mapas de isoconcentración en los Anexos (Sección 6.1.2).

5.3.4.2 Cálculo de los IC Individuales por parámetro

La evaluación del IC se realizó de acuerdo a los límites especificados en la Tabla 4.13 evaluando en las rectas que se construyeron entre cada límite para cada uno de los parámetros estudiados y que corresponde a la interpolación lineal entre valores de corte.

Los resultados de las evaluaciones de la interpolación de los parámetros individuales se presentan desde la Figura 5.19 a la Figura 5.27. En las primeras seis figuras se expone cada uno de los parámetros del Grupo 1. Como se mencionó, este grupo es el que presenta los peores valores de IC debido probablemente a la intrusión salina. Esto se refleja claramente en las gráficas de Ca, Cl y SDT, con este último presentando amplias zonas con valores de IC Insuficientes.

Los parámetros del Grupo 2 se presentan desde la Figura 5.25 hasta la Figura 5.27. Se aprecia que los parámetros medidos presentan calidad sustancialmente mejores que en el Grupo 1. Sólo el Aluminio presenta un valor Regular en un extremo del sector interpolado, y que está dado por un sólo valor muestreado en la zona del pueblo Los Choros Bajos.

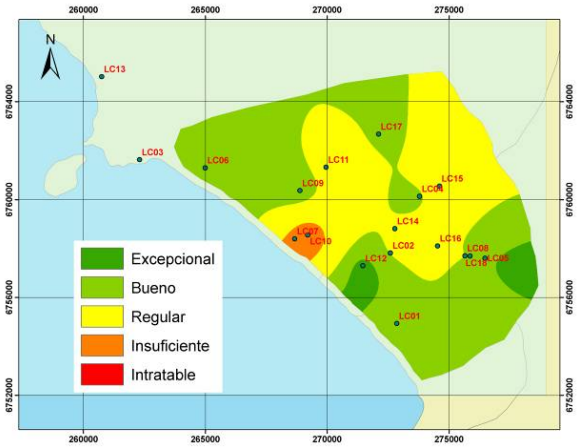


Figura 5.19: Índice de calidad individual de Ca en sector acuífero Los Choros.

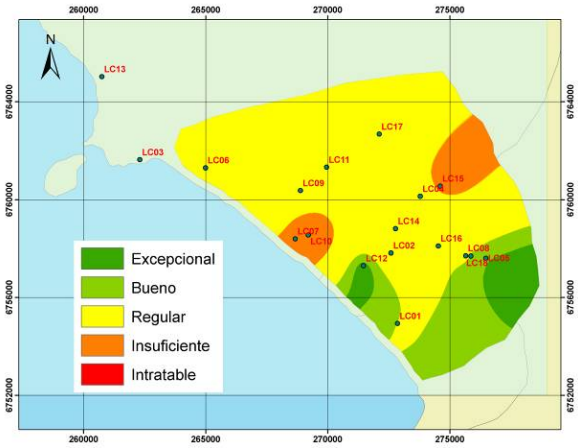


Figura 5.20: Índice de calidad individual de Cl en sector acuífero Los Choros.

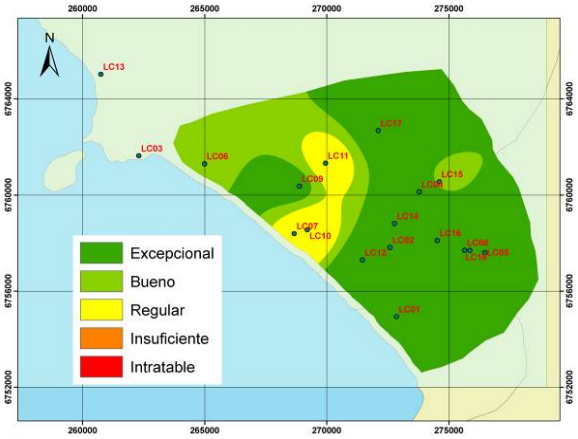


Figura 5.21: Índice de calidad individual de Mg en sector acuífero Los Choros.

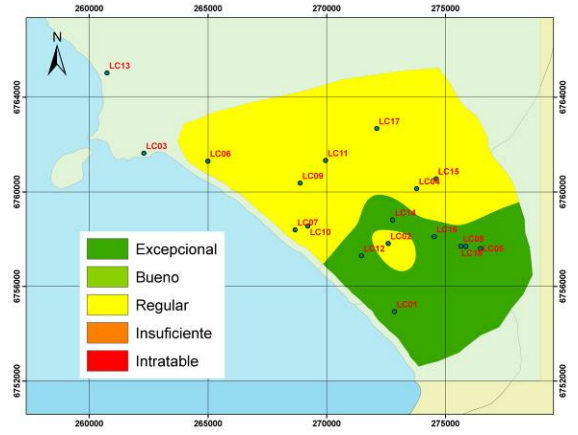


Figura 5.22: Índice de calidad individual de Na en sector acuífero Los Choros.

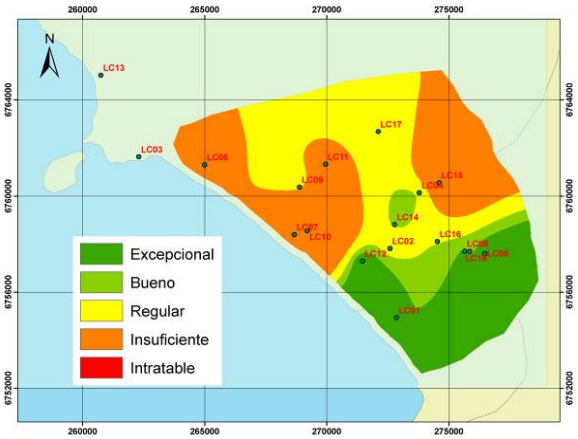


Figura 5.23: Índice de calidad individual de SDT en sector acuífero Los Choros.

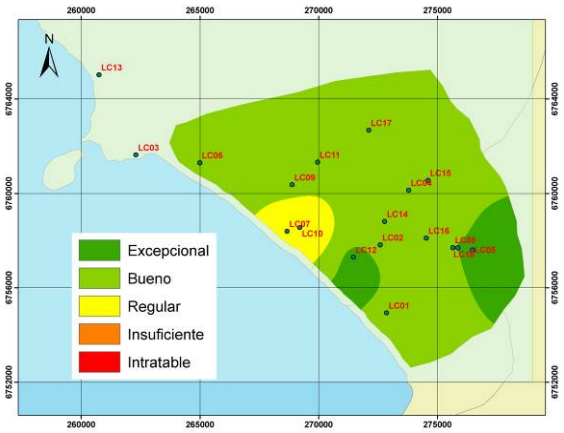


Figura 5.24: Índice de calidad individual de SO_4 en sector acuífero Los Choros.

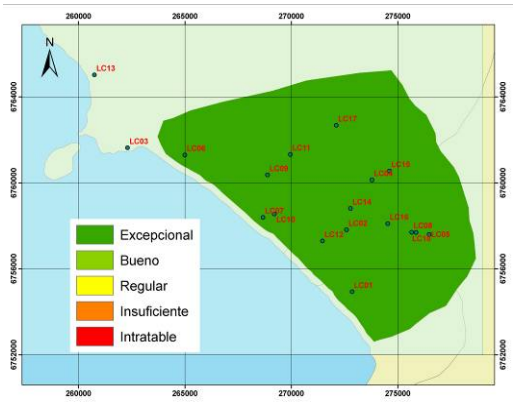


Figura 5.25: Índice de calidad individual de NO_3 en sector acuífero Los Choros.

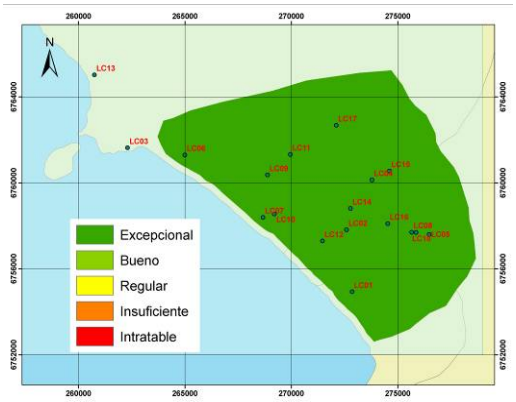


Figura 5.26: Índice de calidad individual de Fe en sector acuífero Los Choros.

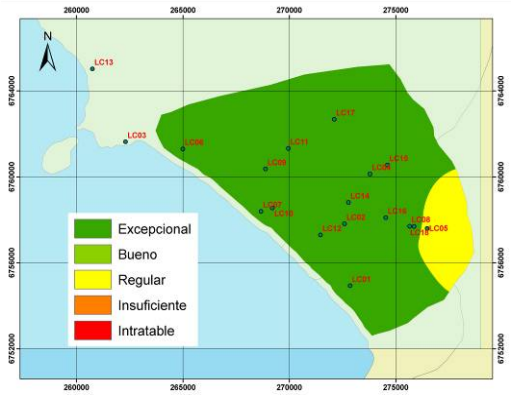


Figura 5.27: Índice de calidad individual de Al en sector acuífero Los Choros.

5.3.4.3 Cálculo del índice de calidad general

De acuerdo a lo especificado en la metodología el cálculo del IC general, debe realizarse de acuerdo a los tres criterios especificados en la Tabla 4.16, revisando la aplicabilidad de éstos en el área estudiada. En la Tabla 5.7 se presentan los requisitos del cálculo del IC general en conjunto con comentarios acerca de la aplicabilidad de cada uno de ellos para los parámetros estudiados.

Tabla 5.7: Criterios y comentarios sobre la aplicación en sector acuífero Los Choros.

Criterios	Comentarios
Si existe un parámetro con IC Intratable, el IC general es Intratable	Dentro de las evaluaciones de la interpolación no aparece ninguna zona como intratable, en ninguno de los parámetros, por lo que este criterio no se aplicó
Si alguno de los parámetros que afectan la salud humana, definidos en la NCh409, presentan IC Bueno, Regular o Insuficiente, el IC General de determina como el peor IC entre todos los parámetros.	Este criterio se aplicó sólo en la zona que el Aluminio aparece con un valor regular ya que el resto de los parámetros que afectan la salud humana, según NCh409, presentan valores IC Excepcional en la totalidad del área.
Si todos los parámetros que afectan la salud humana, definidos en la NCh409, presentan IC Excepcional, el IC General se determina como el promedio aritmético del IC de todos los parámetros.	Este criterio es el que prevaleció en casi la totalidad del área estudiada, excepto en la zona del acuífero en que el Aluminio presenta IC Regular.

En la Figura 5.44 se aprecia el mapa de IC general para el sector acuífero Los Choros, donde se observa zonas con IC Insuficiente e IC Regular. En la parte este se aprecia una pequeña área con IC Insuficiente que responde a la conjunción de las concentraciones de SDT y Al. También al este, pero entorno a punto LC15 se tiene IC Insuficiente pero de carácter puntual, y que responde al SDT y al Mg (que afecta a la salud humana según normativa NCh409). La intrusión salina se muestra en la zona noroeste con IC Regular e IC Insuficiente, debido a la calidad del SDT en donde el Mg presenta IC Bueno o IC Regular. En la zona sureste se aprecia un área con IC Regular que se explica por el Al en un pozo ubicado en zona urbana. El resto del área que posee valores de IC Bueno y Excepcional, se debe al promedio de todos los parámetros.

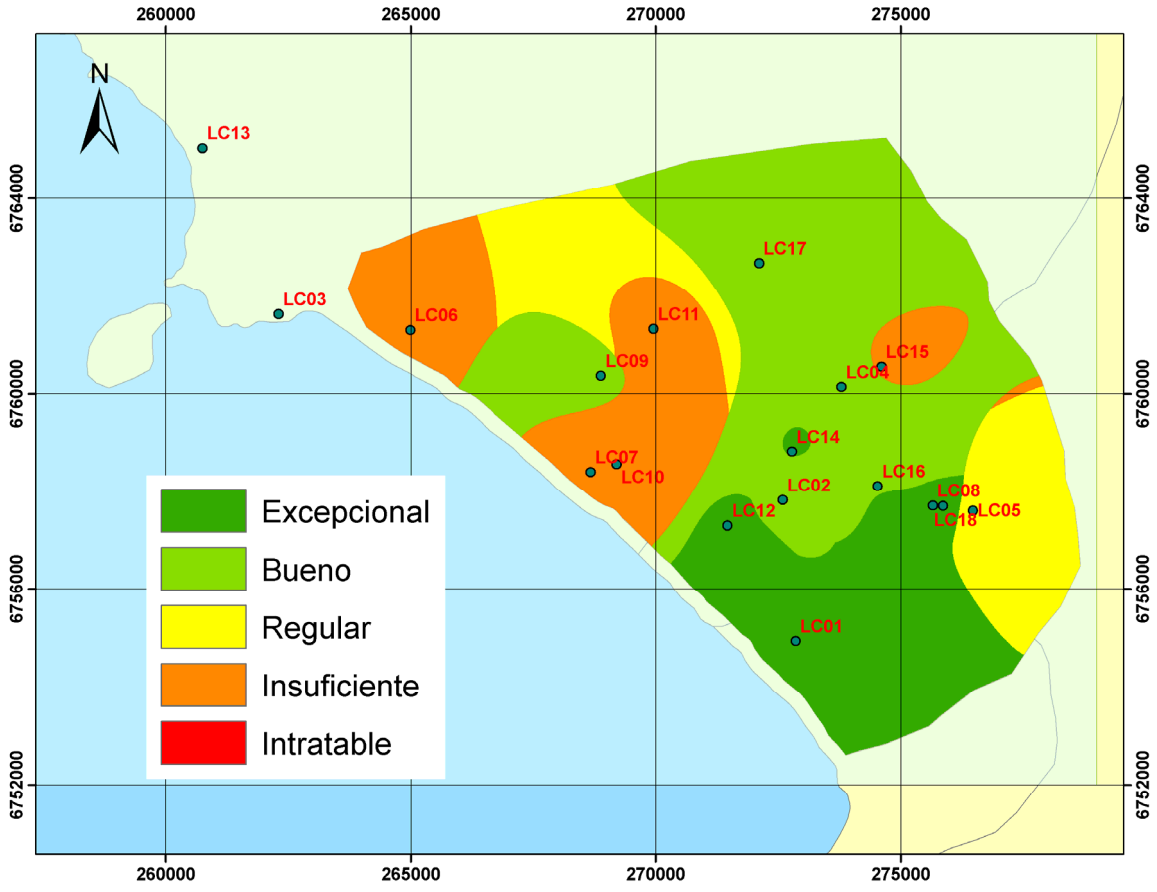


Figura 5.28: Índice de calidad general para el sector acuífero Los Choros.

5.3.5 Análisis estadístico ACP

Para obtener la caracterización de un posible fuente u origen de la calidad química en el sector acuífero Los Choros, se realiza el análisis de componentes principales con el apoyo de una rutina establecida en el programa computacional XLSTAT® que se acopla al software Excel®, y siguiendo cada uno de los pasos presentados en la metodología. La salida de la ejecución de este programa se presenta en Anexos (Sección 6.3.2).

5.3.5.1 Requisitos de base de datos

La base de datos es la misma que la utilizada para determinar los IC, por lo tanto ya se encuentra depurada adecuadamente. Esta base de datos cuenta con 18 observaciones de 9 parámetros seleccionados: SDT, Cl, SO_4, Ca, Na, Mg, NO_3, Fe y Al. Por lo tanto no cumple con el tamaño mínimo recomendado (5 veces la cantidad de parámetros) y posiblemente las correlaciones obtenidas tengan menor validez estadística.

Respecto a la correlación entre las variables y a partir de la inspección visual de la matriz de correlación, su determinante ($4{,}5x10^{-7}$) y el test de esfericidad de Bartlett (rechazo de H0 con error <0,01%), se puede establecer que existe una estructura interna en los datos que hacen útil el ACP para obtener variables independientes que resuman la relación entre las variables. La inspección visual de matriz de correlaciones indica que hay correlación entre variables SDT, Cl, SO_4, Ca, Mg y Na, entre las variables NO_3 y Al, y el Fe no tiene correlaciones importantes con otras variables.

5.3.5.2 Selección de factores

Con el uso de XLSTAT®, se obtiene el gráfico de sedimentación que indica los valores propios de los 9 componentes principales y la explicación de la varianza total. Adoptando el criterio de Kaisser (usar sólo aquellos componentes principales con valores propios mayores a 1) se debiera seleccionar los tres primeros que explican el 93,1% de la varianza total, sin embargo los dos primeros factores logran explicar sobre el 80% de la varianza total.

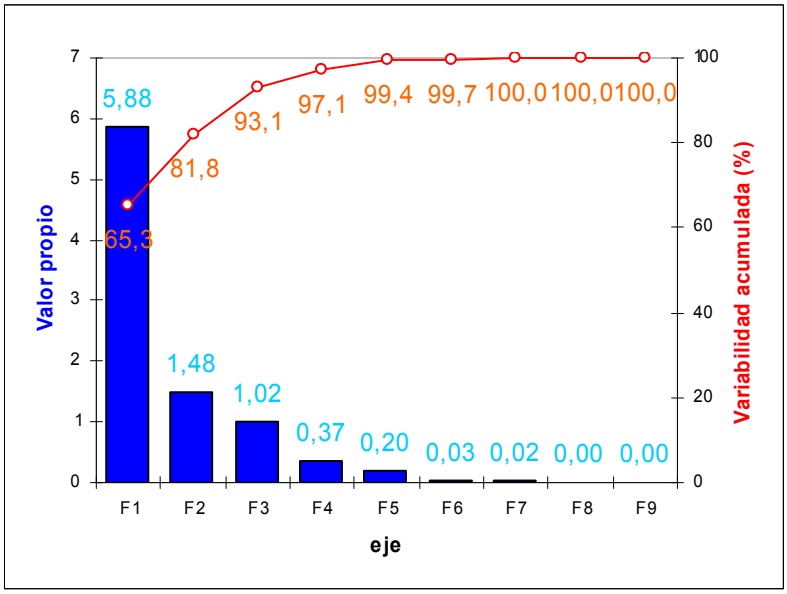


Figura 5.29: Gráfico de sedimentación ACP, acuífero Los Choros.

5.3.5.3 Matriz de factores

La matriz factorial, que contiene la correlación entre las variables originales (parámetros) y las variables nuevas (componentes principales o factores seleccionados) refleja que las variables Na, Cl, SDT, SO_4, Ca, Mg tienen valores altos en factor 1, las variables Al y NO_3 tienen valores más altos en factor 2 y la variable Fe sólo en el factor 3. Sin embargo, es posible mejorar levemente la saturación de las variables (valor más alto en un solo factor) considerando la rotación ortogonal de los ejes según método Quartimax. La matriz factorial considerando los factores seleccionados y su rotación, se presenta a continuación.

Tabla 5.8: Matriz factorial de parámetros en sector acuífero Los Choros.

Parámetro	Factor F1	Factor F2	Factor F3	Factor rotado D1	Factor rotado D2	Factor rotado D3
SDT	0,984	0,115	0,088	0,995	-0,011	0,004
Cl	0,977	0,118	0,113	0,990	-0,004	0,029
SO_4	0,967	0,025	-0,053	0,955	-0,111	-0,125
Ca	0,947	-0,001	-0,077	0,929	-0,136	-0,144
Na	0,959	0,130	0,133	0,976	0,012	0,049
Mg	0,980	0,102	0,050	0,986	-0,026	-0,032
NO_3	-0,323	0,842	-0,120	-0,223	0,862	-0,187
Fe	-0,234	-0,142	0,949	-0,168	-0,016	0,973
Al	-0,285	0,834	0,229	-0,157	0,884	0,158
Varianza explicada acumulada	65,3%	81,8%	92,3%	64,2%	81,4%	93,1%

5.3.5.4 Interpretación de factores

La interpretación semántica de los factores toma en consideración los valores observados de los parámetros relacionados a los factores y a los antecedentes disponibles. El factor 1 se asocia a un origen o una fuente natural ya que parámetros Na, Cl, SDT, Mg, Ca y SO_4 relacionados, presentan valores de concentración bajos o bien explicados por la cercanía al mar (intrusión salina). El factor 2 se asocia a un origen antrópico, ya que NO_3 y Al, los parámetros relacionados, si bien toman valores no muy altos, descartándose origen agrícola, las mayores concentraciones se encuentran en el pueblo Los Choros Bajos, y de acuerdo a la OMS podrían deberse a asentamientos urbanos (Tabla 4.20). Por último el factor 3, el cual se asocia el Fe únicamente, correspondería a un factor antrópico pero de bajo efecto, pues sus valores son bajos y no existen antecedentes de origen natural en esta zona. La fuente antrópica no se asocia a actividades industriales por lo que probablemente se asocie a la oxidación de materiales con que se construyeron los pozos.

Dado que se escogieron tres factores principales, correspondería representar las relaciones mediante tres gráficos Biplot-variables y tres gráficos Biplot-valores, sin embargo para efectos de la metodología, para discriminar el origen antrópico de algunas variables, gráficos Biplot

con factores 1 y 2 (rotados) en los ejes serían suficientes, el resto se presenta en Anexos (Sección 6.2.2).

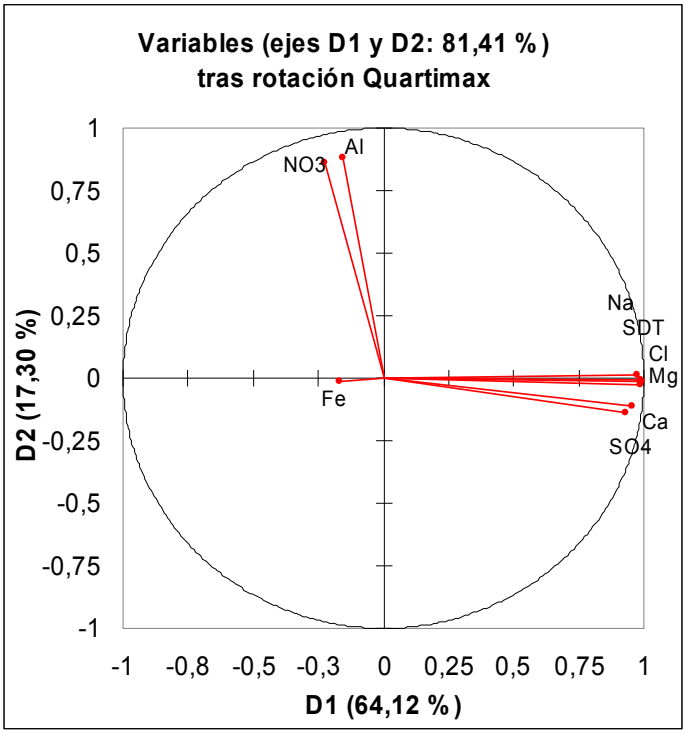


Figura 5.30: Gráfico Biplot-variables en sector acuífero Los Choros.

Los factores 1 y 2 rotados representan el 81,4% de la varianza total. Los parámetros Na, SDT, Cl y Mg se encuentran bien representados (longitud de vectores), se relacionan entre ellos (ángulo pequeño) y se asocian fuertemente al factor 1 (ángulo pequeño), por lo que su origen debe ser principalmente natural y probablemente asociado a intrusión salina. Los parámetros Ca y SO_4 se encuentran relacionados, bien representados y asociado al factor 1, por lo que su origen también sería natural, pero probablemente con un comportamiento químico distinto más asociado a la disolución de minerales que a la intrusión salina. Los parámetros NO_3 y Al se encuentran bien representados por factores 1 y 2, y están asociados principalmente al factor 2, por lo que su origen sería antrópico y marcado por la proximidad a asentamientos urbanos (desechos domiciliarios). Por último, el Fe no se encuentra bien representado por los factores 1

y 2, pero si por el factor 3, de modo que su origen sería antrópico, y más específicamente por el estado de los pozos. Lo anteriormente expuesto, resulta consistente con lo planteado por la OMS como posibles fuentes de los parámetros en cuestión.

Tabla 5.9: Origen principal de parámetros en acuífero Los Choros.

Parámetros	**Origen principal**
Na, Cl, SDT, Mg	Natural (intrusión salina)
SO_4, Ca	Natural
NO_3, Al	Antrópico (asentamiento urbano)
Fe	Antrópico (estado de pozos)

5.3.5.5 Puntuaciones factoriales y representaciones gráficas

Para completar el ACP en Los Choros se presenta el gráfico Biplot-variables, con las puntuaciones factoriales de las observaciones de acuerdo a los factores 1 y 2 rotados. Se aprecia que existen varios puntos ubicados cerca del origen reflejando la buena calidad. Además se aprecia que existen algunos puntos que se alejan del origen hacia la parte positiva del factor 2 lo que coincide con proximidad al pueblo de Los Choros Bajos y por ende al empeoramiento de la calidad. Por otra parte, se reconocen puntos que avanzan hacia la porción positiva del factor 1, lo que coincide con la proximidad al mar y por ende el efecto de la intrusión salina.

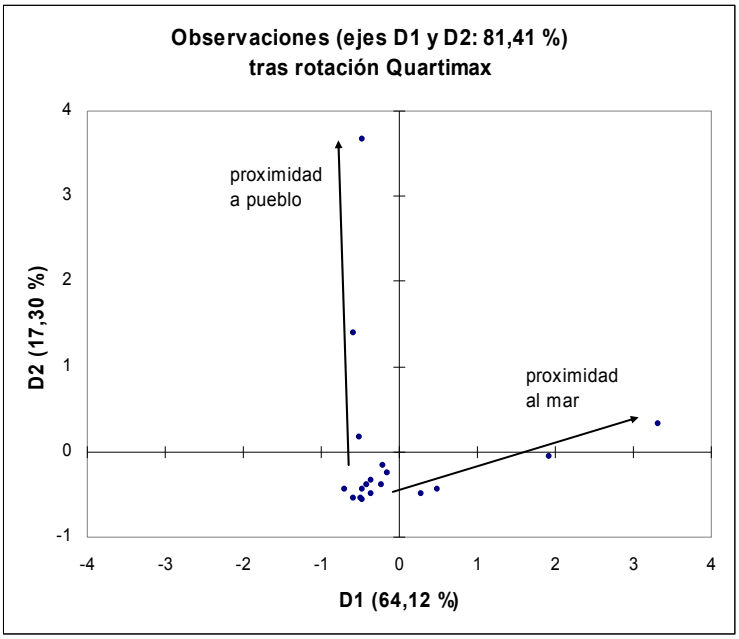


Figura 5.31: Gráfico Biplot-valores en acuífero Los Choros.

5.3.6 Análisis temporal

El sector acuífero Los Choros no cuenta con bases de datos de calidad química de las aguas provenientes de tiempos distintos, que permitan la adecuada aplicación de la metodología y con ello determinar el índice de calidad en tales períodos. Por lo tanto, no es posible aplicar el análisis temporal que plantea la metodología.

5.3.7 Resultados finales

En general, la calidad química de las aguas subterráneas de este acuífero se encuentra entre IC Excepcional a Regular en su parte central y con IC Regular e IC Insuficiente hacia el noroeste y hacia el este. La zona con IC Regular al sureste se ubica en las cercanías del pueblo, con valores más elevados de Aluminio y Nitratos. Su origen se asocia principalmente a contaminación característica de asentamientos urbanos. Se logra reconocer la intrusión salina, al noroeste de la zona de estudio, asociado a parámetros SDT, Cl, Na y Mg, y con IC Regular e IC Insuficiente. Las zonas con IC Bueno e IC Excepcional en la parte central son el resultado que todos los parámetros presentan valores bajos y que no afectan a la salud humana.

El Mapa 02 que se adjunta a este informe presenta, para el sector acuífero Los Choros, los resultados finales de la metodología, incluyendo el IC, general e individual, así como el análisis del origen de los compuestos disueltos.

5.4 Sector acuífero Aconcagua

5.4.1 Antecedentes disponibles

El sector acuífero del río Aconcagua se ubica en la V Región de Valparaíso, en la cuenca del río Aconcagua y es de tipo exorreica. La red de drenaje superficial está constituida por los siguientes ríos principalmente: Estero Pocuro, Estero San Francisco, Río Putaendo, Estero de Catemu, Estero El Melón y Río Aconcagua. El área superficial del acuífero corresponde a 1.186 km^2 y se extiende a través de la zona costera, Cordillera de la Costa y Valle Central.

Entre las zonas urbanas destacan: Concón, Quillota, La Calera, San Felipe y Los Andes.

La hidrogeología de la zona se desarrolla en depósitos no consolidados, que poseen como relleno rocas sedimentarias y mixtas sedimento-volcánicas. Sólo en sectores de Las Vegas, Llay-Llay, parte de Desembocadura y, posiblemente en Catemu, es posible reconocer más de un acuífero, donde el inferior tiene algún grado de confinamiento. El espesor del acuífero superficial es variable según los distintos sectores: San Felipe-Los Andes entre 50 a 100 m, Putaendo entre 70 y 150 m, Las Vegas entre 35 y 80 m, Llay-Llay entre 5 y 30 m, Rabuco entorno a 20 m, Quillota entre 35 y 90 m, Limache entre 60 y 115 m, Desembocadura entre 10 y 150 m, y en Nogales y Catemu se desconoce (DGA, 2001).

Se debe señalar que el análisis de la información disponible en la Red de Monitoreo de la calidad de aguas subterráneas de la DGA y la revisión de estudios anteriores indicó que la cantidad de información disponible de calidad química era insuficiente por lo que fue necesario realizar campañas de muestreo adicionales. En particular se realizaron dos campañas de muestreo, la primera corresponde a parte de las actividades realizadas para este proyecto y contempló el muestreo de 35 puntos distribuidos en toda el área estudiada. La segunda campaña se enmarca en el estudio (Geohidrología Consultores-DGA, 2009), el cual agregó 15 puntos nuevos con el objetivo de aumentar la densidad de puntos muestreados, junto con ellos se volvió a muestrear 3 puntos en que se verificaron los resultados obtenidos en la campaña

anterior. En la Figura 5.32 se presenta la distribución de los puntos medidos en donde los puntos muestreados en la primera campaña se presentan con una letra "P" inicial, y los de la segunda con una "A". La densidad de los 50 puntos distintos muestreados es 21 km^2/punto, aproximadamente.

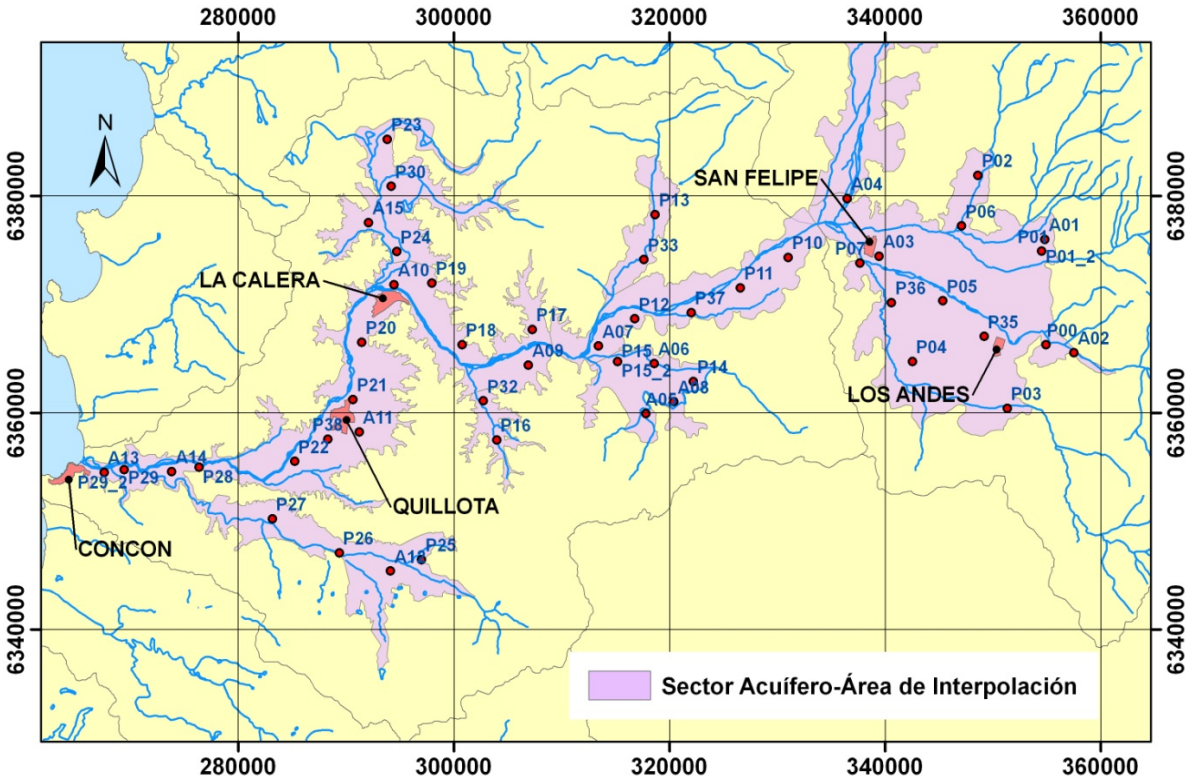


Figura 5.32: Distribución de los puntos de muestreo en sector acuífero Aconcagua.

5.4.2 Elección de parámetros locales

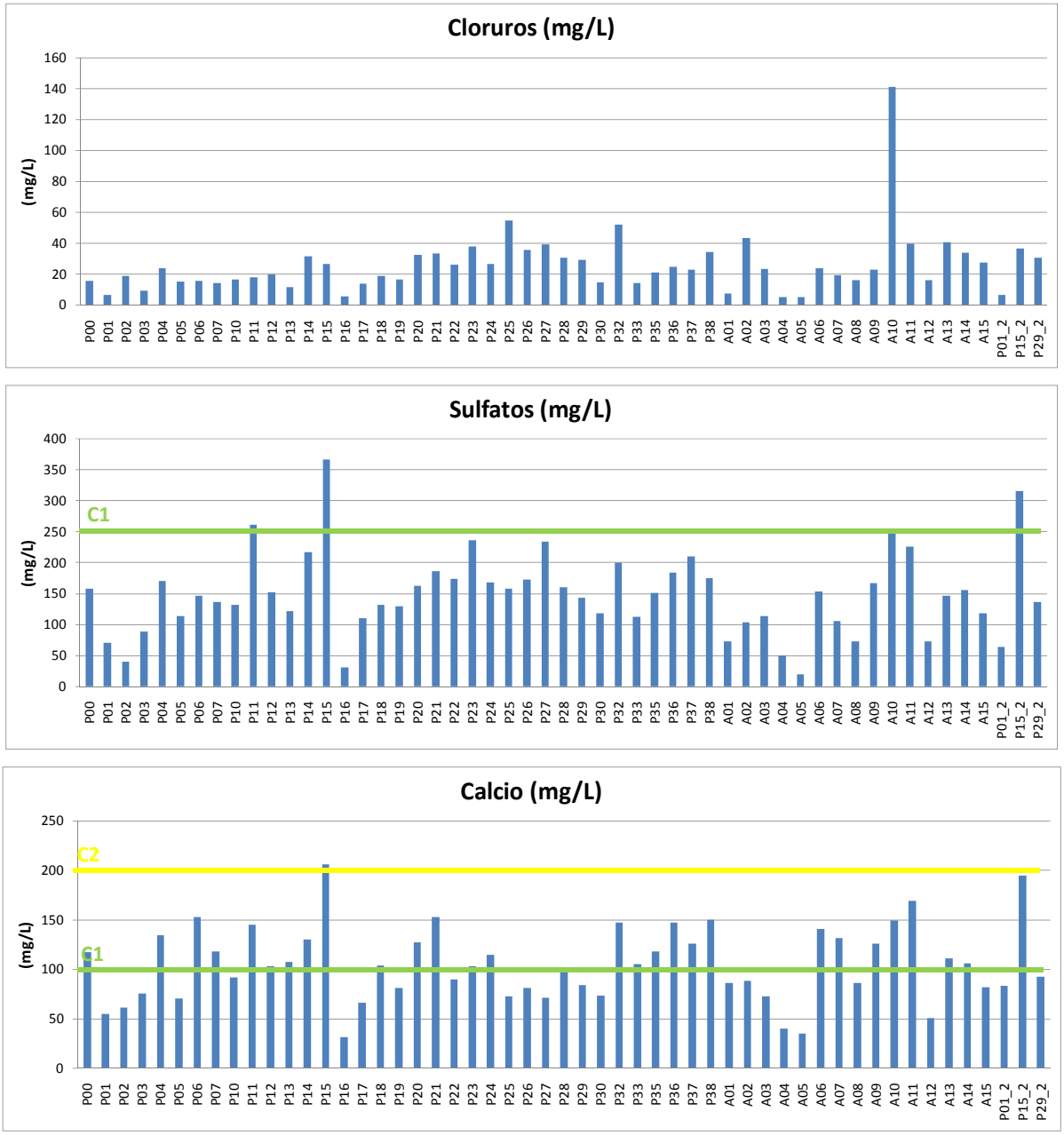
Los parámetros medidos en cada uno de los puntos de muestreo fueron: Cl, NO_3, SO_4, Ca, Na, Mg, SDT, HCO_3, K, pH, Al, Cu, Fe, Mn, Mo, Hg, Ni y Ba. Todos estos parámetros fueron escogidos considerando las actividades productivas y las características naturales del sector, según indicaciones de secciones 4.2.2 y 4.4.

Como se explicó en la metodología, los parámetros del Grupo 1 para el cálculo del IC del acuífero son fijos y son: Cl, SO_4, Ca, Na, Mg y SDT. Sin embargo, para el Grupo 2 se deben elegir dos parámetros locales además del NO_3 que se encuentra fijo. Los parámetros elegidos fueron el Hierro (Fe) y el Manganeso (Mn), ya que presentan valores importantes en las mediciones efectuadas frente al resto de parámetros, tal como indica la literatura respecto a los contenidos elevados de estos metales con origen natural (Tabla 4.7) en esta zona.

5.4.3 Análisis de datos medidos

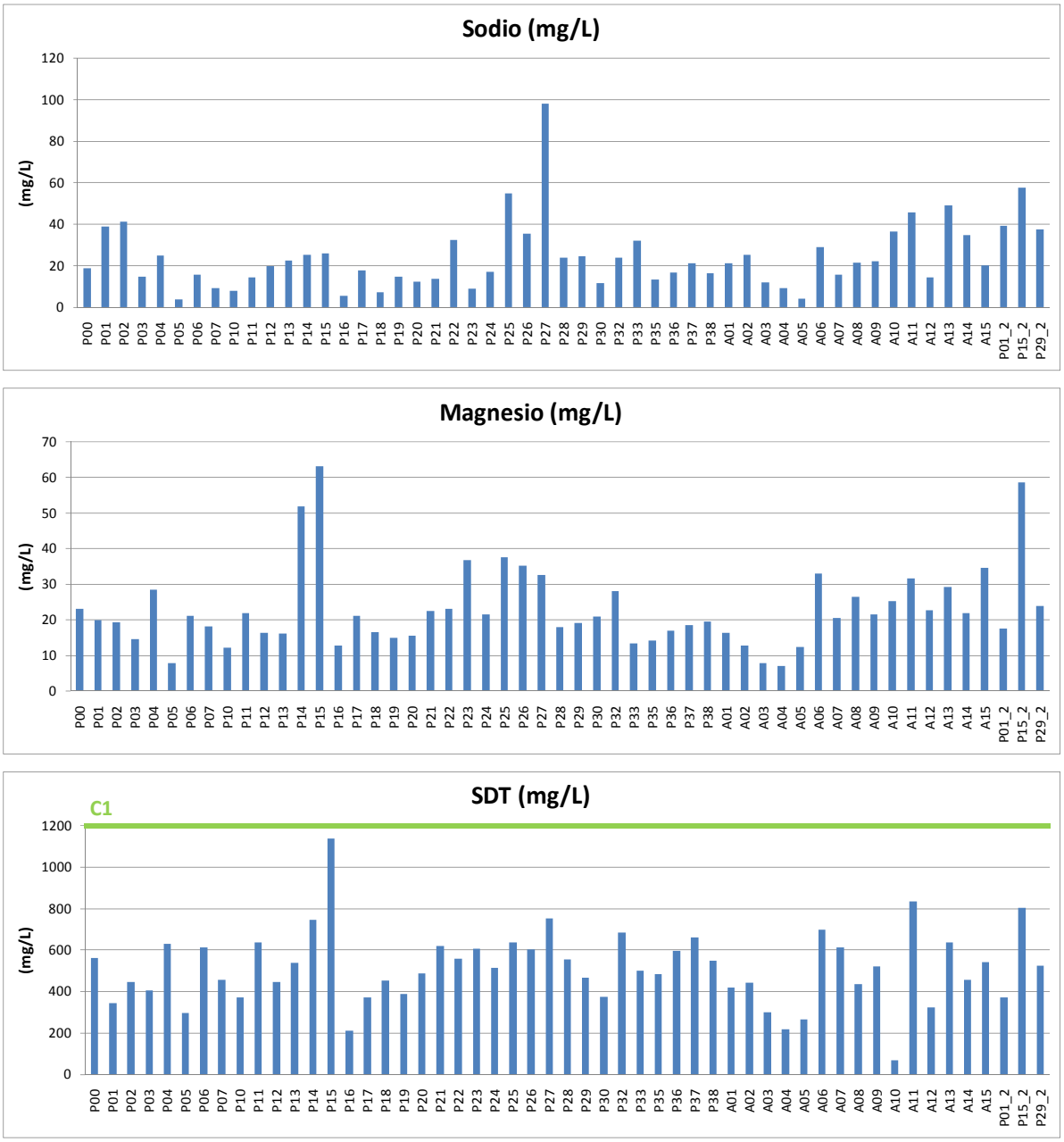
Antes de realizar la interpolación se revisaron los datos medidos para cada uno de los parámetros, con el fin de identificar valores anormales o dudosos y poder verificarlos, eliminarlos o remplazarlos, tomando en consideración condiciones en que fue tomada la muestra. Esta revisión sirve para elegir el método de interpolación que se utilizará. La base de datos se encuentra disponible en Anexos (Sección 4.1.3 y Sección 4.1.4).

En la Figura 5.33 se presenta los resultados de los parámetros medidos para el Grupo 1 junto con la línea de los límites de separación de las clases de calidad. En algunos de los gráficos no se incluyen estas líneas debido a que están fuera del rango de los resultados para el parámetro. Como se puede apreciar, todos los parámetros de este grupo presentan comportamientos similares en todos los puntos medidos y no se registran grandes diferencias. También se distingue que los resultados de los parámetros del Grupo 1, excepto el SO_4 y el Ca, se encuentran bajo el valor de corte de 1, es decir en Calidad Excepcional.



En las abscisas se presentan los puntos de observación

Figura 5.33: Concentración de parámetros Grupo 1 y valores de corte, sector acuífero Aconcagua.

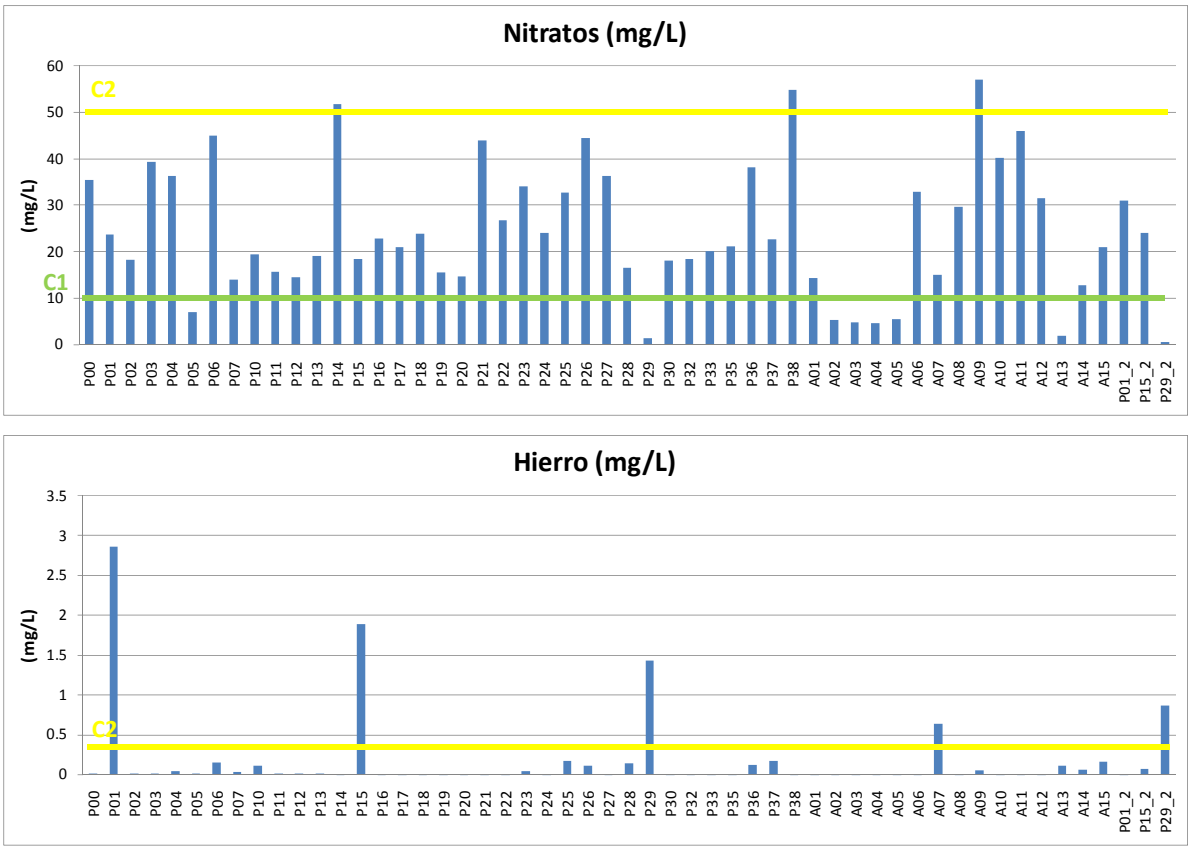


En las abscisas se presentan los puntos de observación

Figura 5.33: Concentración de parámetros Grupo 1 y valores de corte, Aconcagua (cont.).

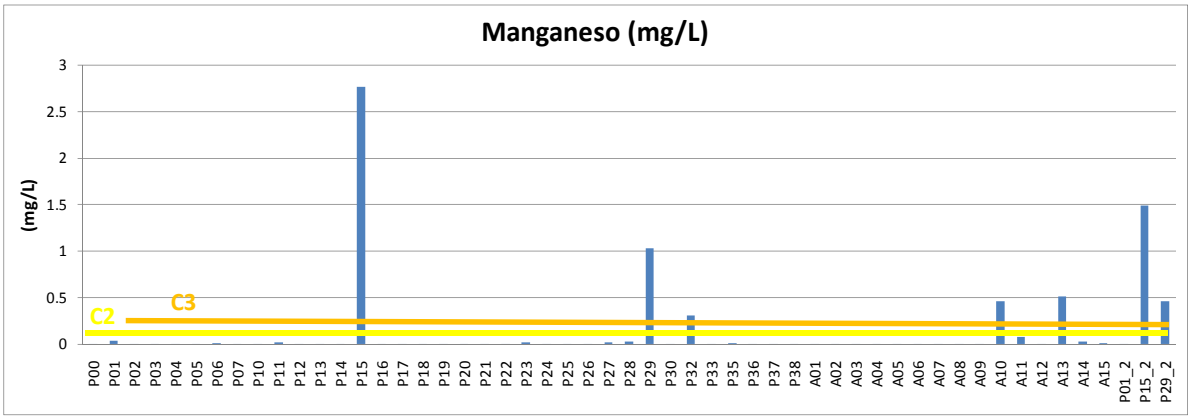
En todos los parámetros del Grupo 2 (Figura 5.34) se supera el valor de corte 1 (límite inferior de Calidad Buena), y en algunos el valor de corte 2 (límite inferior de Calidad Regular). Para el caso de Nitratos se sobrepasa el primer límite de 10 mg/L en la mayoría de los puntos, y el

segundo en tres de ellos. En el Fe se debe destacar que el primer límite establecido se pasa desde el IC Excepcional al Regular dado que no existe un valor intermedio designado (Tabla 4.14), por lo que nunca se clasificará un IC Bueno para este parámetro. Este primer límite de 0,3 mg/L es sobrepasado en 5 puntos del total medido en los que se presentan valores considerablemente mayores. Al igual que en el Fe, en el Mn no existe IC Bueno por lo que se pasa de IC Excepcional a Regular (Tabla 4.14). El Mn es el único parámetro en que se sobrepasa el valor de corte 3 por lo existirán zonas con IC Insuficiente. Al igual que en el Fe, los parámetros que sobrepasan los límites establecidos son sustancialmente mayores al resto.



En las abscisas se presentan los puntos de observación

Figura 5.34: Concentración de parámetros Grupo 2 y valores de corte, sector acuífero Aconcagua.



En las abscisas se presentan los puntos de observación

Figura 5.34: Concentración de parámetros Grupo 2 y valores de corte, sector acuífero Aconcagua. (cont.).

5.4.4 Determinación del índice de calidad

5.4.4.1 Interpolación

El sector acuífero Aconcagua tiene la particularidad que su geometría dificulta la interpolación de parámetros, ya que deben ser consideradas las aislaciones naturales que se producen en los distintos brazos del acuífero. Por esta razón y después de corroborar con interpolaciones manuales, se escogió el método de interpolación de *Spline* con Barreras el cual toma en cuenta las barreras hidrogeológicas (Tabla 4.1). Además, en el caso de los parámetros Hierro y Manganeso, algunas observaciones no superaron el límite de detección del equipo del laboratorio, por lo que se procedió a adoptar un valor igual al 25% de éste. De acuerdo al tamaño del acuífero y la distancia mínima entre los puntos medidos se decidió ocupar una grilla de interpolación de 50 m (Tabla 4.10). Los resultados de la interpolación se presentan en mapas de isoconcentración en los Anexos (Sección 6.1.3).

5.4.4.2 Cálculo de los IC individuales

La evaluación del IC se realizó de acuerdo a los límites especificados en la Tabla 4.13 y la Tabla 4.14 evaluando mediante interpolación lineal entre cada valor de corte de los parámetros del Grupo 1 y Grupo 2.

Los resultados de las evaluaciones de la interpolación de los parámetros individuales se presentan desde la Figura 5.35 a la Figura 5.43. En las primeras 6 figuras se exponen cada uno de los parámetros del Grupo 1. En estas figuras se aprecia que el Calcio (Ca) desarrolla un IC Bueno en gran parte del sector acuífero, constituyendo el parámetro que presenta el peor IC distribuido en un área mayor. El sulfato (SO_4) también presenta algunos sectores con IC Bueno, pero en la mayoría se muestra un IC Excepcional. El resto de los parámetros de este grupo presenta Índices de Calidad Excepcional en la totalidad del área del sector acuífero.

Los parámetros del Grupo 2 se presentan desde la Figura 5.41 a la Figura 5.43. Se aprecia que estos parámetros presentan índices de calidad peores que en el Grupo 1. Los Nitratos presentan un IC Bueno en casi la totalidad del acuífero, sin embargo existen pequeños focos de calidad Regular. La diferencia entre los índices de calidad para este parámetro no es abrupta por lo que no se debe a focos puntuales. Para el caso del Hierro (Fe), se presentan 3 focos aislados de IC Regular y el resto del área presenta IC Excepcional. No existen zonas con IC Bueno debido a que no se estableció un límite intermedio entre IC Excepcional y Regular (Tabla 4.14). Lo anterior es un indicador que el Hierro se presenta puntualmente en algunas zonas y no constituye una característica general del acuífero. El último parámetro del Grupo 2 es el Manganeso, y también presenta IC peores llegando incluso a calidad Insuficiente. Este parámetro tampoco tiene un valor límite intermedio que establezca el IC Bueno (Tabla 4.14).

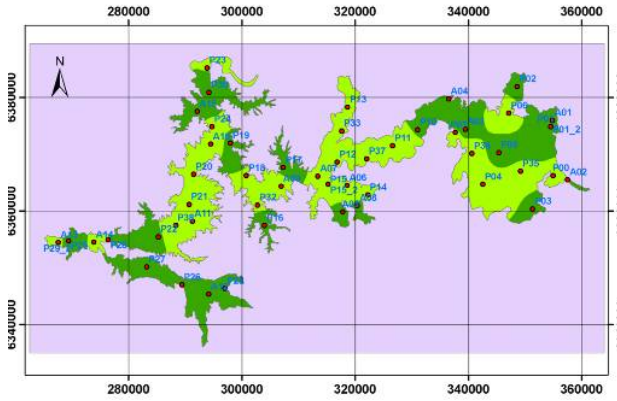


Figura 5.35: Índice de calidad individual de Ca en sector acuífero Aconcagua.

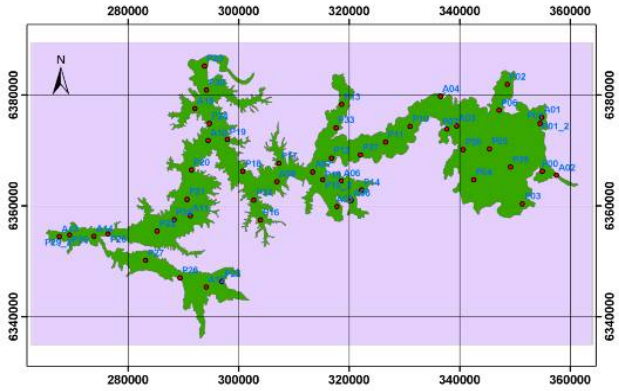


Figura 5.36: Índice de calidad individual de Cl en sector acuífero Aconcagua.

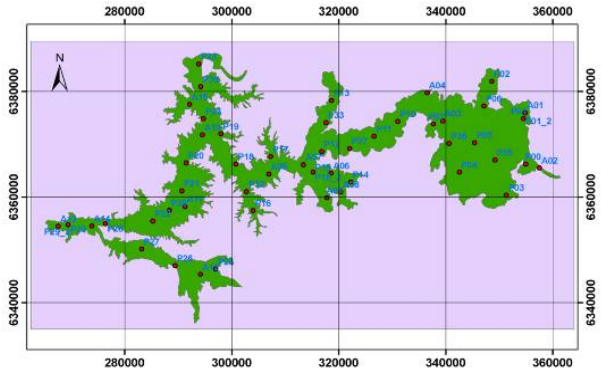


Figura 5.37: Índice de calidad individual de Mg en sector acuífero Aconcagua.

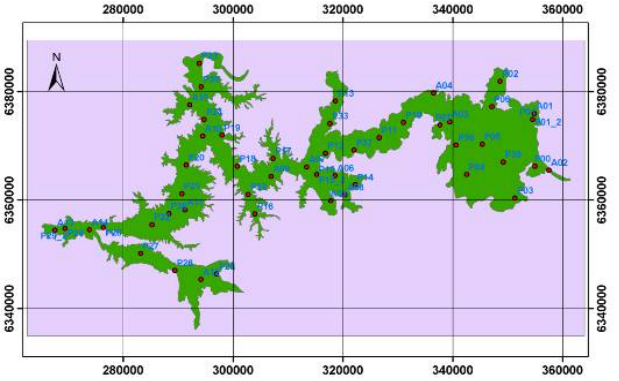


Figura 5.38: Índice de calidad individual de Na en sector acuífero Aconcagua.

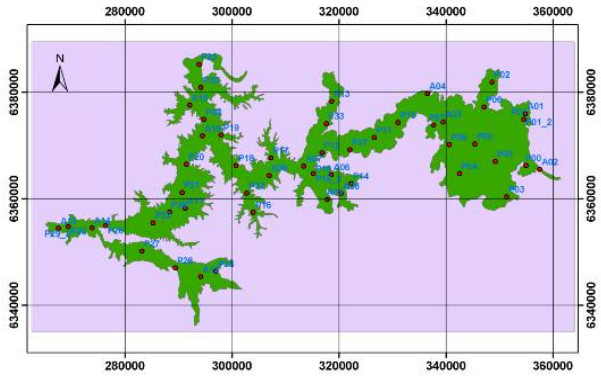


Figura 5.39: Índice de calidad individual de SDT en sector acuífero Aconcagua.

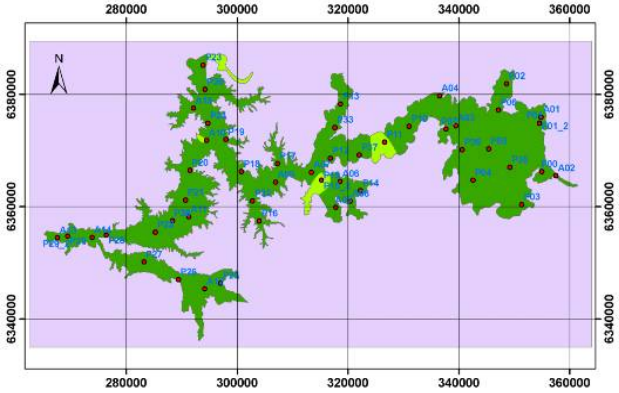


Figura 5.40: Índice de calidad individual de SO_4 en sector acuífero Aconcagua.

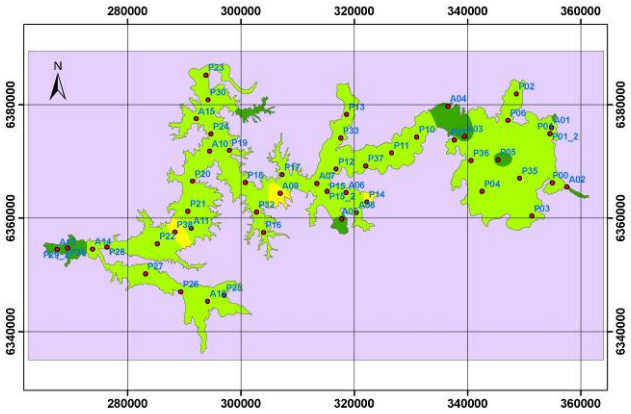


Figura 5.41: Índice de calidad individual de NO_3 en sector acuífero Aconcagua.

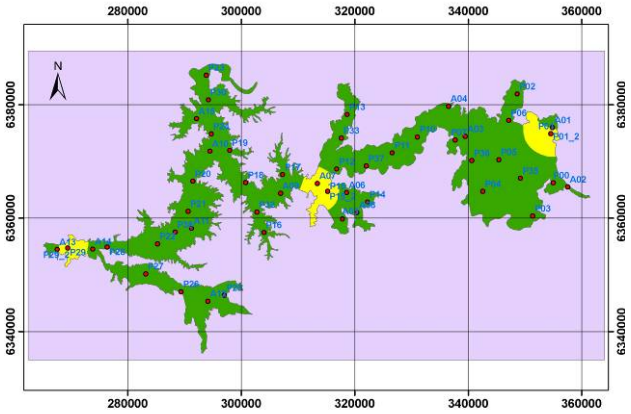


Figura 5.42: Índice de calidad individual de Fe en sector acuífero Aconcagua.

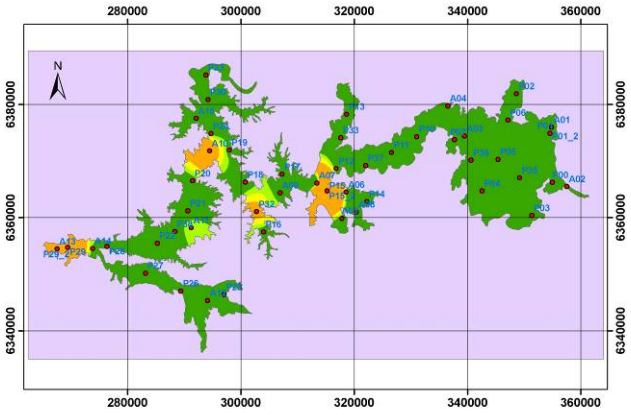


Figura 5.43: Índice de calidad individual de Mn en sector acuífero Aconcagua.



5.4.4.3 Cálculo del índice de calidad general

De acuerdo a lo especificado en la metodología el cálculo del IC general, debe realizarse de acuerdo a los criterios especificados en la Tabla 4.16, revisando la aplicabilidad de éstos en el área estudiada. En la Tabla 5.10 se presenta los requisitos del cálculo del IC general en conjunto con comentarios acerca de la aplicabilidad de cada uno de ellos para los parámetros estudiados.

Tabla 5.10: Criterios y Comentarios sobre la aplicación en sector acuífero Aconcagua.

Criterios	Comentarios
Si existe un parámetro con IC Intratable, el IC general es Intratable	Dentro de las evaluaciones de la interpolación no aparece ninguna zona como intratable para ninguno de los parámetros. Por lo tanto este criterio no se aplica.
Si alguno de los parámetros que afectan la salud humana, definidos en la NCh409, presentan IC Bueno, Regular o Insuficiente, el IC general se determina como el peor IC de todos los parámetros medidos.	Todos los parámetros del Grupo 2 (NO_3, Mn y Fe) se encuentran incluidos pueden afectar a la salud humana, de acuerdo a NCh409. La unión de las áreas en que alguno de estos tres parámetros supera el IC Excepcional representa casi la totalidad del área del acuífero. Por esta razón, el cálculo del IC final para el acuífero está regido por este criterio en casi toda su superficie.
Si todos los parámetros que afectan la salud humana, definidos en la NCh409, presentan IC Excepcional, el IC general se determina como el promedio aritmético del IC de todos los parámetros	Existen muy pocas zonas en que los parámetros que afectan la salud humana se encuentran en IC Excepcional, por lo tanto este criterio se aplica en una superficie muy reducida del acuífero.

En la Figura 5.44 se aprecia el mapa de IC general para el sector acuífero Aconcagua, y donde se aprecia cuatro zonas con IC Insuficiente, debidas principalmente al Manganeso. El resto del área posee en general un IC entre Bueno y Regular debido principalmente a Nitratos al centro y al oeste, y al Hierro en el extremo este.

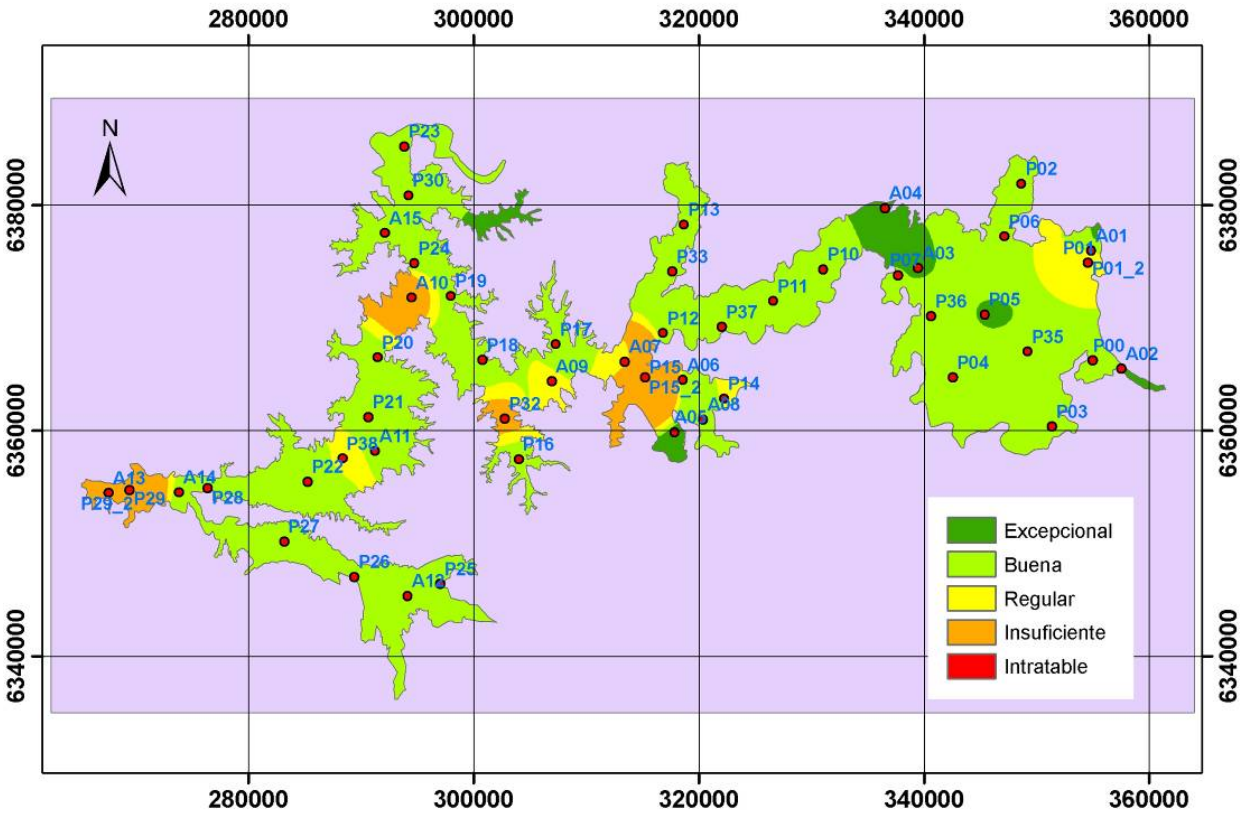


Figura 5.44: Índice de calidad general para el sector acuífero Aconcagua.

5.4.5 Análisis estadístico ACP

Para obtener la caracterización de posible fuente de la calidad química en el acuífero de Aconcagua, se realiza el análisis de componentes principales con el apoyo de una rutina establecida en el programa computacional XLSTAT® que se acopla al software Excel®, y siguiendo cada uno de los pasos presentados en la metodología. La salida de la ejecución de este programa se presenta en Anexos (Sección 6.3.3).

5.4.5.1 Requisitos de la base de datos

La base de datos es la misma que la utilizada para determinar los IC, por lo tanto ya se encuentra depurada adecuadamente. Esta base de datos cuenta con 53 observaciones de 9 parámetros seleccionados: SDT, Cl, SO_4, Ca, Na, Mg, NO_3, Fe y Mn. Por lo tanto cumple con

el tamaño mínimo recomendado (5 veces la cantidad de parámetros) y sería posible obtener correlaciones estadísticamente adecuadas.

Respecto a la correlación entre las variables y a partir de la inspección visual de la matriz de correlación, su determinante ($2{,}6x10^{-3}$) y el test de esfericidad de Bartlett (rechazo de H0 con error <0,01%), se puede establecer que existe una estructura interna en los datos que hacen útil el ACP para obtener variables independientes que resuman la relación entre las variables. La inspección visual de matriz de correlaciones indica que hay correlación entre variables, aunque ésta es baja para Fe, Mn y NO_3.

5.4.5.2 Selección de factores

Con el uso de XLSTAT®, se obtiene el gráfico de sedimentación que indica los valores propios de los 9 componentes principales y la explicación de la varianza total. Adoptando el criterio de Kaisser de usar sólo aquellos componentes principales con valores propios mayores a 1, se seleccionan los tres primeros que explican el 74,5% de la varianza total.

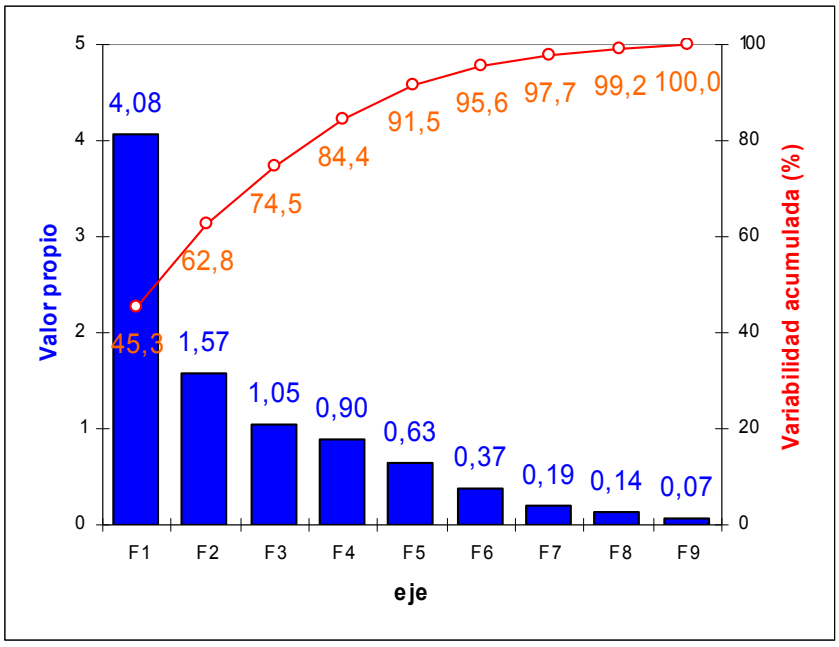


Figura 5.45: Gráfico de sedimentación ACP, en sector acuífero Aconcagua.

5.4.5.3 Matriz de factores

La matriz factorial, que contiene la correlación entre las variables originales (parámetros) y las variables nuevas (componentes principales o factores seleccionados) refleja que las variables SDT, SO_4, Ca, Mg tienen valores altos en factor 1, las variables Fe y NO_3 tienen valores más altos en factor 2 y las variables Na y Cl mayormente en el factor 3. Sin embargo, es posible mejorar la saturación de las variables (valor más alto en un solo factor) considerando la rotación ortogonal de los ejes según método Quartimax. La matriz factorial considerando los factores seleccionados y su rotación, se presenta a continuación.

Tabla 5.11: Matriz factorial de análisis ACP en sector acuífero Aconcagua.

Parámetro	Factor F1	Factor F2	Factor F3	Factor rotado D1	Factor rotado D2	Factor rotado D3
SDT	0,835	0,057	-0,293	0,880	0,100	-0,044
Cl	0,472	-0,368	0,576	0,293	-0,207	0,749
SO_4	0,909	-0,111	-0,085	0,896	-0,021	0,206
Ca	0,803	-0,180	-0,359	0,883	-0,148	-0,068
Na	0,499	-0,042	0,679	0,269	0,133	0,788
Mg	0,874	0,054	0,037	0,816	0,158	0,277
NO_3	0,367	-0,674	-0,151	0,433	-0,644	0,099
Fe	0,249	0,772	0,107	0,161	0,802	0,019
Mn	0,691	0,581	-0,007	0,626	0,645	0,078
Varianza explicada acumulada	45,3%	62,8%	74,5%	42,1%	59,7%	74,5%

5.4.5.4 Interpretación de factores

La interpretación semántica de los factores toma en consideración los valores observados de los parámetros relacionados a los factores. El factor 1 y el factor 3 se asocian a un origen o fuente natural ya que presentan valores de concentración bajos, sin embargo se diferenciarían en los mecanismos hidrogeoquímicos. El factor 1, asociado a Mg, SDT, SO_4 y Ca, refleja un comportamiento químico distinto al factor 3, asociado a los parámetros Na y Cl. Estos últimos

son, más bien, conservativos, y se mantienen en solución, mientras que el resto son más activos. El factor 2 se asocia a un origen antrópico, ya que el NO_3 supera los 10mg/L en algunas zonas, y el Fe y Mn se asocian a industrias ubicadas en el sector acuífero (petróleo, cobre, alimentos).

Dado que se escogieron tres factores principales, correspondería representar las relaciones mediante tres gráficos Biplot-variables y tres gráficos Biplot-valores, sin embargo para efectos de la metodología, para discriminar el origen antrópico de algunas variables, gráficos Biplot con factores 1 y 2 (rotados) en los ejes serían suficientes, el resto se presenta en Anexos (Sección 6.2.3).

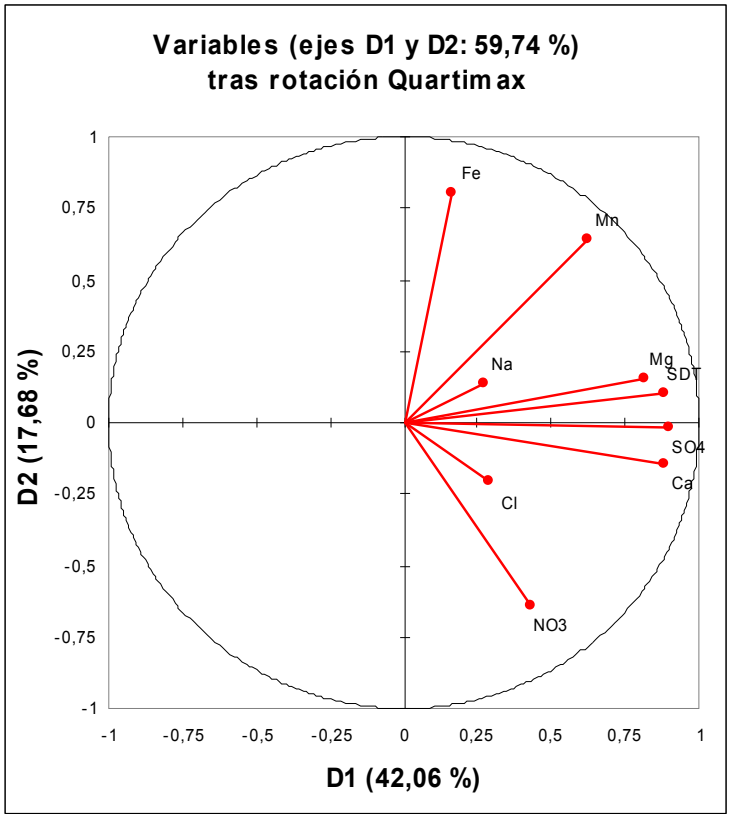


Figura 5.46: Gráfico Biplot-variables en sector acuífero Aconcagua.

Los factores 1 y 2 rotados representan el 59,7% de la varianza total. Los parámetros Mg, SDT, SO_4 y Ca se encuentran bien representados (longitud de vectores), se relacionan entre ellos (ángulo pequeño) y se asocian fuertemente al factor 1 (ángulo pequeño), por lo que su origen debe ser principalmente natural. Los parámetros Na y Cl se encuentran relacionados, no se encuentran bien representados por factores 1 y 2, pero si por factor 3 por lo que tienen un origen natural, pero con una química distinta al primer grupo mencionado. Los parámetros Fe, Mn y NO_3 se asocian un poco más con el factor 2, pero mantienen relación con el factor 1, por lo tanto su origen es tanto natural como antrópico. Esto es consistente con la literatura que menciona al Fe y al Mn como fuentes naturales de contaminación en la V región (Tabla 4.7). Otro aspecto destacable es la relación casi inversa entre Fe y NO_3, indicando posiblemente que el origen, si bien es antrópico en ambos casos, serían actividades casi excluyentes, por ejemplo agrícola para el NO_3 e industria en caso del Fe y del Mn. De hecho, al apreciar en los mapas de isoconcentración respectivos que zonas con mayores valores no son las mismas. Por último, esto resulta consistente con lo planteado por la OMS como posibles fuentes de los parámetros en cuestión.

Tabla 5.12: Origen principal de parámetros en sector acuífero Aconcagua.

Parámetros	**Origen principal**
Na, Cl	Natural
SDT, Mg, SO_4, Ca	Natural
Fe, Mn	Antrópico (industrial) y Natural
NO_3	Antrópico (agricultura)

5.4.5.5 Puntuaciones factoriales y representaciones gráficas.

Para completar el ACP en sector acuífero Aconcagua se presenta el gráfico Biplot-variables, con las puntuaciones factoriales de las observaciones de acuerdo a los factores 1 y 2 rotados. Se aprecia que la mayoría de los puntos se ubican en torno al origen, mientras que sólo algunos se alejan de éste y que en general coinciden con las zonas de peor calidad, lo que reflejaría que existen fuentes de contaminación localizadas de carácter industrial. Los que se ubican hacia la parte positiva del factor rotado D2 corresponden a las zonas de desembocadura

y la parte central (puntos P15 y A07) con valores elevados de Manganeso y Hierro, reflejo de la actividad industrial. Por otra parte, los puntos más alejados hacia la parte negativa de factor rotado D2 corresponden a zonas con valores elevados de Nitratos, como P38, A09, P14 y A10, prevaleciendo la actividad agrícola sobre la industrial.

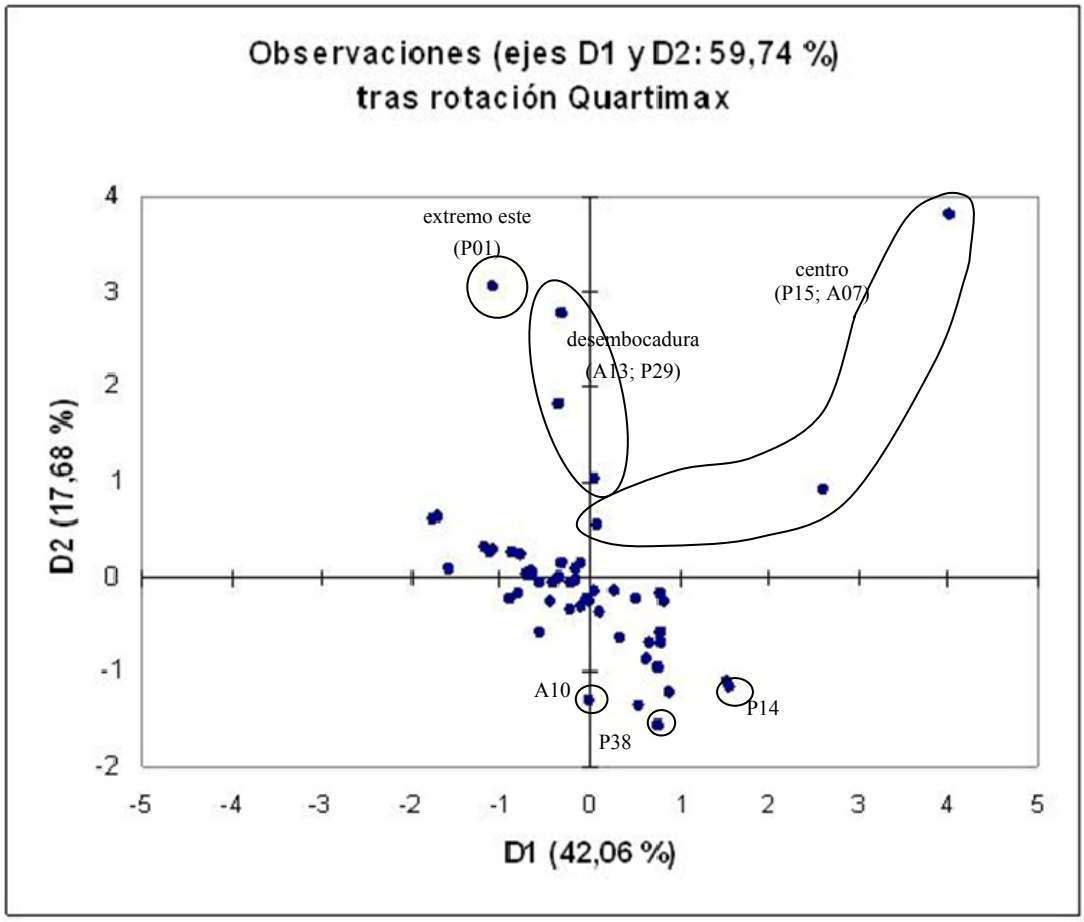


Figura 5.47: Gráfico Biplot-valores en sector acuífero Aconcagua.

5.4.6 Análisis temporal

En el sector acuífero Aconcagua no se cuenta con bases de datos de calidad química de las aguas provenientes de tiempos distintos, que permitan la adecuada aplicación de la

metodología y con ello determinar el índice de calidad en tales períodos. Por lo tanto, no es posible aplicar el análisis temporal que plantea la metodología.

5.4.7 Resultados finales

En general se aprecia la calidad de las aguas de este acuífero es Buena, sin embargo existen zonas donde la calidad empeora hasta ser Insuficiente. El IC Bueno generalizado está marcado por los niveles de NO_3, los que reflejan una afectación antrópica cuyo origen principal sería la actividad agrícola. Las zonas con peor calidad (IC Regular e IC Insuficiente) se deben a valores aún más elevados de NO_3, así como de Mn y Fe. La ubicación de estas zonas, así como la correlación entre parámetros hace suponer que su origen sea la actividad industrial en dichos lugares.

El Mapa 03 que se adjunta a este informe presenta para el sector acuífero Aconcagua los resultados finales de la metodología, incluyendo el IC, general e individual, así como el análisis del origen de los compuestos disueltos.

6 INSTRUMENTOS PARA LA PROTECCIÓN DE LA CALIDAD

Los instrumentos de protección de acuíferos tienen como objetivo preservar la calidad y continuidad del recurso hídrico subterráneo de una determinada zona. Estas medidas constituyen todas las acciones gubernamentales y privadas destinadas para este fin que abarcan desde una gestión directa sobre situaciones de emergencia, hasta labores de educación orientadas a la prevención.

Las medidas de protección parten como base por el conocimiento de las características del sector acuífero (contexto hidrogeológico, línea base de calidad, uso de suelo, etc.), de las principales fuentes de contaminación involucradas y del entorno socio-económico asociado al recurso. Así, bajo este conocimiento es posible identificar las áreas que necesitan de atención prioritaria, y facilita el diseño de mayores (o más precisas) medidas de protección enfocadas a cada sector acuífero en particular.

Para ello, es importante que se realice también una evaluación de los distintos roles que deben tener el estado, los organismos locales, los usuarios y el mercado, de modo que éstos queden bien definidos, tengan autoridad suficiente y exista una buena coordinación institucional y pública que sin duda es la base para la buena gestión y protección de los recursos hídricos. En este sentido, se hacen necesarias las políticas globales e integrales para todo un país, pero también la creación de organismos con una mayor competitividad en terreno, y a nivel regional, capaz de diseñar planes de manejo particulares para cada acuífero, y ejecutar políticas locales para problemas locales.

Los diversos instrumentos y medidas de protección de acuíferos, pueden dividirse en cuatro grupos principales, que son:

- Medidas de conocimiento e investigación.
- Medidas educacionales.
- Medidas políticas y económicas.
- Medidas de acción directa.

A continuación se presenta una breve descripción de cada una de ellos basada en la revisión de antecedentes que se presentan en Anexos (Capítulo 3).

6.1 Descripción de instrumentos de protección

6.1.1 Conocimiento e investigación

Las medidas que competen al conocimiento e investigación son todas aquellas que buscan conocer la cuenca y el acuífero a proteger. En este sentido, estas medidas son básicas para la aplicación de cualquiera de las otras y por lo tanto, deben considerarse como prioritarias a nivel de política gubernamental. Muchas de ellas pueden desarrollarse a partir de una herramienta SIG, lo que genera grandes ventajas para su análisis y desarrollo de otras medidas de manejo de los acuíferos. Deben para ello realizarse tipos de estudios que se mencionan a continuación.

6.1.1.1 Contexto hidrogeológico

De manera introductoria para el desarrollo de este punto se puede citar la definición de Hidrogeología dada por CUSTODIO y LLAMAS (2001): "Hidrogeología es aquella parte de la hidrología que corresponde al almacenamiento, circulación y distribución de las aguas terrestres en la zona saturada de las formaciones geológicas, teniendo en cuenta sus propiedades físicas y químicas, sus interacciones con el medio físico y biológico y sus reacciones a la acción del hombre". Los campos que deben ser estudiados para una correcta caracterización hidrogeológica son los siguientes:

- Geología: ésta constituye el área fundamental del conocimiento hidrogeológico debido a que se estudia el medio físico donde ocurren todos los fenómenos en los ámbitos de la naturaleza y forma de los materiales presentes. Junto con lo anterior se analizan los elementos que condicionan el funcionamiento de los acuíferos, como la distribución de los materiales permeables y/o impermeables, fallas, fracturas, afloramientos del basamento, etc.
- Química del agua: análisis y clasificación de las aguas de acuerdo a los sólidos y gases disueltos presentes, incluyendo los equilibrios de estas disoluciones, conceptos de alcalinidad y agresividad.

- Hidrología: dentro de esta área se incluyen los ámbitos climáticos y su interacción con los cauces superficiales y subterráneos.
- Hidráulica subterránea: dentro de este tema se analizan teórica y empíricamente todos los procesos que condicionan el movimiento del agua subterránea. Dentro del análisis se incluyen los principios generales de movimiento en medios porosos, grados de confinamiento de los acuíferos asociados y el efecto asociado a captaciones subterráneas.

6.1.1.2 Vulnerabilidad, riesgo y carga de contaminantes

La literatura técnica (DGA, 2004) indica que la vulnerabilidad se puede definir como el nivel de penetración con que un contaminante alcanza una posición específica en un sistema acuífero, considerando el espesor y características de la zona no saturada. Por otro lado, el riesgo de contaminación está determinado básicamente por las características del acuífero, las que son relativamente estáticas (es decir, permanentes a escalas razonables de tiempo) y por la existencia de actividades potencialmente contaminantes, las que son esencialmente dinámicas.

Existen diversas metodologías para la determinación de la vulnerabilidad de los acuíferos. Dichos métodos difieren en los parámetros utilizados, como por ejemplo características de la zona no saturada, profundidad del agua subterránea, recarga neta, permeabilidad del subsuelo, etc. Existen métodos que utilizan un número importante de parámetros, mientras que otros están basados en un número muy reducido. En la práctica, la utilización de un método u otro queda determinada, fundamentalmente, por la disponibilidad de información.

Uno de los métodos utilizados en Chile (SERNAGEOMIN y DGA) es el denominado BGR (otro es el GOD) que fue desarrollado en Alemania, sin embargo se ha generado un versión modificada para su aplicación sólo en el marco del DS46 Norma de emisión de residuos líquidos a aguas subterráneas. Los resultados de los estudios que utilizaron el método BGR original se presentan en mapas a escalas 1:100.000, 1:250.000 y 1:500.000, en la Carta Geológica de Chile, Serie Geología Ambiental.

Estudios de esta naturaleza son de gran utilidad para la Planificación Territorial, dado que permiten hacer recomendaciones a las distintas autoridades con respecto a la distribución de

las actividades socio-económicas a realizar en el territorio (uso de suelo), de manera de minimizar la contaminación de los recursos hídricos subterráneos.

La vulnerabilidad de un acuífero depende en gran parte del tipo de obra de infiltración que se utilice, por lo que es importante destacar que los mapas de vulnerabilidad que desarrolla SERNAGEOMIN no consideran la existencia de estas obras. Junto con lo anterior, se debe tomar en cuenta que la escala de estos mapas no permite un grado de detalle a nivel local y especifico para determinar vulnerabilidades de contaminación de acuíferos ante una obra que infiltre. Por estas razones, muchas veces será necesario realizar el cálculo de la vulnerabilidad con los datos estratigráficos y características locales, considerando los mapas del SERNAGEOMIN como antecedentes a considerar.

6.1.1.3 Línea Base de calidad de aguas

La línea base es un concepto ampliamente utilizado en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) y se refiere a las condiciones antes de realizar un determinado proyecto o antes que se manifiesten efectos antrópicos. Se aplica a las llamadas "variables ambientales" que son susceptibles a ser modificadas por estas actividades como flora y fauna, calidad del aire y el agua, ruido, paisaje, etc.

Para el caso de la calidad de las aguas, la línea base se refiere a la composición de éstas antes de recibir los impactos de las actividades antrópicas presentes en una zona determinada. En general se obtiene mediante análisis realizados a las aguas en las zonas de recarga (subterráneas o superficiales) de los acuíferos a los que se puede incorporar efectos de las características naturales de los acuíferos estudiados.

La línea base constituye un punto de comparación a la situación actual y por lo tanto permite cuantificar el grado de afectación por actividades antrópicas en las zonas estudiadas.

En el caso de los acuíferos esta información es particularmente importante, ya que, permitiría definir las distintas características naturales de los acuíferos, representando la variabilidad existente a lo largo del país. Desde acuíferos con altas concentraciones de iones en la zona norte hasta acuíferos con aguas prácticamente puras en la zona sur del país. Lo anterior también resulta de gran utilidad si se considera que en el futuro se requerirá contar con normas de calidad secundarias.

6.1.1.4 Fuentes de contaminación

Las actividades humanas producen gran cantidad de desechos y provocan perturbaciones en el ciclo hidrológico y en la circulación de las aguas. Con frecuencia el resultado es una contaminación de las mismas, unas veces recuperable, pero otras prácticamente irreversibles.

Los acuíferos subterráneos, por la lenta circulación de las aguas y la capacidad de adsorción de los terrenos, pueden tardar mucho en evidenciar una eventual contaminación. A su vez presentan un notable poder depurador frente a muchos agentes contaminantes, aunque con un límite que varía mucho dependiendo del agente que se considere y del suelo en que se encuentre.

Del mismo modo que un acuífero resiste a la contaminación, una vez que ésta se ha producido y establecido, la regeneración suele ser extraordinariamente lenta, a veces de muchos años, si es que puede lograrse por medios técnicos y económicamente viables.

Los posibles orígenes de la contaminación de los acuíferos son muy variados y es difícil recogerlos todos en forma sintética. Se puede realizar la siguiente clasificación (CUSTODIO y LLAMAS, 2001):

a) *Contaminación por actividades domésticas*

   Es una contaminación esencialmente orgánica y biológica nacida en fosas sépticas, pozos negros, fugas de sistemas de alcantarillado, vertido indiscriminado de aguas de letrinas, etc., a la que debe sumarse una contaminación nacida de la utilización cada vez más intensa de productos químicos de uso doméstico, tales como los detergentes (o sustancias tensoactivas) en sus diversas versiones.

b) *Contaminación por labores agrícolas*

   La contaminación por labores agrícolas tiene un primer aspecto: los abonos. Estos aditivos suelen ser artificiales o a base de desechos de animales y entonces la contaminación producida es principalmente debida al aporte de Nitratos, compuesto sumamente móvil. También se destaca que la materia orgánica se consume, en general, liberando CO_2. El dióxido de Carbono puede contribuir apreciablemente al

endurecimiento y aumento de la alcalinidad del agua de infiltración profunda, dependiendo del clima, tipo de suelo y cultivo.

El segundo aspecto importante se encuentra en los regadíos cuando se produce infiltración del agua excedente con calidades deficientes. Si se realiza esta infiltración en zonas mal drenadas y con escasa recarga natural podría producirse, después de un tiempo, un agua no apta para los cultivos establecidos.

Por último se distingue un tercer aspecto asociado a las labores agrícolas derivado de la utilización de pesticidas (insecticidas, herbicidas, plaguicidas, etc.). Estos pueden constituir un problema grave y permanente en las aguas, en especial debido a ciertos tipos como el DDT.

c) *Contaminación por ganadería*

Es una contaminación esencialmente orgánica y biológica, con matices muy similares a la contaminación por actividades domésticas, pero con frecuencia más concentrada y aguda, en especial en granjas intensivas. Bajo este aspecto los purines de los planteles porcinos son un grave problema, en cambio la contaminación por granjas avícolas es proporcionalmente menos intensa.

Efectos de este tipo de actividades antrópicas es posible observar en algunos sectores de la VI Región del L. G. B. O`Higgins, donde se concentra la mayor cantidad de planteles porcinos del país.

d) *Contaminación por aguas superficiales*

Se produce cuando aguas superficiales contaminadas recargan el acuífero. En general (salvo el caso de acuíferos fracturados) la parte en suspensión no contribuye a la contaminación, aunque produce un frenado de la recarga por colmatación del lecho. Efectos de este tipo se han podido observar en el sector sur del acuífero de Santiago, por la relación de éste con el río Mapocho. En este sector existe un flujo desde el río con una alta carga orgánica hacia el acuífero, produciendo un aumento en la concentración de nitratos.

e) Contaminación por aguas salinas

La forma más importante en las regiones costeras es la intrusión salina. Tanto en regiones costeras como en regiones interiores existe además la posible contaminación por movimientos laterales o verticales de aguas salobres o saladas naturales, o a través del medio poroso o favorecido por perforaciones mal construidas o abandonadas. Otras veces las aguas salinas son producto de actividades industriales e incluso municipales, tales como la regeneración de resinas de intercambio iónico o desalinización de aguas salobres.

En el caso de Chile, además de los acuíferos costeros donde ya se han producido aumentos en la concentración de sólidos disueltos (Los Choros), existe el riesgo de impacto por mal manejo en los salares del norte, donde existe relación entre acuíferos de salmueras o aguas muy concentradas con acuíferos de agua dulce que los recargan.

f) Contaminación por actividades mineras

Es una contaminación esencialmente mineral y frecuentemente se puede relacionar con evacuaciones de aguas de mina, con el lavado de mineral y por la depositación de material sin valor comercial, como relaves y botaderos. La disolución y posterior arrastre es producto de la interacción de estos materiales con el agua de lluvia o por aguas de superficie. Este problema es especialmente importante en relaves y botaderos que contienen materiales oxidables, tales como sulfuros y carbonatos. En la minería del petróleo se obtienen cantidades importantes de aguas de salinidad elevada que son también una importante fuente de contaminación mineral de aguas subterráneas. Algunas veces puede existir una contaminación orgánica derivada del vertido de aceites de flotación degradados o de productos relacionados con el petróleo.

g) Contaminación por actividades industriales

Estas contaminaciones son tan variadas como las industrias que las originan. Son especialmente insalubres y nocivas las contaminaciones con metales pesados procedentes de la industria metalúrgica. La industria química y petroquímica puede introducir en el terreno sustancias orgánicas e inorgánicas en grandes cantidades. La industria de la alimentación puede introducir grandes cantidades de materia orgánica al

igual que las de bebidas, las cuales pueden además aportar detergentes. Otra fuente importante de contaminación son las industrias papeleras.

h) Contaminación por actividades nucleares

Las actividades nucleares pueden aportar, además de productos orgánicos e inorgánicos comunes con otras industrias químicas, radioisótopos. Esto ocurre especialmente en las plantas de tratamientos de combustibles nucleares irradiados y de minerales radioactivos. Las actividades médicas también pueden ser un origen de contaminación con radioisótopos.

i) Contaminación a través de pozos mal construidos o abandonados

Es un tipo de contaminación a la que muchas veces se le presta poca importancia, pero que puede tener graves consecuencias. Los pozos que ponen en comunicación varios acuíferos, los pozos con entubaciones rotas o corroídas en niveles con aguas de mala calidad o aquellos que permitan la fácil entrada de aguas superficiales son especialmente peligrosos.

j) Contaminación por pozos de inyección

La introducción en el terreno de aguas residuales mediante pozos es una práctica cada día más difundida, y en general es una forma de utilizar el subsuelo como receptor de residuos. La infiltración puede realizarse con precauciones y siendo muy consciente de las limitaciones del método. Muchas contaminaciones de aguas subterráneas nacen de pozos de inyección mal proyectados, mal construidos o mal utilizados. Pueden originar una contaminación no sólo inorgánica, orgánica o biológica, sino también una contaminación térmica a la que por desgracia muchas veces se le concede poca importancia.

k) Contaminación por vertido de basuras

Es una contaminación muy ligada a las actividades humanas. Su máximo desarrollo se tiene cuando las basuras se entierran de forma inadecuada en excavaciones no impermeables o que entran en contacto con el nivel freático. Puede ser una contaminación orgánica, biológica e inorgánica a la vez, en ocasiones muy seria.

l) Contaminación natural

Esta contaminación se produce por las condiciones y composiciones propias de los acuíferos. Un ejemplo son los acuíferos en el norte de Chile por su gran concentración de Arsénico y Cloruros debida a los minerales propios presentes en la zona. Se debe tener especial cuidado en la explotación de estos recursos, ya que en algunos casos podría provocar el aumento de estas concentraciones de acuerdo al tipo de explotación.

6.1.1.5 Puntos de extracción

Es importante conocer los puntos de extracción del sector en estudio y la magnitud de cada una de ellas debido a que es importante para realizar los balances hídricos de una cuenca y determinar la disponibilidad del recurso. Idealmente se debería tener la información de la habilitación de estos puntos de extracción con el objetivo de identificar el acuífero explotado.

6.1.1.6 Monitoreo

El monitoreo continuo es esencial para llevar el control integral de la disponibilidad del recurso y su calidad. Los puntos de muestreo deben estar acordes al programa de monitoreo definido según objetivos de control de la calidad del agua. El programa de monitoreo queda definido por:

- Parámetros a controlar: parámetros comunes y locales.
- Ubicación de los puntos de control: que aseguren representatividad.
- Frecuencia del monitoreo: que permitan seguimiento de variaciones.
- Protocolo de toma, transporte y análisis de las muestras: de acuerdo a normativas vigentes.

6.1.2 Educación

El interés por la educación ambiental nace de la necesidad de encontrar respuestas formativas al problema ambiental. Lo que no puede resolver la política y las leyes vigentes fortalece la idea de educar a los ciudadanos para que cada uno participe activamente en la protección y cuidado del medio ambiente. Las medidas de protección educacionales deben estar orientadas

a instruir a la población sobre la importancia del recurso hídrico y su protección. Estas medidas se basan sobretodo en:

- Promover el uso racional del agua, su reciclaje y eficiencia. Y para ello estas ideas y conocimientos deben transmitirse tanto en las escuelas, como en los hogares a través de las empresas de servicios sanitarios, y a las demás industrias que hacen uso del recurso. Para estas últimas deberían realizarse talleres de capacitación, considerando los diversos niveles socio-económicos de las actividades industriales y productivas del lugar.
- Promover programas de prevención de la contaminación. Ello debe realizarse también a partir de talleres de capacitación de empresas en cuanto al manejo y depósito de sustancias potencialmente contaminantes, incluyendo el uso de sustancias alternativas menos nocivas para el medio ambiente.

A modo de ejemplo, en España existe el Centro Nacional de Educación Ambiental (CENEAM) que depende del Ministerio de Medio Ambiente, Rural y Marino, cuyas líneas de trabajo se centran en la recopilación y difusión de información especializada en educación ambiental; en el diseño y desarrollo de programas y materiales de sensibilización y participación ciudadana; en la organización y apoyo a reuniones, seminarios y otros foros de reflexión y debate; en el desarrollo y ejecución de acciones de formación ambiental; y en la cooperación con otras entidades públicas y privadas, tanto en el ámbito nacional como internacional, para la promoción y el desarrollo de la educación ambiental. Dentro de los programas educacionales que desarrolla este centro, y que podrían ser implementar en Chile a través del nuevo Ministerio del Medio Ambiente, se distinguen los siguientes:

- Programas de **enseñanza escolar** en los que se incluyen actividades didácticas (itinerarios ecológicos en los alrededores, actividades y/o talleres educativos) y sugerencias que cada docente puede incluir en su programación. En estos programas, entre otros, se da importancia a reconocer la diversidad de intereses y condicionantes que se plantean a la hora de aprovechar los recursos naturales.

- Programas en los **hogares** dirigidos a familias preocupadas por el impacto ambiental y social de sus decisiones y hábitos. Con esta iniciativa se desea acompañarlas en el proceso de cambio hacia una gestión más responsable de su hogar:
    - Promoviendo el autocontrol del consumo doméstico de agua y energía.
    - Introduciendo medidas y comportamientos ahorradores.
    - Ayudando a hacer una compra más ética y más ecológica.

  Los hogares participantes afrontan el reto de ahorrar en sus hogares una cantidad significativa de agua y energía.

- Para las **empresas,** el CENEAM reconoce la posibilidad de realizar capacitaciones en las siguientes opciones de formación:
    - Formación reglada: información sobre estudios impartidos en Universidades, así como Ciclos Formativos de Grado Superior y Grado Medio de Formación Profesional Específica.
    - Cursos y postgrados: información sobre cursos y másteres de temática ambiental impartidos por diferentes entidades, tanto presenciales, a distancia como por internet.
    - Formación CENEAM: información sobre los cursos desarrollados por el CENEAM y otros que se realizan por medio de convenios interinstitucionales.

6.1.3 Medidas políticas y económicas

Las *Medidas Políticas y Económicas* son aquellas que tienen relación directa con la elaboración de leyes, normas y directrices para la protección de los recursos hídricos, así como con el diseño de planes y programas estratégicos de manejo de los mismos. Algunos de estos puntos serán globales a nivel de país, mientras que otras medidas se diseñarán para cada cuenca en particular, considerando todos aquellos puntos evaluados dentro de las Medidas de Conocimiento e Investigación.

6.1.3.1 Incentivos económicos

El incentivo económico es una herramienta bastante útil para impulsar a las empresas a lograr objetivos ambientales. Esta forma de realizar gestión ambiental es de vital importancia cuando

normalizar un determinado umbral de algún parámetro específico tiene un costo económico muy alto para un determinado sector productivo. Sin embargo, existirán muchas empresas que están en condiciones de cumplir con el objetivo ambiental propuesto si es que se les otorga algún beneficio económico, ya que no están obligadas a realizarlo por alguna normativa.

Evidentemente esto no se puede aplicar a todos los parámetros relevantes en materia ambiental, ya que algunos de ellos deberán ser obligatoriamente normados por el grado de afectación que producen a su entorno. Sin embargo, existen muchos de ellos que sí se puede aplicar como por ejemplo crear un incentivo en la disminución del consumo de agua.

Existen muchos instrumentos posibles para realizar estos incentivos económicos, entre ellos podemos nombrar beneficios tributarios en sus distintas modalidades, cofinanciamientos a obras de mejora, etc. El incentivo siempre deberá estar orientado a la rentabilidad económica de realizar las mejoras que permitirán acceder al beneficio.

6.1.3.2 Políticas de autorregulación

Las políticas de autorregulación son las que se refieren a multas y sanciones que se cursan a las entidades que infringen normas estipuladas por el gobierno. Todas estas normas deben tener como objetivo proteger los recursos hídricos en todas sus formas. Un ejemplo de estas normas son el DS Nº46 que regula las descargas a aguas subterráneas, o el DS Nº90 que regula las descargas a cursos superficiales. Todas estas normas regulan los parámetros físico-químicos de las descargas de efluentes sobre cuerpos de aguas que pueden constituir fuentes de agua potable o riego, por lo tanto son de vital importancia.

Si bien en Chile existen normas relacionadas con la emisión de líquidos potencialmente contaminantes sobre cuerpos de agua superficiales y subterráneos, existen pocas normas que regulen o busquen un objetivo de calidad ambiental desde el punto de vista de la calidad físico-química del agua. Estas normas son denominadas como normas secundarias y en efecto, sólo existen para algunos ríos del país, pero son totalmente inexistentes para aguas subterráneas.

Contar con normas de calidad resulta prioritario como estrategia de protección de acuíferos, ya que desde el punto de vista de la institucionalidad ambiental en Chile sin esta herramienta

resulta muy complicado establecer o utilizar los instrumentos de gestión ambiental como planes de descontaminación y prevención.

Los planes de descontaminación tienen por objetivo recuperar los niveles, en este caso la calidad físico-química del acuífero, a los señalados en las normas. Los planes de prevención tienen por objetivo el evitar la superación de las normas de calidad ambiental. Basados en normas de calidad ambiental es posible entonces generar zonas saturadas o de latencia, tal como se ha hecho en varias ciudades de Chile, en el caso de la calidad del aire.

En el caso de Chile la elaboración de normas de calidad requerirá un esfuerzo importante, ya que, se deben generar normas a nivel de acuífero. Dada la geografía de Chile existen una gran cantidad de ambientes diferentes que hace que existan acuíferos con calidad físico-químicas totalmente distintas. Lamentablemente sin normas de calidad ambiental para el agua subterránea estas herramientas de gestión ambiental que dispone el estado son instrumentos inaplicables.

Un problema adicional es que para poder contar con una adecuada caracterización de la calidad físico-química de los acuíferos con el objetivo de definir objetivos de calidad, requiere poder levantar líneas bases que permitan observar la calidad natural del acuífero, ojalá sin actividad antrópica o con un efecto menor. Una visión general de los sistemas acuíferos del país indica que actualmente existe una cantidad importante de ellos con calidades similares a la natural. Sin embargo, cada día aumenta la presión por la extracción de estos recursos y aumentan los riesgos de que actividades potencialmente contaminantes produzcan cambios en la calidad natural que haga aún más complicada la tarea de elaborar normas de calidad.

En resumen, el problema de la falta de normas podría ser abordado en una primera etapa al menos realizando muestreos de calidad en los principales acuíferos de cada región, con el objetivo de contar con información de calidad físico-química de los acuíferos con baja o nula afectación. Posteriormente cuando se decida elaborar normas secundarias se contará con la información técnica necesaria. De otro modo se contará con información alterada y que no reflejará de manera adecuada los objetivos ambientales reales para cada acuífero.

Otro ejemplo de aspectos no regulados es el suelo para el cual no existe una normativa específica que reglamente su calidad o las disposiciones que se realizan sobre él. La

confección de una normativa específica resulta compleja, dado los estudios que requiere, sin embargo se deberían realizar esfuerzos por incorporar los aspectos no regulados realizando investigaciones propias y utilizando la experiencia extranjera.

Junto con lo anterior, se debería realizar un aumento de las multas por infracción a normas de emisión, actualmente en Chile las multas para muchas de las empresas son bajas y por lo tanto, resulta más rentable pagar las multas que incorporar sistemas de tratamiento de agua a sus operaciones. Las multas tienen como objetivo desincentivar el infringir las normas estipuladas.

6.1.3.3 Programas de ordenamiento territorial

La ordenación territorial puede abordarse desde distintas escalas, donde destacan a nivel de país y a nivel de cuenca o acuífero.

Uno de los principales problemas de Chile es la excesiva concentración de las actividades productivas en la zona central del país. Industrias, universidades, comercio y las principales aduanas se encuentran en torno a Santiago y sus alrededores. Esta agrupación de actividades provoca que los impactos en el medio ambiente, y en especial en las aguas, también se encuentren concentrados en la zona central del territorio nacional.

En este sentido hace falta un programa detallado de ordenación territorial en que se promueva la descentralización del país, es decir un traslado de la actividad económica desde la zona centro a regiones más apartadas. Esto permitirá aliviar la carga ambiental en la zona central de Chile y levantar económicamente las regiones.

El trabajo de descentralización debe abarcar todas las áreas de la actividad humana, desde las económicas hasta las culturales, de manera que sea un proceso con resultados permanentes y efectivos. No basta con trasladar algunas industrias grandes a regiones sin considerar que el traslado generará movimientos de recursos humanos, los cuales demandarán las condiciones sociales y culturales a las que están acostumbrados en las regiones céntricas.

Los instrumentos para lograr estos traslados deberán ser incentivos económicos que hagan rentable la inversión e instalación de los nuevos proyectos. Estas acciones pueden ser complementadas con un aumento en los costos tributarios de las actividades desarrolladas en la zona central, especialmente en los proyectos nuevos.

A nivel de cuenca o de acuífero el ordenamiento territorial debe considerar como primera fuente de información las medidas de conocimiento e investigación, ya que basados en el conocimiento del modelo de funcionamiento conceptual de un acuífero, es posible ordenar los usos de suelo de modo de minimizar el riesgo de afectación en sectores claves del acuífero. De este modo por ejemplo, se podría restringir la instalación de empresas potencialmente contaminantes en aquellos sectores del acuífero donde ingresa la recarga o bien cercanos a pozos de abastecimiento de agua potable o cercano a cursos de agua superficiales, o en aquellos sectores donde la vulnerabilidad del acuífero es alta.

6.1.3.4 Elaboración de planes de manejo integrales

Los planes de manejo son los que integran todas las áreas antes descritas y constituyen un esquema de acción unificado, liderado por una autoridad competente y difundidos a todas las entidades involucradas, ya sean públicas o privadas. El objetivo de estos planes de manejo será preservar la calidad y suministro del recurso hídrico.

Los planes deberán contemplar los campos de acción y las escalas de trabajo objetivo, ya sea a nivel regional y/o de sectores específicos cuando sea necesario. Las distintas escalas requerirán de una magnitud de recursos muy distinta en términos de fiscalización, estudios y administración del trabajo a realizar.

- Las escalas a nivel de sector estarán condicionadas por las actividades productivas que se encuentren de dicho sector y la afectación que estas tienen sobre el recurso. En esta escala será factible de realizar estudios de riesgo de afectación y contaminación y las posteriores medidas de remediación en caso de ser necesarias.
- Las escalas regionales se ocuparán de dar directrices generales en cuanto a ordenaciones territoriales, derechos de aprovechamiento del recurso y educación.

Otro punto importante que se deberá incorporar es el sustento económico que tengan las medidas adoptadas de acuerdo a la situación propia de cada una de las regiones. Cada región tiene capacidades distintas de respuesta a un plan de manejo ambiental de acuíferos y estará condicionada por el nivel de utilidades que genere el rubro productivo. Por esta razón, cada región debería incorporar distintos planes de manejo con objetivos acordes con la región a la que se aplica.

6.1.4 Medidas de acción directa

Las Medidas de Acción Directa son aquellas que se diseñan para un sector acuífero en particular y que buscan la protección, prevención o remediación de la calidad o cantidad del recurso. Se diseñan a partir del conocimiento de los puntos evaluados en las Medidas de Conocimiento e Investigación y para la aplicación de las Medidas Políticas y Económicas, sobretodo, de aquellos puntos que tienen que ver con el plan de manejo integral de la cuenca.

6.1.4.1 Zonificación del acuífero

Elaboración de la Zonificación del acuífero, técnica ampliamente difundida para proteger la calidad del agua subterránea que consiste en delimitar áreas de protección específicas según el funcionamiento del acuífero. La zonificación se considera necesaria para alcanzar un equilibrio entre el desarrollo económico y la protección de los acuíferos, que permite planificar, tomar decisiones, diseñar monitoreos, etc. Para ello se elabora un mapa donde se distingue principalmente la zona de recarga del acuífero y las zonas de protección. En las zonas de recarga se aplica la máxima restricción de actividades, ya que es donde se genera y define la calidad del recurso, mientras que en las zonas de protección se establecen perímetros de protección entorno los pozos de extracción, y donde quedarán definidas las diversas actividades que estarán prohibidas o que pueden desarrollarse sobre ellas.

En general se diseñan entre dos y tres áreas de protección alrededor de los pozos, cuyos perímetros se pueden definir a partir de múltiples parámetros, siendo el tiempo promedio de viaje del agua al pozo a través de la zona saturada (ZS) y los tiempos de degradación promedio de los contaminantes, los criterios normalmente utilizados. La Tabla 6.1 presenta un resumen con los perímetros de las zonas de protección propuestas en los distintos trabajos revisados.

Tabla 6.1. Perímetros de zonas de protección alrededor de pozos.

	FOSTER y GARDUÑO (2002)	ROBINSON y CHILTON (2007)	DEROUNE y DESSARGUES (1998)
Zonas de Protección	I) 10 años por la ZS	I) 50 metros ZS	I) 10 metros ZS
	II) 50 años (ZS)	II) 50 días ZS	IIa) +24 h o +25 m desde la zona I
			IIb) 50 días o 100 m o radio influencia del pozo
			III) Área de recarga

Además, en los mapas de zonificación puede indicarse las zonas de uso de tierras, de descarga de efluentes, de eliminación de basuras, etc.

En caso de acuíferos contaminados, también se ha logrado buenos resultados identificando los horizontes contaminados y utilizando una zonificación vertical, que permite establecer la profundidad suficiente de extracción de agua para que la calidad del agua subterránea sea adecuada.

6.1.4.2 Recargas artificiales

La recarga artificial de los acuíferos es una técnica que se está implementado cada vez más en distintos países, y que generalmente busca resolver problemas de volumen de agua subterránea, pero también mejorar la calidad del agua o impedir o frenar la intrusión salina de acuíferos costeros. En ocasiones ha sido utilizada para resolver problemas de subsidencias del terreno.

Consiste en la inyección directa de agua al acuífero a partir de pozos de inyección, o a partir de la infiltración inducida mediante zanjas, cuencas de detención, lagunas, etc. Las aguas que se utilizan pueden ser aguas subterráneas de otra área, aguas superficiales en períodos de mayores caudales e incluso aguas servidas con tratamientos primarios cuando el método de recarga es la infiltración a través del terreno.

En algunas ocasiones la recarga artificial se realiza considerando solamente los acuíferos como cuerpos almacenadores de agua, de modo que en períodos de abundancia de aguas

superficiales estas son "guardadas" en los acuíferos para ser bombeadas en los períodos de estiaje.

6.1.4.3 Tratamiento y descontaminación

De acuerdo al nivel de contaminación que se presente en un determinado lugar será necesario aplicar alguna tecnología de tratamiento para su remediación o descontaminación. El término tecnología de tratamiento implica cualquier operación unitaria o una serie de éstas que altere la composición de una sustancia peligrosa o contaminante a través de reacciones químicas, físicas o biológicas de manera que reduzcan la toxicidad, movilidad o volumen del material contaminado. Las tecnologías de remediación pueden clasificarse sobre la base de los siguientes principios:

- Estrategia de remediación: existen tres tipos principalmente, i) destruir o modificar los contaminantes, ii) extraer los contaminantes del suelo, o bien iii) aislarlos o inmovilizarlos por métodos físicos o químicos.
- Lugar en que se realiza el proceso de remediación: tratar el suelo sin tener que ser removido (denominadas *In Situ*) o bien excavar y remover el suelo (llamadas *Ex Situ*). La Tabla 6.2 presenta una comparación entre ambos tipos de tecnologías.
- Tipo de tratamiento: se basa en el principio que se utiliza y básicamente son tres, i) el de tipo biológico (utiliza las actividades metabólicas de los microorganismos para degradar o transformar los contaminantes); los fisicoquímicos (utilizan las propiedades físicas o químicas de los contaminantes) y los térmicos (que utilizan calor para incrementar la volatilización los contaminantes). La Tabla 6.3 presenta las ventajas y desventajas de las tecnologías mencionadas.

Tabla 6.2: Ventajas y desventajas de las tecnologías de remediación, según lugar.

	In Situ	*Ex Situ*
Ventajas	Permiten tratar el suelo sin necesidad de excavar ni transportar. Potencial disminución de costos.	Menor tiempo de tratamiento. Más seguros en cuanto a uniformidad: homogenizar y muestrear periódicamente.
Desventajas	Mayores tiempos de tratamiento. Pueden ser inseguros en cuanto a uniformidad: heterogeneidad en las características del suelo. Dificultad para verificar la eficacia del proceso.	Necesidad de excavar el suelo. Aumento de costos e ingeniería para equipos. Debe considerarse la manipulación del material y la posible exposición al contaminante.

Tabla 6.3: Ventajas y desventajas de las tecnologías de remediación, según tipo.

	Ventajas	Desventajas
Biológicos	Bajos costos. Son tecnologías más benéficas para el ambiente. Los contaminantes generalmente son destruidos. Se requiere un mínimo o ningún tratamiento posterior. Generan pocos residuos.	Es necesario verificar la toxicidad de intermediarios y/o productos. No pueden emplearse si el tipo de suelo no favorece el crecimiento microbiano. Sólo para la aplicación en contaminantes que sean biodegradables.
Fisicoquímicos	Son efectivos en cuanto a costos. Pueden realizarse en períodos cortos. El equipo es accesible y no se necesita de mucha energía ni ingeniería.	Los residuos generados por técnicas de separación deben tratarse o disponerse: aumento en costos y necesidad de permisos. Los fluidos de extracción pueden aumentar la movilidad de los contaminantes: necesidad de sistemas de recuperación.
Térmicos	Permite tiempos rápidos de limpieza.	Es el grupo de tratamientos más costoso, ya que los costos aumentan en función del empleo de energía y de equipos intensivos en mano de obra.

6.2 Análisis de aplicabilidad de instrumentos de protección en sectores de estudio

Anteriormente se presentó un conjunto de instrumentos de gestión que abarcan diversos campos de manera de abordar integralmente la protección de acuíferos. Los diversos instrumentos antes individualizados están divididos en cuatro:

- Medidas de conocimiento e investigación.
- Medidas educacionales.
- Medidas políticas y económicas.
- Medidas de acción directa.

A continuación se muestra el ejercicio de aplicar la primera parte de estas medidas, es decir de **conocimiento e investigación.** Aquí corresponde recopilar toda la información disponible y relevante respecto del acuífero en estudio. Posteriormente se realizará una discusión sobre la aplicabilidad de estas medidas y la repercusión que tendrán en la restantes que se aplican después de realizar el levantamiento de la información existente.

Se debe tener en cuenta que este constituye sólo un ejercicio elaborado con la información disponible. En el desarrollo de cada una de las aplicaciones se realizarán recomendaciones cuando exista información faltante sobre las posibles fuentes o el levantamiento que se deba realizar.

6.2.1 Aproximación a medidas de conocimiento e investigación en sectores acuífero estudiados

Los sectores acuíferos utilizados fueron El Loa, Los Choros y Aconcagua, pues fue donde se aplicó la Metodología de Diagnóstico y Clasificación de Acuíferos. Los antecedentes generales presentados corresponden a información recopilada en el transcurso del proyecto, en tanto que los antecedentes para la aplicación se obtuvieron de bases de datos en información proporcionada por la DGA. La información se presenta en forma de láminas en las que se integró la mayor cantidad de información posible en la menor cantidad de figuras de manera de poder visualizar de mejor manera la situación general del sector acuífero.

6.2.1.1 Sector acuífero El Loa

Antecedentes generales

El sector acuífero El Loa está ubicado en la II Región de Antofagasta, al interior de la cuenca del Río Loa y posee un comportamiento exorreico. Los escurrimientos principales son el río Loa, Quebrada Llalqui y Quebrada León. El acuífero posee un área de 7.950 km^2 y se extiende desde el valle central hasta la Cordillera de los Andes. No existen resoluciones de la DGA que declaren este sector acuífero como Área de Protección.

La hidrogeología del sector acuífero la componen depósitos no consolidados, con rocas volcánicas fracturadas y rocas carbonatadas. Tipo acuífero: libre y confinado en Calama y Llalqui. La productividad al centro del sector acuífero es clasificada como muy elevada con valores mayores a 10 $m^3/h/m$, sin mayor información en las zonas aledañas.

El uso de suelo predominante esta dado por el sector minero y el sector agrícola. El mayor número de solicitudes de aprovechamiento del recurso hídrico las realiza el sector Minero y en segundo lugar para Riego.

Antecedentes de aplicación

Se realizó una recopilación breve de antecedentes con los que se puede tener una idea general de la información que se encuentra disponible y la que se debería levantar para poder realizar una gestión apropiada de protección de acuíferos. La principal fuente fue el estudio "Diagnóstico y Clasificación de los Cursos y Cuerpos de Agua Según Objetivo de Calidad. Cuenca del Río Loa", elaborado por la DGA (2004) en el que aparece una recopilación de información con respecto a los siguientes:

- Hidrología, geología e hidrogeología.
- Uso de suelo: agrícola, industrial y urbano.
- Datos de descargas a cursos de agua: industriales y domiciliarios.
- Datos de calidad de las aguas.

Junto con lo anterior, se utilizaron bases de datos proporcionadas por la DGA en las que se incluyen los derechos otorgados en el sector, que contienen la ubicación, caudal y tipo de derecho.

Finalmente se utilizó el mapa de índice de calidad General elaborado mediante la aplicación de la metodología, presentado en Capítulo 3 del presente informe. Este mapa clasifica espacialmente la aptitud química del acuífero considerando los parámetros relevantes generales y locales, de acuerdo a las características propias del sector. Se debe recordar que para el sector acuífero el Loa no existían datos suficientes como para desarrollar la metodología en la totalidad del sector y sólo se realizó en áreas en que fue posible realizar la interpolación necesaria para determinar los índices.

La Figura 6.1 reúne toda la información recopilada en los estudios y bases de datos proporcionadas. En ella se puede ver la directa relación que tiene cada uno de los ítems presentados. Al observar la figura se puede señalar lo siguiente:

- En primer lugar se debe revisar la definición del área sector acuífero, que de acuerdo a la información entregada por la DGA, se realiza tomando en cuenta variados factores. Sin embargo, no existe un criterio único de definición del área denominada "sector acuífero", por lo que se debiese implementar un criterio único para su determinación que considere todas las variables posibles y tome en cuenta las grandes diferencias que puedan existir entre un acuífero y otro. Un criterio para definir estas áreas podría considerar los límites hidrogeológicos, ya que se tomaría en cuenta las barreras geológicas naturales que limitan hidráulicamente un determinado sistema, considerando como única entrada las precipitaciones del sector en cualquiera de sus formas. En el caso del Loa existen cuencas en la parte superior que realizan aportes al sector acuífero, sin embargo estas cuencas no se incluyen en el área individualizada.
- Existe una cantidad importante de derechos de aprovechamiento sin información acerca de su uso. Se deben determinar con exactitud los derechos que corresponden a extracciones de aguas subterráneas destinadas a agua potable, ya que éstas son las que requerirán una calidad mayor.

- Existen derechos de aprovechamiento para uso minero que no están asociados a actividad minera o alguna generación de residuos de este rubro. Por lo que se debería realizar un levantamiento acucioso de las mineras presentes en el sector ya que es la principal actividad productiva.
- El resultado de la metodología no comprende toda el área del sector acuífero, sin embargo abarca casi la totalidad de la zona de extracciones en las tres áreas que se presentan. Los valores encontrados en las 3 áreas son en su mayoría desde Regular a Intratable debido a las altas concentraciones de cloruros y arsénico.
- Junto con lo anterior, se distingue la necesidad de realizar una ampliación de la red de monitoreo de manera de generar información para aplicar la evaluación de índice de calidad al sector acuífero completo, o por lo menos a las áreas de interés.
- Para este sector aún no existe un estudio completo de vulnerabilidad de acuíferos por lo que no es posible incorporarlo. Sin embargo, cuando se disponga de esta información se podrá contar con un mayor conocimiento de la fragilidad de las distintas zonas a ser afectadas por contaminaciones de origen antrópico.
- El uso de suelo indica que existe un incipiente actividad agrícola en los alrededores de Calama y el resto son zonas sin vegetación o praderas naturales en la parte alta de la cuenca.

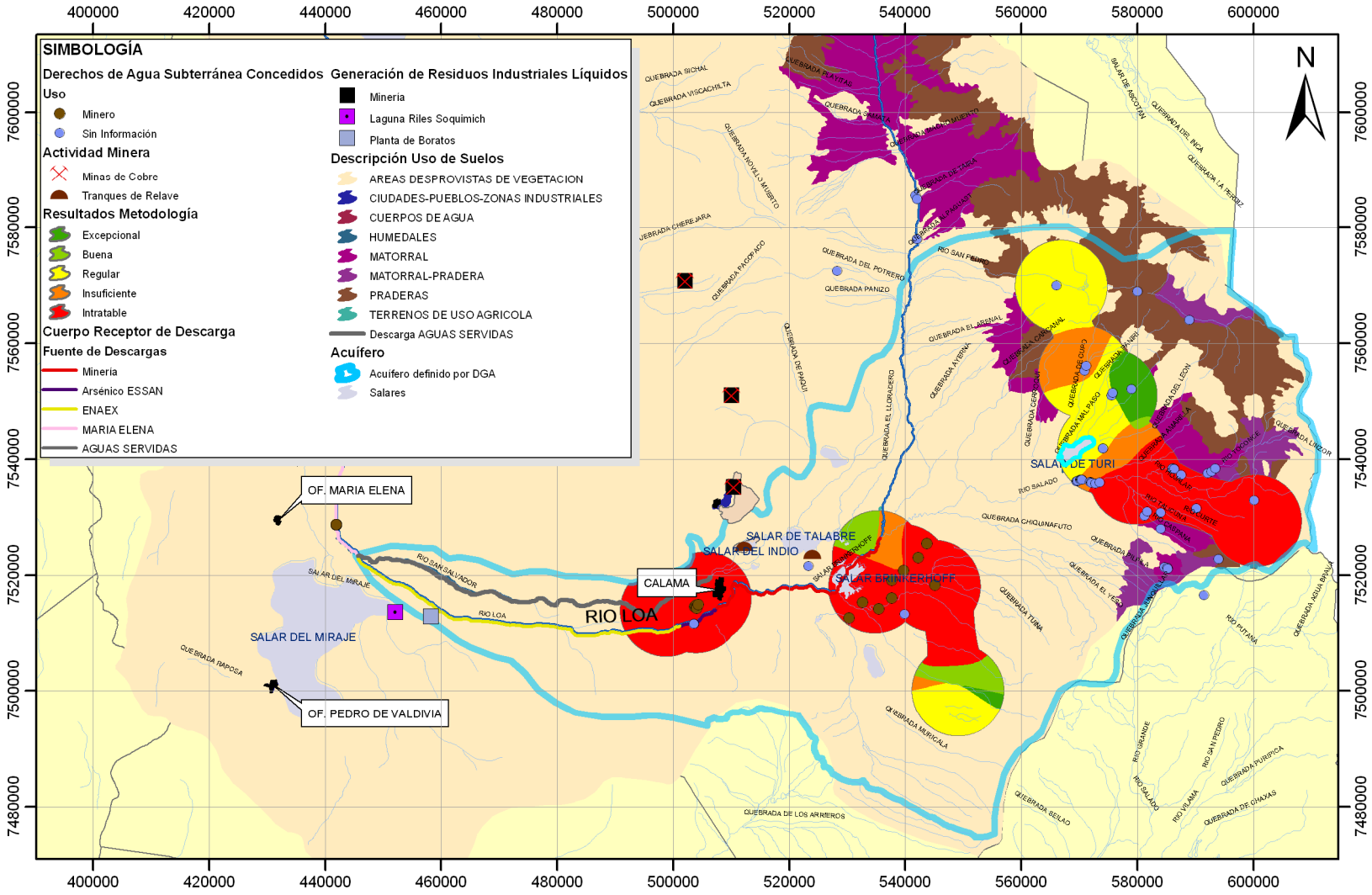


Figura 6.1: Captaciones subterráneas y fuentes potenciales de contaminación sector acuífero El Loa.

6.2.1.2 Sector acuífero Los Choros

Antecedentes generales

El sector acuífero Los Choros se ubica en la IV Región de Coquimbo, al interior de la cuenca Los Choros, de comportamiento exorreico. Los principales cauces son Quebrada El Pelicano, Quebrada Los Pedernales y Quebrada Los Choros. Este acuífero posee un área de 4.173 km^2 y se desarrolla en la depresión intermedia y zona costera. No existe ninguna resolución emanada de la DGA que declare el sector acuífero Los Choros con limitación a la explotación de aguas subterráneas.

La hidrogeología del sector está compuesta por rocas sedimentarias y mixtas sedimento-volcánicas, además de encontrarse rocas plutónicas e hipabisales. El tipo de acuífero que se desarrolla es del tipo libre. La productividad en el sector centro del acuífero es del tipo elevada a media, con rangos entre 1 y 4 $m^3/h/m$, mientras que al oeste se considera como elevada, con rangos entre 4 y 10 $m^3/h/m$.

El uso de suelo predominante lo realiza el sector agrícola, mediante cultivos tales como olivos, duraznos, hortalizas, maíz y cítricos. La mayor cantidad de solicitudes para el aprovechamiento del recurso subterráneo corresponde al sector agrícola, para riego. Luego en segundo lugar aparece el uso de agua potable y finalmente minería.

Antecedentes de aplicación

Para este sector se dispone de escasa información acerca de las fuentes potenciales de contaminación como del uso de suelo. Sólo se tienen los derechos de aprovechamiento de tipo subterráneo para el sector proporcionados por la DGA y los mapas de vulnerabilidad realizados por el SERNAGEOMIN (método BGR).

El mapa de índice de calidad General se realizó sólo para el sector Playa Los Choros y Los Choros bajos de acuerdo a lo solicitado por la DGA en su interés de cuantificar los efectos de la intrusión salina para el sector específico. La Figura 6.2 reúne la información del mapa de índice de calidad y los derechos otorgados, en tanto que la Figura 6.3 se presenta la vulnerabilidad. De acuerdo a estas figuras se puede señalar lo siguiente:

- Se debe realizar un levantamiento de las actividades mineras e industriales dentro del sector, en conjunto con cualquier otra actividad que constituya una fuente potencial de contaminación. Posteriormente se podrá realizar una mejor gestión territorial considerando esta información.
- En la mayoría del área considerada para el cálculo del índice de calidad se obtienen valores de Índice Excepcional y Bueno, y sólo existe un área reducida en que se obtienen valores regulares producidos por presencia de Aluminio. La porción más reducida del área que presenta un valor de Índice Insuficiente se debe a la combinación de valores altos de cloruros y sólidos disueltos totales. El resultado de la metodología comprende un área reducida de la totalidad del sector, sin embargo constituye una primera aproximación a una zonificación del acuífero ya que al cruzar esta información con la de vulnerabilidad se podrían definir sectores de protección.
- Al igual que en el sector El Loa, se distingue la necesidad de realizar una ampliación de la red de monitoreo de manera de generar información para aplicar la evaluación de índice de calidad al sector acuífero completo, o por lo menos a las áreas de interés.
- En la Figura 6.3 se presenta la vulnerabilidad para el sector acuífero Los Choros. En ella se aprecia que las mayores vulnerabilidades se encuentran cercanas a la Quebrada los Choros y donde se concentran los derechos otorgados (Figura 6.2). También se aprecia que en el sector donde se aplicó la metodología de índice de calidad existen valores de vulnerabilidad altos.

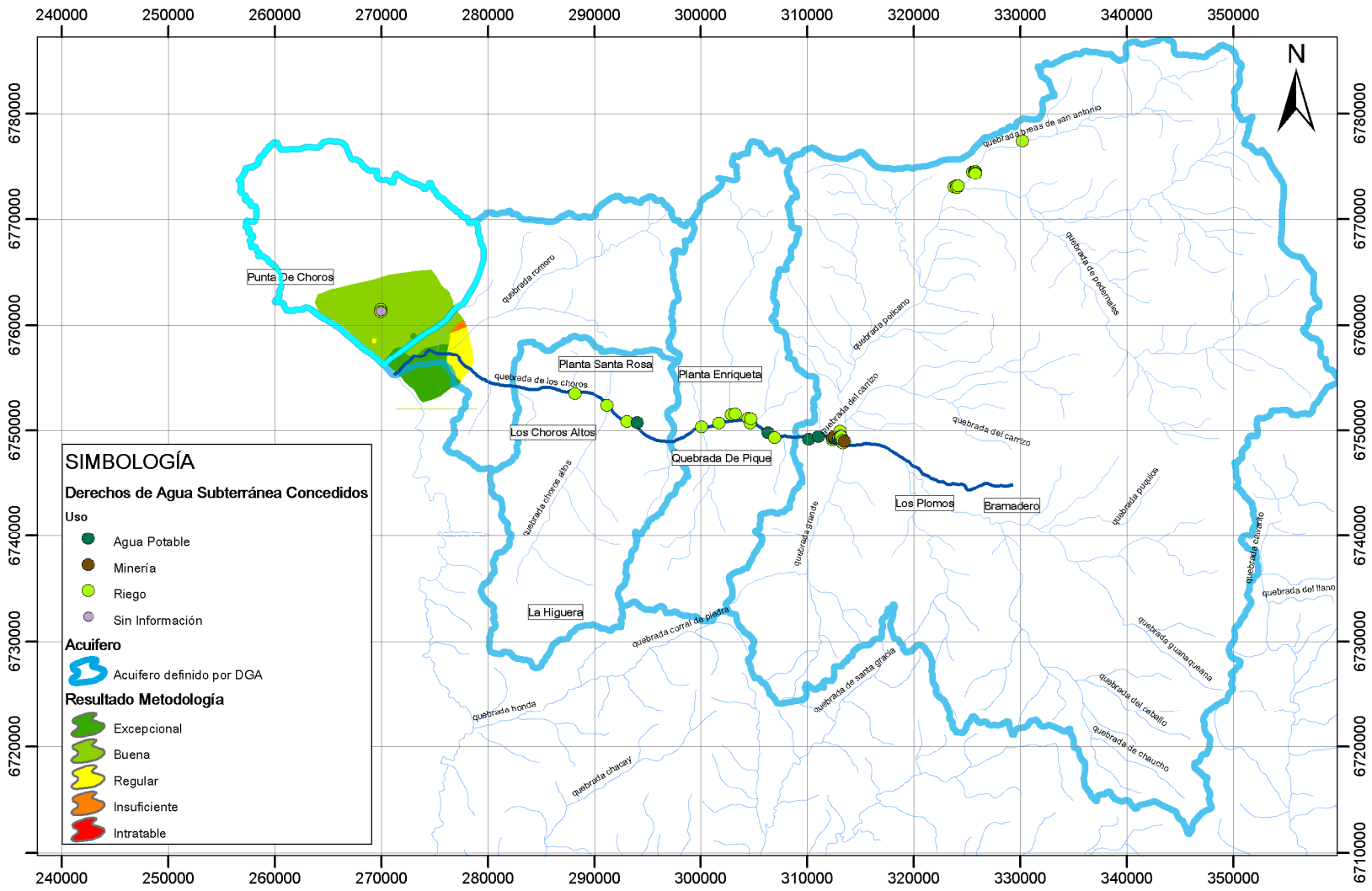


Figura 6.2: Captaciones subterráneas y mapa de índice de calidad sector acuífero Los Choros.

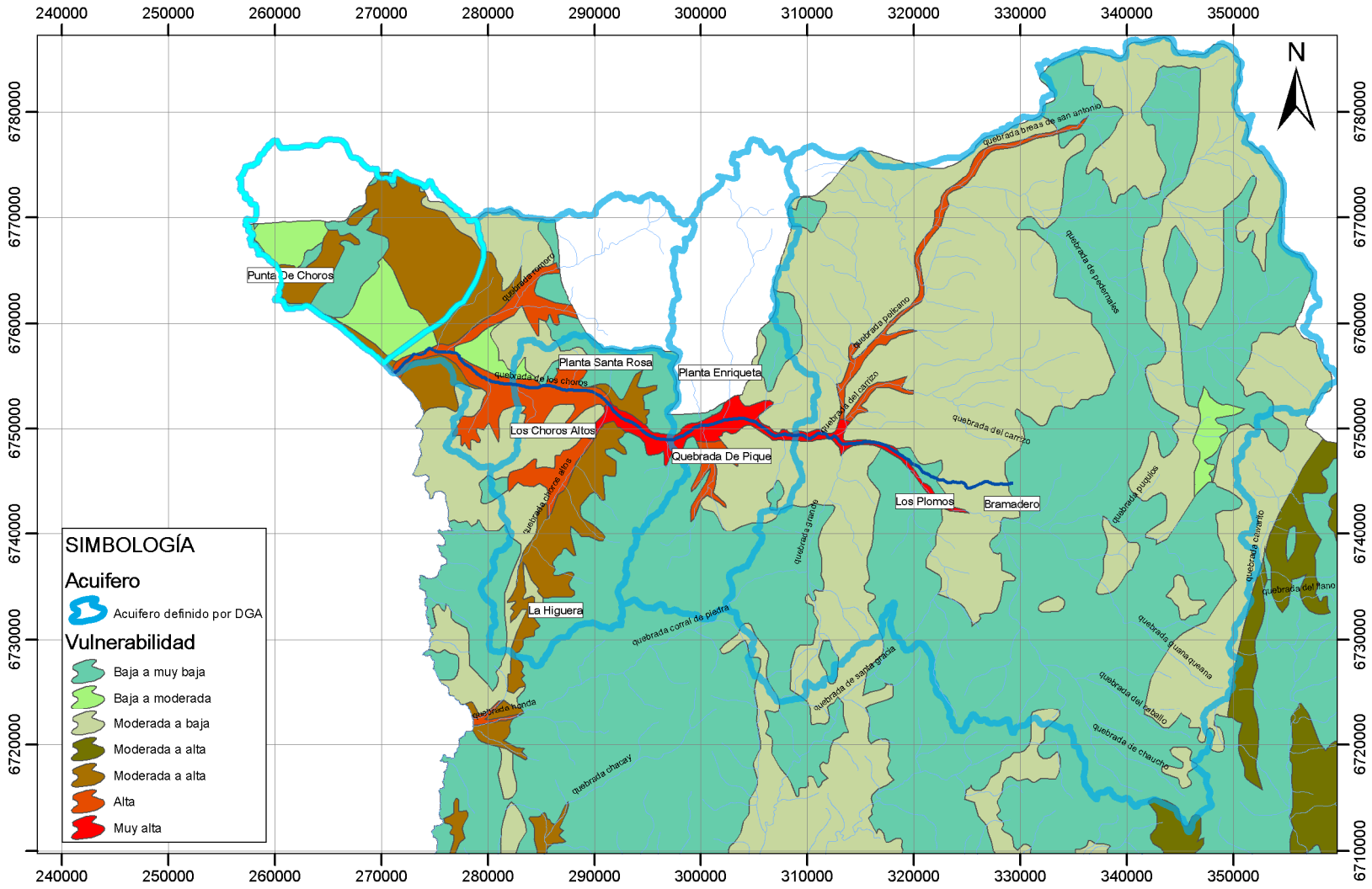


Figura 6.3: Vulnerabilidad sector acuífero Los Choros.

6.2.1.3 Sector acuífero Aconcagua

Antecedentes Generales

El sector acuífero del Río Aconcagua se ubica en la V Región de Valparaíso, en la cuenca del río Aconcagua de tipo exorreica. La red de drenaje superficial está constituida por los siguientes ríos principalmente: Estero Pocuro, Estero San Francisco, Río Putaendo, Estero de Catemu, Estero El Melón, y Río Aconcagua.

El área superficial del acuífero corresponde a 1.156 km^2 y se extiende a través de la zona costera, Cordillera de la Costa y valle central. No existe una resolución de la DGA que limite la explotación del recurso.

La hidrogeología de la zona se desarrolla en depósitos no consolidados, que poseen como relleno roca sedimentaria y mixta sedimento-volcánicas. En el sector de desembocadura, se pueden distinguir dos tipos de acuíferos: a nivel superficial y de profundidad variable se ubica el acuífero libre de buena capacidad de almacenamiento, el cual se recarga mediante el río Aconcagua, el segundo tipo se ubica a una mayor profundidad, el que se encuentra separado del anterior por una capa predominantemente arcillosa. Dada la baja permeabilidad del estrato arcilloso, se genera un confinamiento del acuífero inferior, el que presenta niveles piezométricos generalmente distintos al acuífero superficial. El acuífero confinado a pesar de tener un bajo almacenamiento, como es característico en acuíferos en presión, presenta buenos rendimientos, presentando transmisividad sobre 700 m^2/día en algunos pozos. A mayor profundidad, existirían rellenos más antiguos, que se encuentran más consolidados y cuyo porcentaje de finos puede resultar mayor. Ambos acuíferos presentan un ancho promedio de unos 1.500 m.

Las principales actividades económicas en esta cuenca son agricultura, minería e industria. Respecto a la actividad industrial, la minería metálica más importante de la cuenca corresponde a la explotación de cobre fino en sectores de Los Andes y Catemu. Por último la actividad industrial posee una amplia gama de campos, tales como alimentos, conserveras, cemento, y también, por la fabricación de productos químicos industriales y frigoríficos.

Antecedentes de Aplicación

Para el caso del sector acuífero Aconcagua, la principal fuente de información fue el estudio "Diagnóstico y Clasificación de los Cursos y Cuerpos de Agua Según Objetivo de Calidad. Cuenca del Río Aconcagua", elaborado por la DGA (2004) en el que aparece la misma recopilación de información que se tiene para El Loa. Junto con lo anterior, se utilizaron bases de datos proporcionadas por la DGA en los que se incluyen los derechos otorgados en el sector, que contienen la ubicación, caudal y tipo de derecho.

La Figura 6.4 presenta la información recopilada en los estudios y bases de datos proporcionadas con respecto a las captaciones subterráneas, fuentes potenciales de contaminación y los resultados de la metodología aplicada

En la Figura 6.5 se presenta el mapa de uso de suelos del sector acuífero y en la Figura 6.6 se presenta la vulnerabilidad. Con respecto a todas estas figuras se señala lo siguiente:

- En la Figura 6.4 se observa que existen 4 zonas en que el índice de calidad es Insuficiente lo que se produce por valores altos de manganeso en esas zonas. Los Índices Regular y Bueno son debidos al Hierro y a Nitratos, este último de origen antrópico. En tres de las cuatro áreas en que se presentan valores Insuficientes de índice de calidad se encuentran derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas destinados a agua potable. Junto con la anterior, existe una numerosa generación de residuos industriales líquidos (RILes) en estas mismas áreas. Existen varios puntos de actividad minera que en general se encuentra fuera de la definición del sector, no obstante se encuentran en cuencas aportantes al sector acuífero.
- De acuerdo al mapa de uso de suelos (Figura 6.5) se aprecia que la totalidad del sector acuífero corresponde a terrenos agrícolas. Existen superficies reducidas correspondientes a las áreas urbanas sin embargo corresponden a un porcentaje menor de la superficie total.
- En cuanto a la vulnerabilidad (Figura 6.6), se puede decir que la mayor parte de la superficie del sector presenta vulnerabilidades altas debidas a la baja profundidad del agua subterránea. Sólo en la parte alta de la cuenca, cercano a Los Andes, se presentan vulnerabilidades menores.

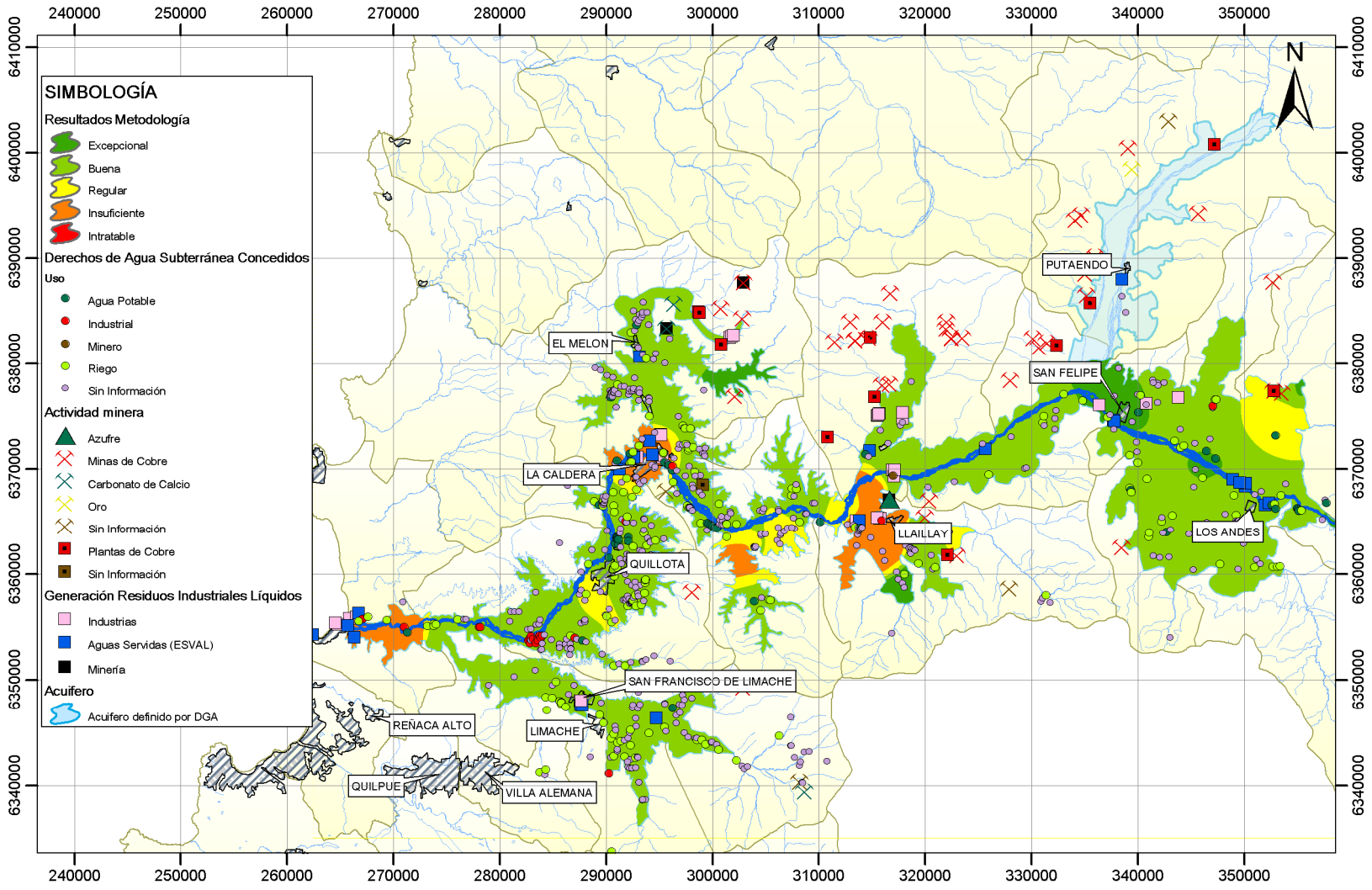


Figura 6.4: Captaciones subterráneas, fuentes potenciales de contaminación y resultados de la metodología en sector acuífero Aconcagua.

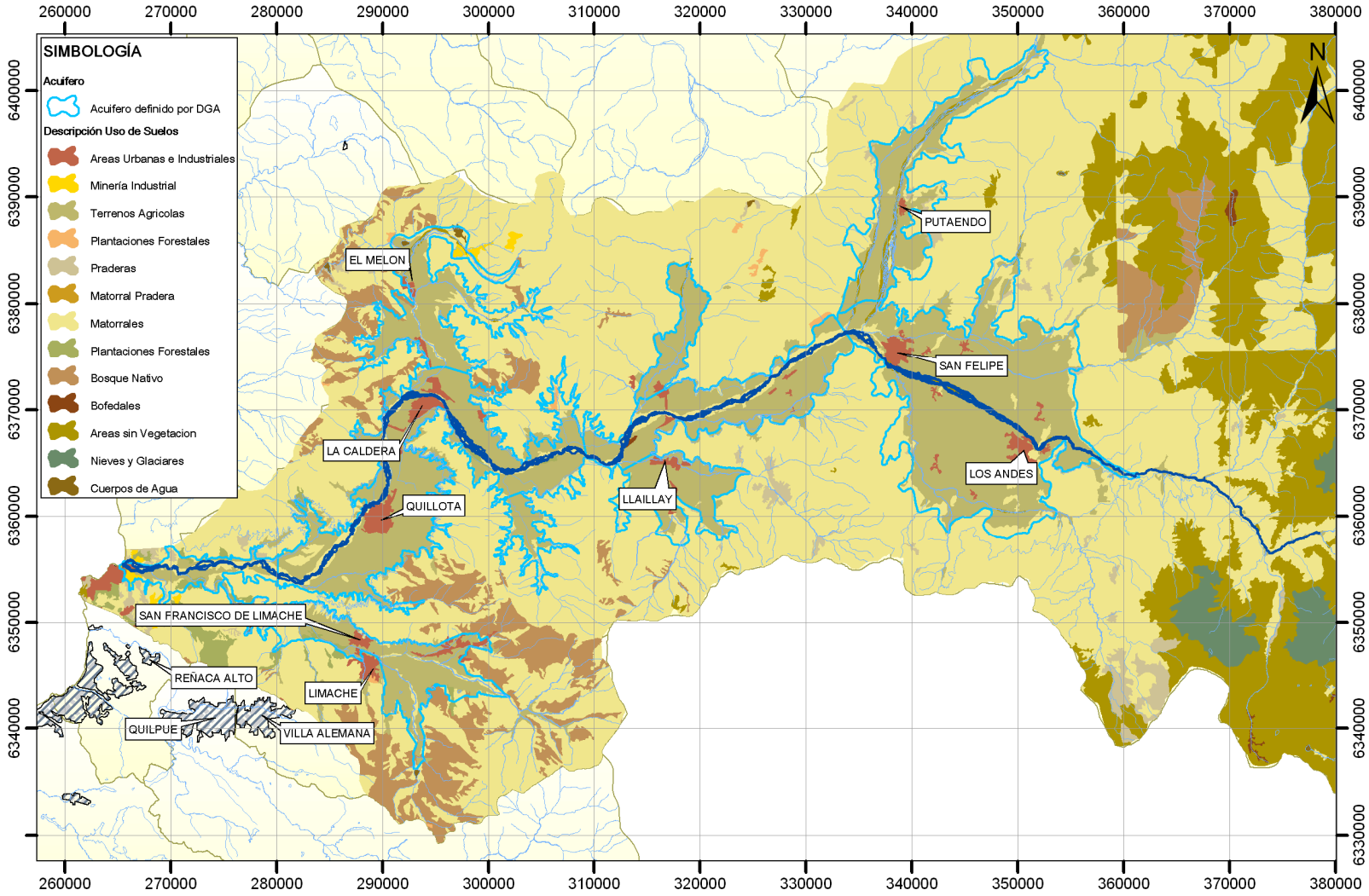


Figura 6.5: Uso de suelos sector acuífero Aconcagua.

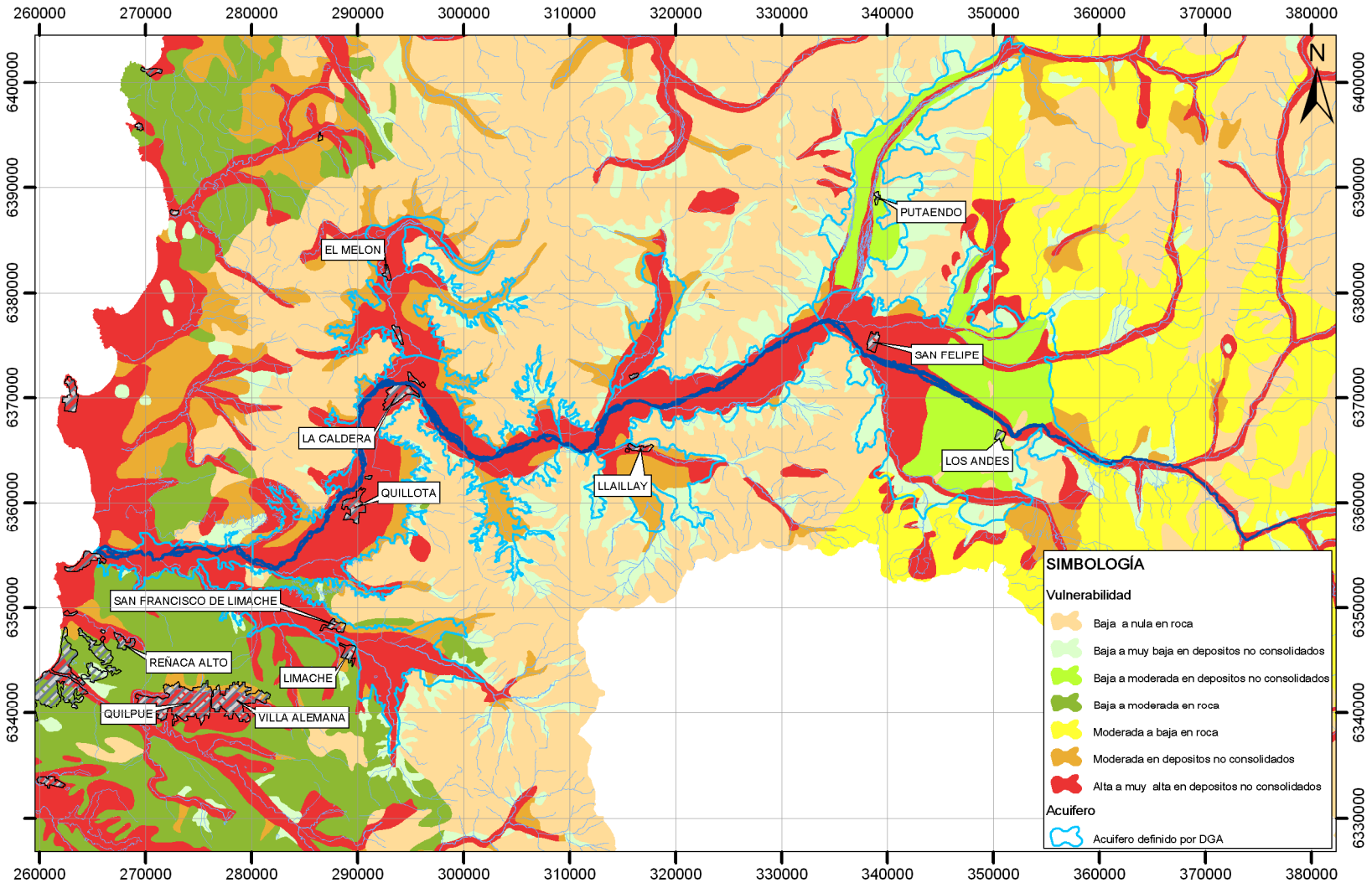


Figura 6.6: Vulnerabilidad sector acuífero Aconcagua.

6.2.2 Discusión sobre aplicabilidad de medidas de protección

De acuerdo al levantamiento de la información que se dispone en cada uno de los sectores acuíferos estudiados, en conjunto con la aplicación de los índices de calidad de cada uno de ellos, se pueden realizar diversas observaciones con respecto a la aplicabilidad de medidas de protección en los sectores acuíferos en general. Sin olvidar el esquema general de las medidas de protección, en que se incluyen medidas de conocimiento e investigación, educacionales, políticas y económicas, y de acción directa; se discutirán las que atañen al marco temático del proyecto por lo que se dejará fuera del análisis las medidas de protección educacionales en conjunto con las políticas y económicas.

6.2.2.1 Conocimiento e investigación

El contexto hidrogeológico en general se encuentra bastante definido en todos los acuíferos estudiados. En cada uno de ellos existen numerosos estudios referidos al tema que en conjunto pueden describir de buena manera y a una escala útil de análisis la geología general de los sectores, la hidrología y la hidráulica subterránea de los sistemas, aunque este último con mayor dificultad.

En cuanto a la vulnerabilidad, el sector acuífero el Loa carece de estudios de vulnerabilidad por lo que sería necesario disponer de ellos para completar la información necesaria para realizar una caracterización del sector óptima. Para los otros acuíferos no hubo mayor problema debido a que se disponía de la vulnerabilidad de los sectores completos. Se debe conocer en qué sectores acuíferos se dispone de mapas de vulnerabilidad y orientar los trabajos futuros a los sectores en que se tiene mayor interés.

La línea base está directamente relacionada al monitoreo que se efectúa dentro de las cuencas y tiene que ver con la densidad de puntos de monitoreo y su ubicación, frecuencia de medición y los parámetros que se miden. No se podrá realizar una buena línea base de calidad y disponibilidad de recursos si no se dispone de una red de monitoreo óptima. De todos estos puntos se hablará en profundidad en los capítulos posteriores.

Existe amplia información en cuanto a los derechos otorgados dentro de las cuencas, sin embargo esta información no se encuentra corroborada en cuanto a su utilización, es decir, no se sabe si es que el derecho concedido efectivamente se esté utilizando y cuál es el porcentaje

de utilización con respecto al caudal otorgado. Junto con lo anterior, en muchos casos no se encuentran bien definidos los derechos destinados a agua potable, los cuales deberían constituir una prioridad en cuanto a las medidas que se aplique dentro de un sector.

Finalmente se observó que no existe una base de datos centralizada que reúna las actividades industriales dentro de una zona en conjunto con las mineras. Los rubros productivos poseen una caracterización bien definida en cuanto a sus emisiones de contaminantes por lo que sería sencillo determinar espacialmente las potenciales afectaciones que podrían ocurrir disponiendo de esta base de datos.

6.2.2.2 Acción directa

Después de realizar las medidas de conocimiento e investigación se propone efectuar medidas de acción directa en el sector acuífero. Estas medidas buscan la protección, prevención o remediación de la calidad y disponibilidad del recurso. En los acuíferos estudiados se observan claras relaciones que pueden ser utilizadas para realizar una **zonificación** de subsectores. Esta zonificación serviría para individualizar y proteger zonas en que el sector acuífero se encuentra en un estado crítico de acuerdo a parámetros establecidos. De acuerdo a lo observado se pueden definir zonas de protección en distintos grados cuando se presente alguna de estas:

- Valores del índice de calidad Insuficientes o Intratables.
- Vulnerabilidad alta.
- Presencia de pozos de agua potable.
- Fuentes potenciales de afectación con contaminantes peligrosos.

La combinación de estas características determinaría el grado de protección que requiere la zona en cuanto a permisos de instalación de nuevas industrias, otorgación de derechos de aprovechamiento, descargas, etc.

Las medidas de acción directa correspondientes a remediación y a recargas artificiales corresponde a medidas de carácter más local que el análisis realizado. Para la realización de estas medidas se deberán realizar estudios locales de factibilidad y riesgo para determinar la aplicabilidad de cada una de ellas según corresponda.

7 PROPUESTA DE MONITOREO

Este capítulo presenta, para cada uno de los sectores acuíferos seleccionados, una propuesta de monitoreo, con la cual se pueda realizar un seguimiento efectivo de su calidad en el tiempo. Por lo tanto, el monitoreo debe permitir, en términos prácticos, una aplicación adecuada de la metodología de calidad de acuíferos planteada en este proyecto.

La propuesta de monitoreo se refiere principalmente a la ubicación de puntos de control, sin embargo también se mencionan recomendaciones para los otros tres aspectos esenciales: parámetros a controlar, frecuencia de monitoreo y protocolo de toma, transporte y análisis de las muestras.

En primer lugar se indica los criterios que debe cumplir el monitoreo, basados en bibliografía especializada, así como en la experiencia de este consultor. Luego, en base a los criterios planteados, se evalúa la actual red de monitoreo de calidad de aguas subterráneas con que cuenta la DGA, lo que permite apreciar sus deficiencias y la necesidad de definir una nueva red de monitoreo. A continuación se presenta brevemente los antecedentes disponibles de los sectores acuíferos seleccionados. Por último, y como consecuencia de lo anterior, se presenta una nueva red de monitoreo, así como detalles respecto a los parámetros que controlar, frecuencia de monitoreo y protocolos de muestreo, transporte y análisis.

7.1 Objetivos y criterios de diseño

El muestreo tiene por objetivo identificar la calidad química de un acuífero y, como se mencionó anteriormente, se requiere establecer ciertos criterios respecto a la ubicación de los puntos de control, así como de los parámetros que controlar, la frecuencia de muestreo y los protocolos de muestreo, transporte y análisis de muestras. A partir de la bibliografía consultada a lo largo de este proyecto, y la experiencia de este consultor, a continuación se presentan criterios para cada uno de los aspectos mencionados.

7.1.1 Ubicación y distribución

Es posible establecer recomendaciones respecto a la densidad de puntos de muestreo, considerando tanto la representatividad espacial como los impactos antrópicos reflejados en el grado de explotación del acuífero.

De acuerdo a DGA (2005), la densidad de puntos utilizada en estudios internacionales en acuíferos con intrusión salina (IGME, 2003) se ubica entre 5 y 10 km^2 por punto. Por otra parte, estudios pilotos en acuíferos (EUROWATERNET, 1998) indican que densidades de 25 km^2 y 100 km^2, resultan adecuadas en sitios impactados y no impactados, respectivamente.

Por otra parte, es posible clasificar la condición del acuífero en dos categorías según el grado de explotación de éste, sobreexplotada y sustentable, como se describe en la Tabla 7.1.

Tabla 7.1: Clasificación de condición del acuífero según grado de explotación.

Condición del Acuífero	Descripción
Sobreexplotada	Niveles piezométricos poseen una tendencia temporal sostenida a la disminución. Poseen limitaciones a la explotación según resoluciones de la DGA.
Sustentable	Niveles no han disminuido en el tiempo. Niveles muestran un comportamiento más o menos constante en el tiempo. No posee limitaciones a la explotación según resoluciones de la DGA.

A partir de lo anterior se plantea una clasificación de la densidad de puntos de muestreo, en óptima, regular y deficiente, según lo indicado en la Tabla 7.2. Por lo tanto, es deseable que una red de monitoreo cumpla con la condición óptima de densidad, según la condición del acuífero.

Tabla 7.2: Recomendación de densidad de monitoreo (km^2/punto) en acuíferos.

Condición del Acuífero		Óptima	Regular	Deficiente
Sin Intrusión Salina	Sobreexplotada	Menor a 25*	Entre 25 y 150	Mayor a 150
	Sustentable	Menor a 100*	Entre 100 y 200	Mayor a 200
Con Intrusión Salina	Sobreexplotada	Menor a 5**	Entre 5 y 15	Mayor a 15
	Sustentable	Menor a 10**	Entre 10 y 20	Mayor a 20

**: EUROWATERNET (1998); **: DGA (2005).*

Por otra parte, los puntos de control deben ser distribuidos convenientemente en el área de estudio de modo de permitir análisis espaciales de los datos, por ejemplo una interpolación adecuada, tal como lo plantea la metodología de clasificación de calidad de acuíferos planteada. Se clasificó la distribución espacial en: localizada, heterogénea y homogénea, según indica la Tabla 7.3. Por lo tanto es deseable que una red de monitoreo sea homogénea.

Tabla 7.3: Clasificación de distribución espacial de red de monitoreo en acuíferos.

Distribución espacial	Descripción de red de monitoreo
Localizado	Puntos de control concentrados en un área muy pequeña con respecto al total del área del acuífero
Heterogénea	Distribución no localizada y distribuida en diferentes densidades espacialmente.
Homogénea	Distribución con densidades más o menos constante en todo el espacio del acuífero

Considerando lo anteriormente expuesto, resulta deseable que una red de monitoreo posea una densidad óptima de puntos de control, de acuerdo al tipo de acuífero estudiado, y distribuido espacialmente en forma homogénea. Sin embargo, las recomendaciones no deben aplicarse ciegamente, sino que deben considerar el modelo conceptual del funcionamiento del agua subterránea en el acuífero (RENTIER, y otros, 2006), es decir tomar en consideración las complejidades del acuífero y sus características geológicas e hidrogeológicas

(EUROWATERNET, 1998). A continuación se menciona otros aspectos a considerar según RENTIER, y otros (2006):

- Flujo subterráneo y gradientes hidráulicos.
- Objetivos del muestreo.
- Variabilidad, natural o inducida, de los datos a medir.
- Existencia de fuentes contaminantes.
- Condiciones de accesibilidad y propiedad.
- Conocimiento y confiabilidad de equipamiento de pozos (habilitación, bomba).

Cabe destacar que el conocimiento de las características constructivas (profundidad, habilitación, bomba) de los pozos resulta muy importante, ya que permite conocer el origen de la muestra y el estrato que esta representa, además de definir las condiciones de muestreo. Más adelante en este informe (sección 7.4) se detallan aspectos constructivos que debe tener un punto de control de la calidad química de aguas subterráneas.

7.1.2 Parámetros de control

En el contexto de este estudio, el objetivo de la red de monitoreo, además de permitir caracterizar y monitorear la calidad físico-química del agua subterránea, debe ser capaz de entregar información relevante para la aplicación de la metodología presentada en este proyecto, por lo tanto los parámetros a controlar deben ser consistentes con ésta. Sin embargo, dichos parámetros tienen un enfoque químico, por lo que pueden ser complementados con otros parámetros de enfoque hidrogeológicos.

La Tabla 7.4 presenta los parámetros mínimos que se deben controlar, en donde se reconocen cuatro grupos. Los parámetros químicos del Grupo General y los Nitratos del Grupo Local, permiten definir la calidad de las aguas sin redundancia de información y constituyen una base de comparación entre distintos acuíferos del país. El resto de parámetros químicos del grupo Local son libres y responden a la necesidad de incorporar características locales de los acuíferos. La elección de estos parámetros libres puede hacerse a partir de las recomendaciones mencionadas en la metodología al respecto. Los parámetros del grupo Adicional, son incluidos para poder describir de forma químicamente adecuada cada muestra

de agua, ya que es posible establecer por ejemplo su balance iónico o su naturaleza corrosiva. Por último, y como medida de la cantidad de recursos hídricos, se incorpora, como parámetro mínimo de tipo hidrogeológico, el nivel freático.

Tabla 7.4: Parámetros mínimos a medir.

Tipo	Grupo	Descripción de red de monitoreo
Químico	General	Cloruro, Sulfatos, Calcio (disuelto), Sodio (disuelto), Magnesio (disuelto), Sólidos Disueltos Totales
	Local	Nitratos y otros parámetros locales según indicaciones capítulo 4.4
	Adicional	Carbonatos, Bicarbonatos, Potasio (disuelto), pH, Conductividad eléctrica, Temperatura, Oxígeno disuelto
Hidrogeológicos		Nivel freático

7.1.3 Frecuencia de muestreo

La frecuencia de muestreo dependerá, entre otras cosas, del objetivo del muestreo, de los recursos económicos disponibles y de las características del acuífero. Si las condiciones político-administrativas-económicas lo permiten, es recomendable establecer un programa de monitoreo que asegure recursos económicos para el muestreo, análisis y recopilación de la información.

La norma chilena NCh411/1 Of.96 (INN, 1998) establece directrices para programas de monitoreo respecto a objetivos, requisitos y frecuencias de muestreo, sin embargo no establecen períodos definidos para aguas subterráneas. Organismos europeos especializados (EUROWATERNET, 1998) proponen establecer programas de monitoreo cíclicos de 5 años. En el primer año se realiza un muestreo más frecuente (por ejemplo cada 3 meses), para establecer una caracterización y/o reconocer comportamientos estacionales. En los años siguientes, la frecuencia puede disminuir (por ejemplo a 2 veces al año), en vista de los resultados y para reconocer valores máximos y mínimos. Luego del quinto año, es necesario replantear el programa de monitoreo en vista de los antecedentes obtenidos en años anteriores. La frecuencia debe ser mayor en sistemas más variables.

En ausencia de un programa de monitoreo formal y estructurado, la Tabla 7.5 presenta recomendaciones de la frecuencia de muestreo para acuíferos en distintas condiciones.

Tabla 7.5: Frecuencia mínima de monitoreo según condiciones de acuífero.

Condiciones de acuífero	Frecuencia mínima recomendada
Libres y/o Muy vulnerables y/o Alta actividad antrópica	Cada 6 meses
Confinados y/o Poco vulnerables y/o Baja actividad antrópica	Cada 12 meses

7.1.4 Protocolo de muestreo, transporte y análisis de muestras

A partir de los puntos de muestreo se deben obtener datos representativos de la calidad química del agua subterránea. Por lo tanto, resulta esencial seguir protocolos adecuados de muestreo, transporte y análisis de muestras que reduzcan al mínimo su contaminación, eviten alteraciones significativas a su calidad química y permitan obtener valores confiables de sus propiedades.

La norma chilena NCh411.Of98 (INN, 1998), en sus partes 2 y 3, establece directrices para realizar adecuadamente cada una de las tareas mencionadas. A continuación, la Tabla 7.6 presenta un resumen de las principales recomendaciones prácticas.

Tabla 7.6: Recomendaciones para toma, transporte y análisis de muestras.

Muestreo	Transporte	Análisis
Evitar introducir algún tipo de contaminante adicional al evaluado.	Usar envases adecuados, idealmente entregados por laboratorio.	Escoger un laboratorio con respaldo institucional y acreditación, e idealmente cercano al punto de muestreo
Extraer toda el agua existente en pozo antes de muestrear. Dejar corriendo agua por lo menos 5 min. Extraer muestra lentamente.	Usar preservantes adecuados, según indicación de laboratorio.	Exigir cumplimiento de estándares de calidad
Equipo de toma de muestra (mangueras, bombas y recipientes) debe estar limpio y libre de elementos extraños adheridos.	Refrigerar muestras, pero evitando congelamiento.	
Enjuagar todos los recipientes con agua a muestrear (al menos tres veces).	Trasladar dentro de 24 horas desde muestreo.	
Homogenizar contenido colectado antes de extraer muestra.	Rotular adecuadamente los envases, evitando el deterioro de etiquetas.	
Medir parámetros sensibles en terreno (temperatura, oxígeno disuelto, pH, turbidez).		
Registrar características de punto de control y condiciones de muestreo (método, equipos, profundidad, etc.)		

Por otra parte, durante el muestreo adicional realizado en sectores acuíferos de Aconcagua y Los Choros se estableció un protocolo, el cual se detalla a continuación:

- Descripción punto de muestreo.
- Registrar nivel estático.
- Renovación de agua del pozo o noria (idealmente 3 veces).
- Revisión y rotulación de envases.
- Enjuague (3 veces) y relleno de envases sin preservantes.
- Medición de parámetros *In Situ*.
- Almacenamiento refrigerado de envases para traslado.
- Registro fotográfico del pozo y su entorno.
- Traslado refrigerado de las muestras al laboratorio (menos de 24 horas).
- Confección de Ficha de terreno con datos relevantes.

7.2 Revisión de la actual red de monitoreo de aguas subterráneas de la DGA

A partir de los criterios de diseño de una red de monitoreo, especialmente respecto a la densidad de pozos y su distribución espacial, es posible evaluar la actual Red de Calidad con que cuenta la DGA en cada uno de los sectores acuíferos seleccionados.

7.2.1 Sector acuífero El Loa

Tal como muestra la Figura 7.1, el sector acuífero de El Loa tiene una extensión de 7.950 km^2, y sólo existe un punto de control, por lo que su densidad es 7.950 km^2/punto. Este acuífero no está sometido a intrusión salina, y su nivel de calidad tiene origen principalmente natural, y se clasifica como sustentable debido a la tendencia en sus niveles freáticos y, a que a la fecha, no presenta limitaciones a la explotación. Por lo tanto, la densidad de puntos de monitoreo es deficiente y con distribución heterogénea, de modo que es requisito aumentar los puntos de muestreo y asegurar su representatividad espacial.

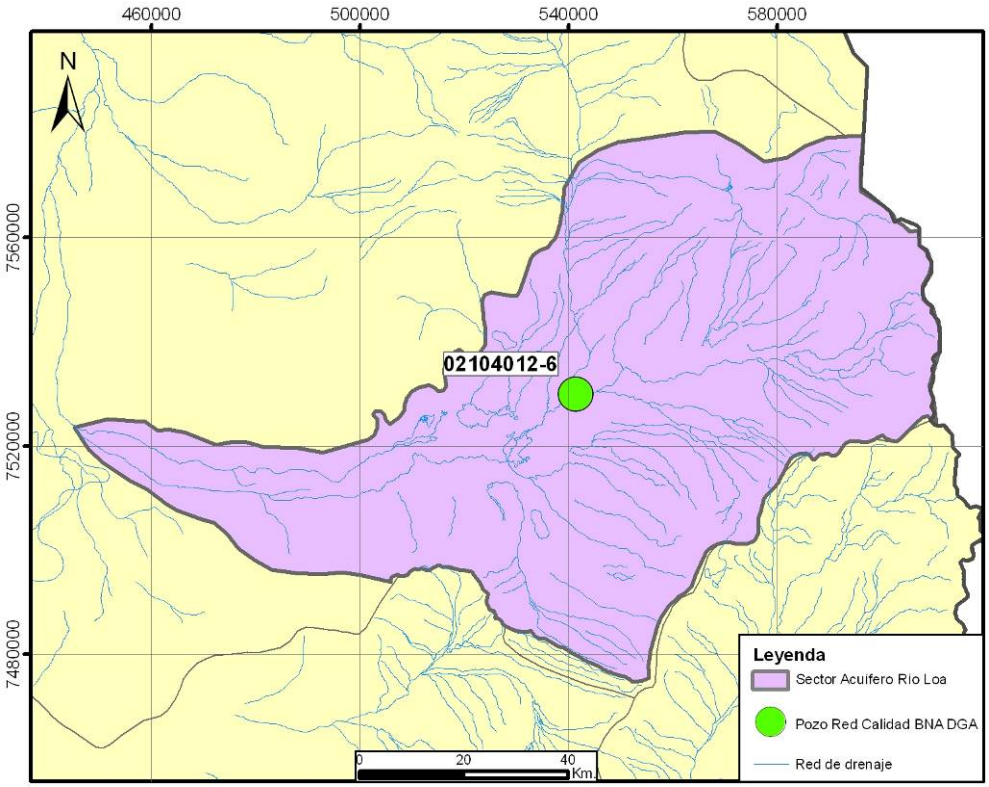


Figura 7.1: Red de monitoreo de calidad de agua subterránea DGA en sector acuífero El Loa.

7.2.2 Sector acuífero Los Choros

La Figura 7.2 muestra la situación del sector acuífero de Los Choros que fue estudiado. Su extensión es 275 km^2, y sólo existe un punto de control, por lo que su densidad es 275 km^2/punto. Este acuífero presentó claros efectos de intrusión salina. Además se clasifica como sustentable, debido al comportamiento histórico del nivel freático, y a que a la fecha y por parte de la DGA, no posee medidas que limiten la explotación. En definitiva, la densidad de puntos de monitoreo es deficiente y con distribución heterogénea, por lo que resulta imperioso mejorar la distribución espacial y ampliar el número de puntos de control.

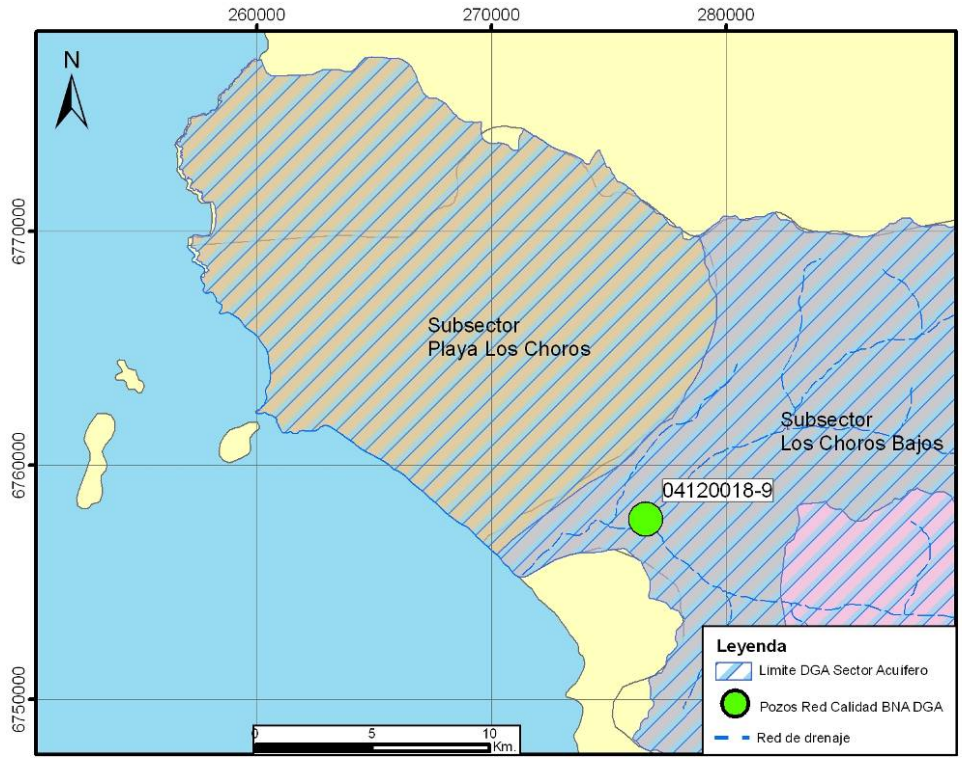


Figura 7.2: Red de monitoreo de calidad de agua subterránea DGA en sector acuífero Los Choros (sector costero).

7.2.3 Sector acuífero Aconcagua

Tal como se aprecia en la Figura 7.3, en este sector acuífero, con extensión de 1.186 km^2, sólo existen dos puntos de control, de modo que su densidad es 593 km^2/punto. Por otra parte, de la aplicación de la metodología se obtiene que el acuífero no presenta indicios de intrusión salina y tiene clara afectación antrópica. Además, se clasifica como sustentable, debido al comportamiento histórico del nivel freático y por no poseer limitaciones a la explotación, según la DGA. En definitiva, la densidad de puntos de monitoreo es deficiente y con distribución heterogénea, por lo que es necesario ampliar el número de puntos de control.

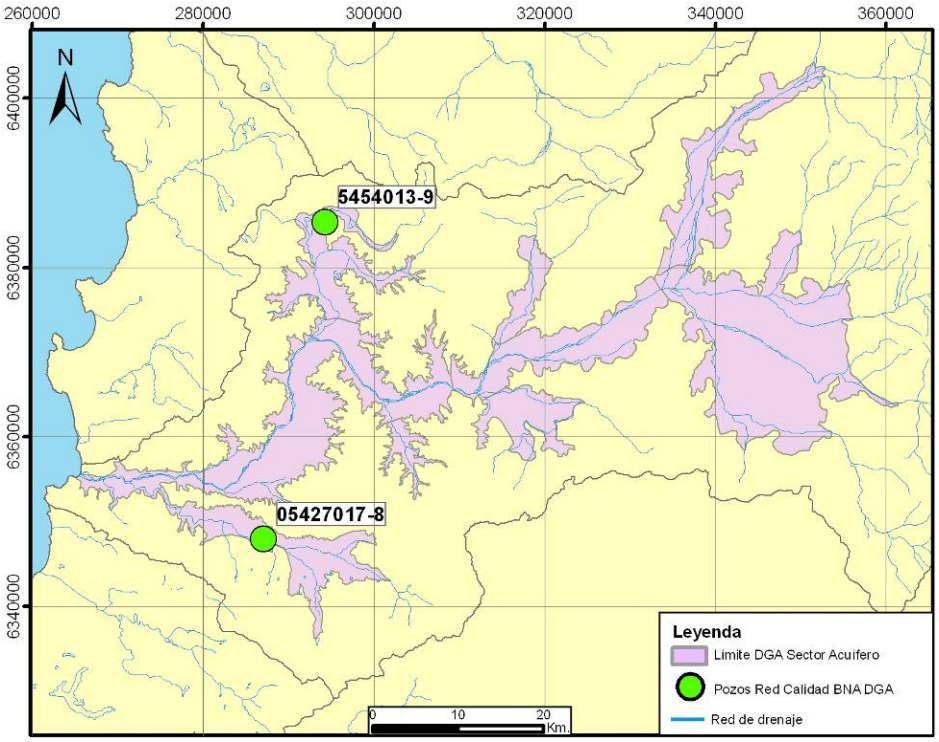


Figura 7.3: Red de monitoreo de calidad de agua subterránea DGA en sector acuífero Aconcagua.

7.3 Propuesta de distribución, frecuencia y parámetros

A continuación se presenta para cada sector acuífero, mediante fichas (Figura 7.4, Figura 7.5 y Figura 7.6), una propuesta de red de muestreo que cumple con los objetivos indicados, a partir de la aplicación de los criterios de diseño, junto a los antecedentes disponibles y a la experiencia obtenida durante las campañas de muestreo adicional realizadas durante el proyecto. Adjunto a este informe se presentan mapas (Nº4, Nº5 y Nº6) con las fichas mencionadas.

La ubicación propuesta se basa en la ubicación de pozos existentes (muestreados, red de calidad de la DGA y red de pozos con derechos de aguas DGA) de modo de reducir la necesidad de construir nuevos. En el caso que la ubicación propuesta no era un pozo de la red de calidad o ya muestreado en este proyecto, se consideró adecuado establecer un área en la cual resulta necesario definir un pozo existente o bien la construcción de uno.

Por otra parte, al tomar en cuenta los criterios de densidad y distribución espacial planteados, fue necesario establecer áreas principales y secundarias, específicamente en Los Choros y en El Loa, con la finalidad de enfocarse en zonas de mayor interés privilegiando mayor densidad de puntos de control en ellas. De esta forma fue posible reducir el número de puntos de control total, pero obteniendo una distribución homogénea y una densidad óptima o regular en todos los acuíferos. Las coordenadas geográficas de cada punto se presentan en los Anexos (Capítulo 7) en base al número de cada punto de monitoreo.

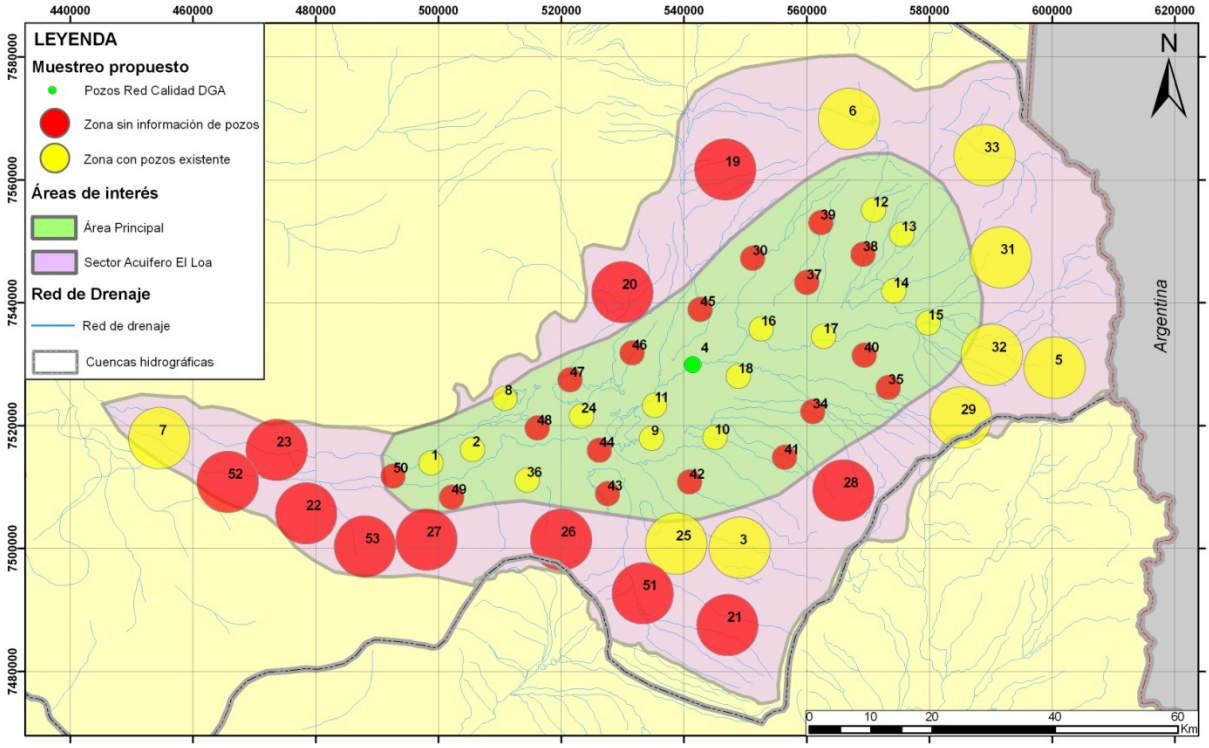
Además de la localización se indica los parámetros químicos mínimos que interesaría muestrear desde el punto de vista de la aplicación de la metodología para definir la calidad del acuífero. Todos los parámetros deben medirse como disuletos, excepto aquellos con sufijo (t), ya que deben medir como totales.

Por otro lado se recomienda la frecuencia de muestreo mínimo e ideal, en base a la Tabla 7.5 y las condiciones del acuífero. Y por último, se indica detalles respecto al método de muestreo que complementa con lo descrito en capítulos anteriores.

A modo de ejemplo se explica la Figura 7.4, donde se presenta la red de monitoreo de calidad físico-química propuesta para el sector acuífero El Loa. En dicha figura se puede observar la siguiente información:

- Límites del acuífero.
- Puntos verdes pequeños: representan los pozos que actualmente forman parte de la red de monitoreo de la DGA.
- Puntos amarillos pequeños: representan puntos existentes, de los cuales se conocen sus características constructivas y que además fueron muestreados en la campaña de terreno.
- Círculos amarillos grandes: representan sectores donde es deseable contar con información adicionales, se sabe que existen pozos por que existen derechos otorgados, pero se desconoce ubicación exacta y la información de sus características constructivas.

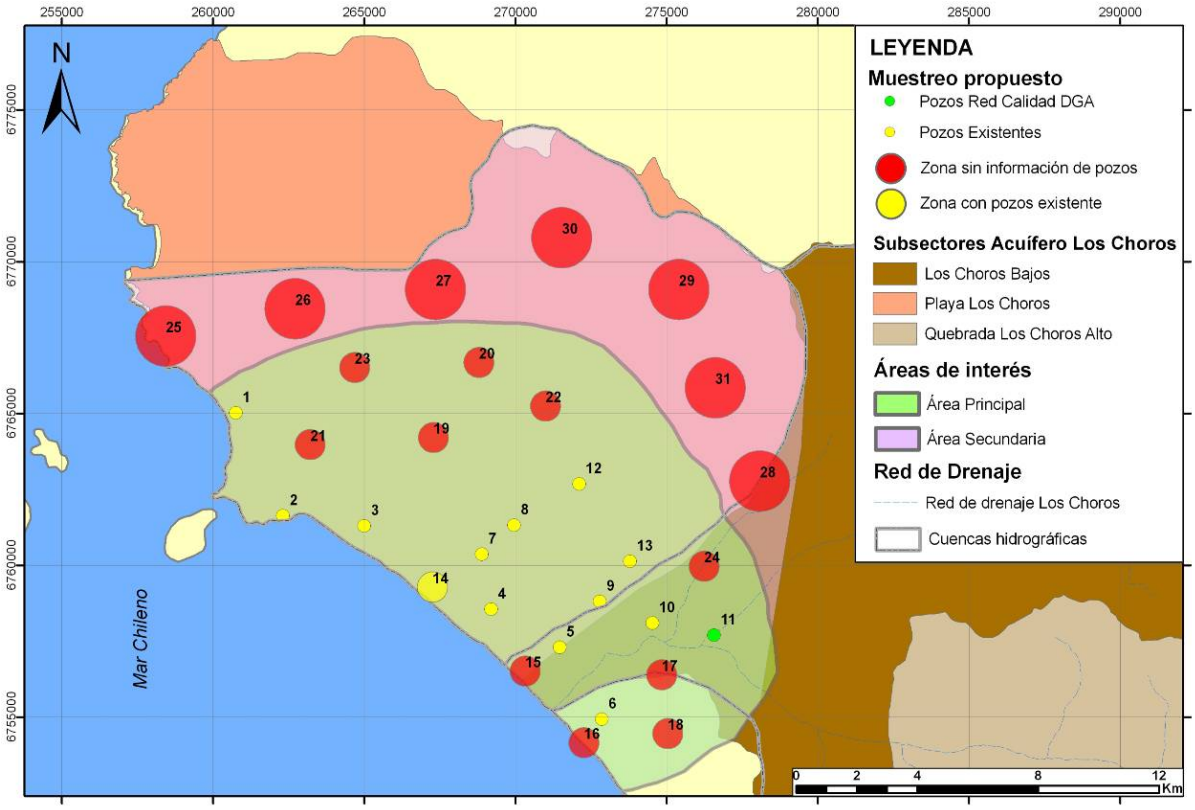
- Círculos rojos grandes: representa un sector recomendado para monitorear donde no existe información de existencia de pozos. En este caso lo más probable es que se requeriría perforar un pozo especialmente con el propósito de monitoreo.
- Áreas de interés principal y secundario: representan áreas con distinto interés de representación, con distinta densidad de puntos pero con distribución homogénea. En el área principal se privilegia mayor densidad de puntos de control en ellas.



Características

Ubicación	**Parámetros a controlar**
Distribución homogénea en cada área. Área principal: Puntos: 33; Densidad: 93 km^2/punto. Área secundaria: Puntos: 20; Densidad: 243 km^2/punto.	Grupo 1: Cl, SO_4, Ca, Na, Mg, SDT. Grupo 2: NO_3, As (t), Li (t), Cu (t), Mo (t), Al (t), B (t), Ag (t), Be (t), Ba (t), Sb (t). Adicional: CO_3, HCO_3, K, C.E., pH, Tº y OD. Hidrogeológicos: nivel freático.
Frecuencia de muestreo	**Toma de muestras**
Mínimo cada 12 meses, ideal cada 3 meses.	Uso de bombas instaladas o de muestreadores discretos (*bailer*).

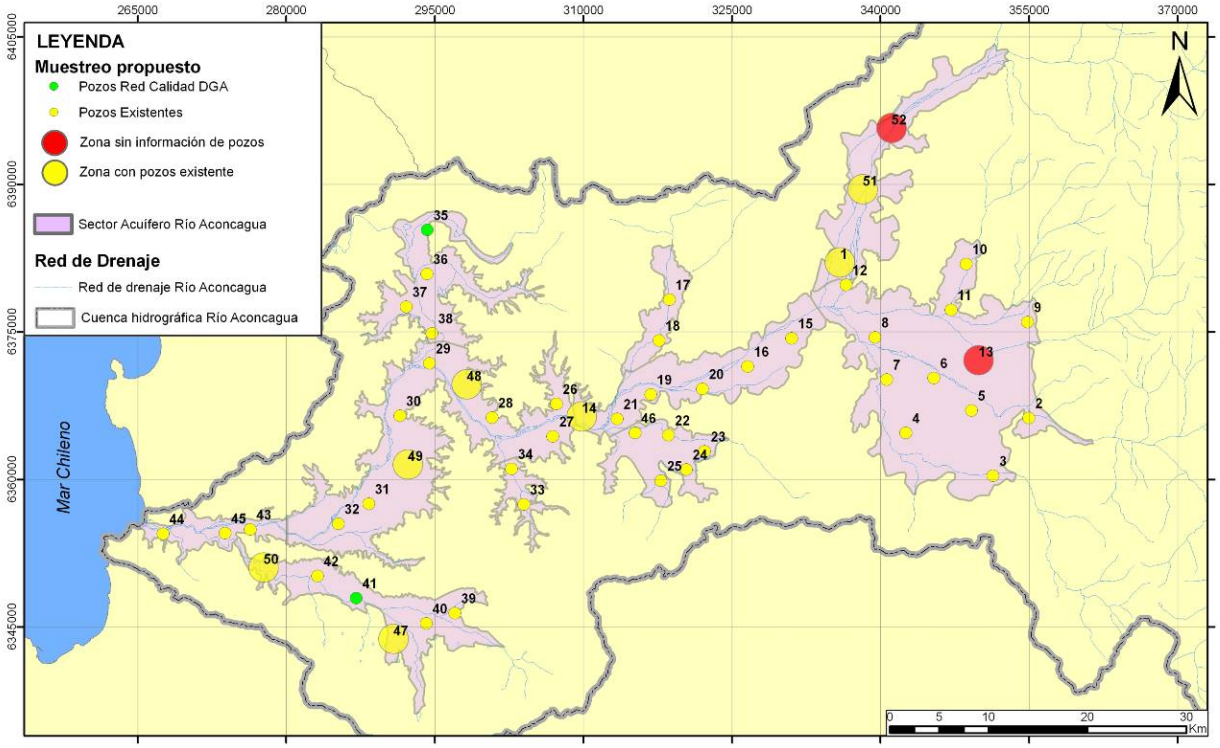
Figura 7.4: Propuesta de muestreo sector acuífero El Loa.



Características

Ubicación	**Parámetros a controlar**
Distribución homogénea en cada área. Área principal: Puntos: 24; Densidad: 7 km^2/punto. Área secundaria: Puntos: 7; Densidad: 15 km^2/punto.	Grupo 1: Cl, SO_4, Ca, Na, Mg, SDT. Grupo 2: NO_3, Al (t), Fe (t), Mn (t), Mo (t), Ni (t), Hg (t), PO_4. Adicional: CO_3, HCO_3, K, C.E., pH, Tº y OD. Hidrogeológicos: nivel freático.
Frecuencia de muestreo	**Toma de muestras**
Mínimo cada 12 meses, ideal cada 3 meses.	Uso de bombas instaladas o de muestreadores discretos (*bailer*).

Figura 7.5: Propuesta de muestreo sector acuífero Los Choros (sector costero).



Características

Ubicación	Parámetros de control
Distribución homogénea. Puntos: 52. Densidad: 23 km^2/punto.	Grupo 1: Cl, SO_4, Ca, Na, Mg, SDT. Grupo 2: NO_3, Al (t), Fe (t), Mn (t), Mo (t), Hg (t), Ni (t), B (t). Adicional: CO_3, HCO_3, K, C.E., pH, Tº y OD. Hidrogeológicos: nivel freático.
Frecuencia de muestreo	**Toma de muestras**
Mínimo cada 6 meses, ideal cada 3 meses.	Uso de bombas instaladas.

Figura 7.6: Propuesta de muestreo sector acuífero Aconcagua.

7.4 Características constructivas

Este subcapítulo presenta una descripción de las características constructivas de la actual red de monitoreo de la calidad de aguas subterráneas de la DGA, y detalla los requisitos constructivos que una red de monitoreo debiera cumplir. De este modo es posible evaluar la situación actual de la red de control de la DGA e indicar modificaciones y/o requerimientos para la red de monitorio propuesta en el capítulo anterior.

7.4.1 Descripción características constructivas actual red de monitoreo de calidad de aguas subterráneas

A partir de las áreas estudiadas en cada uno de los sectores acuíferos seleccionados, y de la base de datos entregada por la DGA respecto a la red de monitoreo de la calidad de aguas subterráneas, se individualizaron cuatro puntos de muestreo a los cuales correspondió revisar sus características constructivas.

La Tabla 7.7 presenta una descripción de las características de cada punto y se centra en cinco aspectos considerados relevantes: identificación, ubicación, construcción, rendimiento y estado. Esta información fue solicitada a la DGA Central, sin embargo la recopilación resultó difícil debido a la dispersividad y falta de información, más aún considerando que se requiere del apoyo de las Direcciones Regionales. En definitiva, sólo se dispuso de la información correspondiente a Los Choros, y parcialmente respecto a El Loa.

Tabla 7.7: Descripción de pozos de actual red de monitoreo de calidad.

Características		Sector acuífero			
		Aconcagua	**Aconcagua**	**Los Choros**	**El Loa**
Identificación	Nombre	Pozo CCU	Dren Los Caleos	Pozo Los Choros Nº1 C-3	Pozo Chiu-Chiu
	Código BNA	05427017-8	5454013-9	04120018-9;[c]	02104012-6
	Propiedad	CCU	S/I	Com. N. Sequia	S/I
Ubicación	Coordenadas UTM (PSAD56)	6.347.952 N 287.074 E	6.385.363 N 294.245 E	6.757.704 N 276.566 E	7.529.912 N 541.418 E
	Cota (msnm)	S/I	S/I	Registrada pero no informada	S/I
Construcción	Fecha	S/I	S/I	Feb72	S/I
	Diámetro (cm)	S/I	S/I	25	20
	Habilitación (m)	S/I	S/I	62 (prof.) 14,4 (total)	S/I
	Profundidad (m)	S/I	S/I	93	S/I
	Material	S/I	S/I	S/I	S/I
	Estratigrafía	S/I	S/I	Existe, no entregada	S/I
Rendimiento	Caudal máx. (L/s) – Nivel freático (m) – Fecha	S/I	S/I	12 - 29,8 - Feb72	S/I
	Nivel estático (m) – Fecha	S/I	S/I	0,8 - Feb1972	S/I
Estado	Acceso	S/I	S/I	S/I	S/I
	Situación	S/I	S/I	Sin uso	S/I
	Equipamiento	S/I	S/I	Sin bomba	S/I
	Registros de Calidad[d]	30 (Abr98-Mar07)	27 (Abr98-Mar07)	31 (Ene98-Jun07)	28 (May96-May07)
	Frecuencia de muestreo (muestreo/anual)[c]	3,0	2,7	3,4	2,3

S/I: Sin Información; c: código BNA debiera corregirse a 04120006-5 según información entregada; d: Base de datos entregada por DGA en Agosto 2008.

7.4.2 Requisitos constructivos de puntos de muestreo

Adicional a los requisitos de ubicación de la red de monitoreo, es esencial definir los requisitos básicos respecto a las características constructivas de los puntos de muestreo. Estas características mínimas tienen como objetivo facilitar la toma adecuada de las muestras, y asegurar dichas condiciones en el tiempo.

Con dicho objetivo, y con referencia a la normativa chilena y la experiencia de este consultor, se plantean los siguientes requisitos que un punto de control de agua subterránea debe cumplir.

7.4.2.1 Acceso e identificación

El acceso al punto de control debe estar asegurado en toda época del año, esto aplica tanto a los caminos como a los permisos legales del propietario para extraer muestras. Además, el punto de control debe estar claramente identificado en terreno por señales que indiquen su presencia, nombre e, idealmente, antecedentes generales del pozo (año de construcción, profundidad, diámetro, teléfono de responsable, etc.). El punto de control debe tener definidas, de la manera más confiable posible, sus coordenadas geográficas y cota topográfica.

7.4.2.2 Construcción

Idealmente los puntos de control debieran estar destinados exclusivamente al monitoreo, es decir que no se encuentren destinados al bombeo. Sin embargo, dado que este requisito puede resultar muy limitante, sobre todo en acuíferos con escasez de pozos, el profesional a cargo puede evaluar el muestrear un pozo de bombeo, ya sea indicando esta situación en las observaciones de la muestra, o bien en circunstancias en que el bombeo sea pequeño o se haya detenido permitiendo la recuperación del nivel freático. Por otra parte, se recomienda evitar el muestreo desde norias debido a que su calidad química podría no ser reflejo del acuífero que la recarga.

La Figura 7.7 muestra un esquema de un punto de control con características adecuadas para facilitar el muestreo, y donde destaca el diámetro, la habilitación, la profundidad, las terminaciones y el material usado.

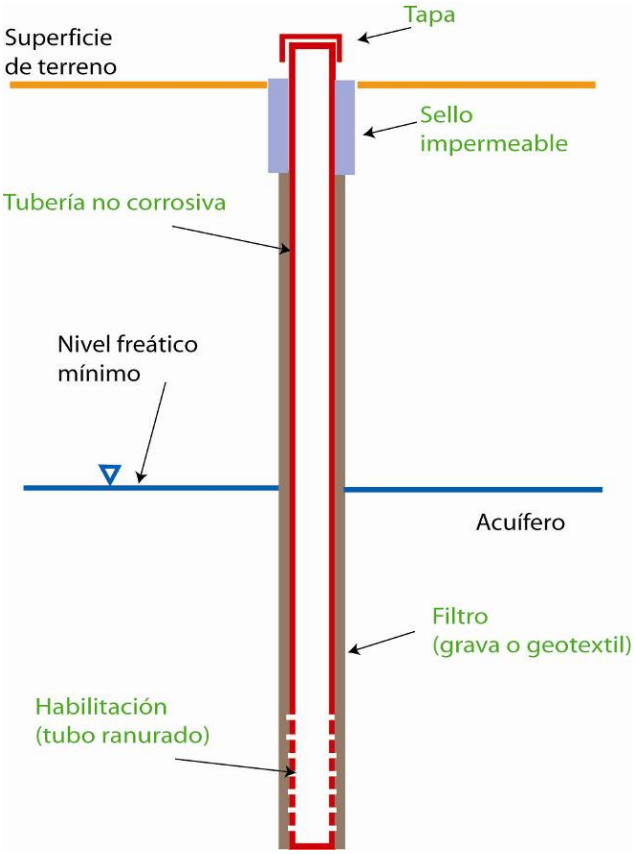


Figura 7.7: Esquema constructivo de un punto de control de agua subterránea.

El diámetro debe permitir la introducción de equipos de muestreo (sondas, piezómetros, tuberías, mangueras, muestradores discretos, bombas pequeñas, etc.). El diámetro mínimo factible es 5 cm (2 pulgadas), sin embargo un diámetro mayor a 10 cm (4 pulgadas) permite el uso de la mayoría de los equipos de muestreo.

La habilitación debe consistir en tramos de tubería ranurada que enfrenten el acuífero, y en ningún caso se debe muestrear pozos sin revestimiento. Por otra parte, la profundidad del inicio y término de la habilitación deben ser conocidos, y donde la primera de ellas debiera ser inferior al menor nivel observado en el pozo, y la segunda no debe superar el extremo inferior del acuífero. La habilitación debe ser protegida con algún medio filtrante que evite el ingreso de partículas al interior de la tubería (filtro de grava, geotextil, etc.) provenientes del acuífero.

Respecto a los materiales usados, estos no deben afectar la calidad de las aguas, por lo que se recomienda utilizar elementos no corrosivos (PVC, acero inoxidable, etc.).

Las terminaciones del pozo incluyen la construcción de un sello impermeable (bentonita, cemento o similar) en el primer tramo (0,3 a 1,0 m) de la tubería desde la superficie, además de tapa con control de acceso (candado).

7.4.2.3 Representatividad

El punto de control debe asegurar la representatividad vertical de la medida, por lo que la habilitación debe enfrentar sólo el acuífero que se desea analizar. En caso de existir más de un acuífero, se debe evitar cualquier interacción entre ellos, mediante sellos impermeables y múltiples habilitaciones independientes (piezómetros en un mismo pozo, o bien pozos distintos).

7.4.3 Evaluación de características de actual red de monitoreo de calidad de aguas subterráneas

A partir de los requisitos constructivos mencionados anteriormente, y con los datos entregados de cada punto de monitoreo, corresponde la evaluación de la actual red de monitoreo de calidad de aguas subterráneas. Sin embargo, la información disponible al cierre de este informe no permite una correcta evaluación, ya que se carece de mucha información relevante como diagramas de perforación y habilitación, condiciones en terreno o material usado.

En el caso del Aconcagua sólo es posible decir que resulta esperable que el acceso a los dos pozos es adecuado, así como su identificación en terreno y ubicación geográfica, pues se han realizado mediciones desde 1998. Por lo tanto, se requiere de mejor información de estos puntos, para establecer una evaluación acertada.

En el sector acuífero Los Choros, también es esperable buenas condiciones de acceso e identificación debido a la existencia de registros desde 1998. Por otra parte, se cumpliría con requisito de diámetro, el uso exclusivo para monitoreo, habilitación en acuífero de interés y cota topográfica. Sin embargo, no es posible concluir respecto a su estado, existencia de filtro o material de habilitación.

Por último, el punto de control en sector acuífero El Loa, también cumpliría con buenas condiciones de acceso e identificación. Además satisface el requisito del diámetro de la tubería. Sin embargo, no es posible establecer cumplimiento de otros aspectos como profundidad de habilitación, material usado y cota topográfica.

Por otra parte, el desarrollo de esta evaluación reveló la falta de una base de datos unificada respecto a los antecedentes relevantes de los pozos que forman parte de la red de calidad. La DGA debiera realizar un levantamiento general de todos los pozos en donde realice muestreos periódicos de agua subterránea, de modo que se complete la información solicitada en Tabla 7.7, además de rectificar coordenadas y cotas geográficas.

8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 Conclusiones del proyecto

8.1.1 Desarrollo de la metodología

En base a la revisión de la literatura científica nacional e internacional y a partir de la experiencia alcanzada durante la ejecución de este proyecto se puede realizar las siguientes conclusiones respecto del desarrollo de la metodología de clasificación de acuíferos:

- La revisión de la literatura científica especializada permite concluir que existen pocas metodologías de clasificación de calidad química de acuíferos desarrolladas a nivel mundial, y que las existentes no son aplicables en Chile, ya que no satisfacen los criterios, las realidades y las necesidades de nuestro país.
- Lo anterior implicó el desarrollo de una metodología propia que permitiera clasificar la calidad química del agua subterránea considerando la gran variabilidad natural de los acuíferos a nivel nacional, incorporando criterios de la Dirección General de Aguas, en cuanto el uso del agua y la protección de la salud de las personas.
- La metodología de clasificación de la calidad química de acuíferos desarrollada demostró ser una herramienta útil y confiable, que puede ser aplicada a diferentes acuíferos del país, que entrega una valiosa información respecto de los potenciales usos del agua subterránea.
- Dada la gran variabilidad de la calidad química de los acuíferos en Chile, la utilización de una metodología flexible que permita incorporar parámetros químicos característicos de una zona o acuífero, resulta fundamental. En este sentido la metodología desarrollada cuenta con un conjunto de parámetros químicos fijos (Grupo 1) y otro conjunto con parámetros variables (Grupo 2). Los primeros permiten calcular un índice de calidad (IC) intermedio que permite comparar la calidad química de los diferentes acuíferos en idénticas condiciones. Por otra parte, los parámetros variables incorporan parámetros propios del acuífero en estudio, permitiendo dar cuenta de las características propias de cada sector acuífero del país.

- El desarrollo de una metodología de clasificación requiere necesariamente la adopción de criterios que permita catalogar los diferentes tipos de agua. La metodología desarrollada adoptó como primeros criterios la utilización de normas de calidad de agua. Esto le confiere, por una parte, un sólido respaldo técnico y legal, y por otra, una gran flexibilidad, ya que si se promulgan nuevas normas o nuevos valores máximos de parámetros químicos, es posible volver a aplicar la metodología sin cambios metodológicos importantes.
- Uno de los aspectos importantes a considerar en el diseño de una metodología de clasificación de la calidad química de acuíferos, es el comportamiento temporal de la calidad química. Se requiere para ello una visión dinámica de la calidad química, ya que el recuso hídrico subterráneo tiene un comportamiento dinámico, al igual que las actividades que potencialmente pueden alterar o cambiar su composición química. A modo de ejemplo se puede indicar que es muy distinto tener un acuífero que presenta un IC Bueno, que se ha mantenido constante en el tiempo, a que este mismo índice anteriormente haya sido excepcional. En este último caso la calidad del acuífero va empeorando.
- La utilización de técnicas estadísticas como el Análisis de Componentes Principales (ACP) permite analizar situaciones en la cual existe una gran cantidad de información. Este es el caso del monitoreo de la calidad química de aguas subterráneas, donde se tiene un alto número de parámetros químicos medidos, en un número importante de pozos y en muchos casos con series históricas largas. La técnica ACP demostró ser una herramienta que permite analizar la fuente de cada uno de los parámetros químicos observados en el agua subterránea.
- La aplicación de cualquier metodología de clasificación de calidad química de acuíferos requiere una buena red de medición, en cuanto a calidad de los análisis de laboratorio, número de parámetros analizados, número y distribución espacial de los pozos de monitoreo, y ojala con una frecuencia adecuada.
- Utilizar información de análisis químicos de distintas fuentes como: Banco Nacional de Aguas de la DGA, estudios hidrogeológicos varios, estudios de impacto ambiental (SEIA), informes de fiscalización de la Superintendencia de Servicios Sanitarios

(SISS), etc., no es viable o genera información poco confiable. Lo anterior se funda en el hecho que la información muchas veces no es comparable, ya que corresponde a periodos de tiempo diferentes, análisis químicos incompletos, análisis en distintos laboratorios, etc.

- Por lo tanto, se refuerza el hecho de que la DGA es el organismo que debe continuar con la labor de mantención y operación de la red de monitoreo de agua subterránea. Sin embargo, se debe poner énfasis en la ampliación de la red de monitoreo actual, especialmente en el número de puntos de control en aquellos acuíferos en los que actualmente existe monitoreo.

8.1.2 Instrumentos de protección

Respecto de los instrumentos de protección de acuíferos se puede realizar las siguientes conclusiones:

- Las medidas de conocimiento e investigación son fácilmente aplicables en Chile, e incluso muchas de ellas están siendo ya abordadas actualmente por distintos organismos. Por ejemplo, los mapas de vulnerabilidad de acuífero para todo el país se están realizando en el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN), mientras la Dirección General de Aguas (DGA) se ocupa de los monitoreos de calidad de las Aguas.

- La zonificación de acuíferos es también una herramienta de fácil implementación, eficiente y sencilla, que permite diseñar planes de manejo y gestión de los recursos hídricos considerando las zonas que requieren una mejor protección.

- Las medidas de acción directa, tienen un costo económico más alto y pueden plantearse en determinados sectores donde exista un riesgo elevado de deterioro del recurso en cuanto a su calidad y/o cantidad.

- Las medidas educacionales son altamente recomendables, puesto que la consciencia de la sociedad frente los problemas medioambientales es una de las mejores medidas auto-regulatorias.

- Las medidas políticas y económicas son absolutamente necesarias para que el Estado tenga el control en la protección de sus recursos. Muchas de las medidas descritas ya existen en nuestro país aunque parece necesario que el Estado tenga más capacidad para implementar tales medidas o que éstas sean más duras (multas) de modo que las actividades privadas se autorregulen mejor. Hay que considerar que estas medidas, son quizás las que serían más lentas de implementar en el país ya que requieren de la elaboración (o modificación) de nuevas normativas y leyes.

- El punto crucial para poder contar con instrumentos de protección de acuíferos es la elaboración de normas de calidad ambiental (secundarias), de modo de poder utilizar las herramientas de gestión que la actual institucionalidad ambiental permite.

- Dado que la elaboración de normas secundarias, es complejo y muchas veces toma un tiempo considerable, se recomienda realizar a la brevedad una caracterización de acuíferos desde el punto de vista físico-químico, que permitan contar con información de la calidad natural del acuífero o similar a su calidad natural. De modo que en el momento que se decida confeccionar las normas de calidad ambiental se cuente con una información técnicamente óptima.

- Desde el punto de vista de la aplicabilidad de las medidas de protección, se observa que pueden ser perfectamente aplicables en Chile siempre que se destinen los recursos necesarios en cada uno de los aspectos. De acuerdo al levantamiento de información realizado en los acuíferos de estudio, se aprecia que existen varios ítems que requieren un mayor conocimiento como son los tipos de extracción de aguas subterráneas, potenciales fuentes de contaminación, vulnerabilidad, etc. Todos ellos fundamentales para obtener un conocimiento acabado del estado del recurso para un determinado sector acuífero. Resulta especialmente importante contar con información espacialmente distribuida de la calidad química de los acuíferos, ya que es la base para cualquiera de las medidas de protección propuestas. En definitiva, resultará más difícil proteger un sistema mientras menos información y/o conocimiento se tenga de él.

- Junto con lo anterior, se destaca que la metodología desarrollada resulta muy útil para el análisis del estado de un sector acuífero. Esta herramienta sumada a los otros

aspectos que se analizan dentro del sector constituyen los elementos con que se podría implementar un sistema de zonificación de acuíferos. En esta zonificación se podrían proteger acuíferos que presenten un estado crítico en cuanto a vulnerabilidad, calidad o continuidad del recurso, o alguna combinación de estos.

- La elaboración de normas de secundarias debe tomar en cuenta no sólo la calidad química del agua subterránea, sino que también el nivel de explotación de los acuíferos que pudieran inducir contaminación. En este sentido, el desarrollo de normas de calidad debe ir acompañado de un análisis legal que considere las leyes que rigen el aprovechamiento. Por ejemplo, si se indica que un acuífero está en estado de latencia se debería restringir las extracciones por razones de calidad, y no por razón de disponibilidad.

8.1.3 Red de monitoreo de calidad de aguas subterráneas

En base al análisis de la información de la red de calidad química de aguas subterráneas de la DGA se puede realizar las siguientes conclusiones:

- La actual red de monitoreo de aguas subterráneas de la Dirección General de Aguas es deficiente, especialmente en términos espacial y temporal. Sin embargo, el conjunto de parámetros analizados y la calidad de los análisis de laboratorio cumplen con los requisitos necesarios para la caracterización y seguimiento de la calidad química del acuífero. En definitiva la red resulta poco representativa de las condiciones químicas de los acuíferos seleccionados, y por tanto no permite un adecuado seguimiento de ésta.

- Para cada sector acuífero seleccionado se propuso una nueva red de monitoreo, en la que se aumentó el número de puntos, los pozos existentes y/o nuevos, y que se cumplan con criterios claros respecto a representatividad y características constructivas.

- La red de monitoreo se complementa con definiciones respecto a los parámetros que se deben muestrear en cada punto de control, la frecuencia de muestreo mínimo y los protocolos de toma, transporte y análisis de las muestras.

8.2 Recomendaciones de trabajos futuros

Basado en la revisión de la literatura especializada, la experiencia obtenida durante la elaboración del estudio y las características de la red de medición de la calidad química de aguas subterráneas de la DGA se realiza las siguientes recomendaciones de trabajos futuros:

- Realizar muestreos de calidad química en 2 ó 3 acuíferos representativos de cada región, en al menos dos estaciones del año, considerando las recomendaciones indicadas en el capítulo 7 del presente informe. Esto permitirá contar con información de línea base con la calidad técnica necesaria para su posterior utilización en el diseño de medidas de protección de acuíferos más concretas.
- En este sentido es muy importante y recomendable que los muestreos se realicen a corto plazo, ya que en la medida que pasa el tiempo la calidad química del acuífero se aleja de la natural, y por tanto puede llevar a tomar decisiones erróneas respecto de, por ejemplo, la elaboración de normas secundarias.
- Consolidar la información de la calidad química de modo que sea asequible para cualquier usuario.
- Realizar monitoreo de la calidad química en los sectores acuíferos estudiados en este proyecto, es decir El Loa, Los Choros y Aconcagua, para aplicar, estudiar y analizar la temporalidad del índice de calidad. Esto resulta muy importante debido a que la escasez de información de calidad química no permitió aplicar las etapas de temporalidad de la metodología desarrollada.
- Una vez que se cuente con la información base de la calidad química de un acuífero, es necesario trabajar en el desarrollo de normas de calidad ambiental para los acuíferos, de modo que se utilice la institucionalidad ambiental que actualmente posee el país.

9 BIBLIOGRAFÍA

ALLOWAY, B. y AYRES, D. (1993). Chemical Principles of Environmental Pollution [Libro]. - London : Blackie Academy and Professional.

ANTICH, N., CANALS, A., SOLER, A., DARBYSHIRE, D.P.F. y SPIRO, B.F. (2000). The isotope composition of dissolved strontium as tracer of pollution in the Llobregat River, northeast Spain, International Association of Hydrological Science. [Publicación periódica].

ANTINAO, J. (1998). Caracterización Química de la Contaminación Ambiental de la Cuenca de Santiago Mediante el Análisis de Metales Pesados en la Fracción fina de Sedimentos Fluviales: Memoria para Optar al Título de Magíster de Geología: Universidad de Chile, Depto. de Geología [Libro].

CUSTODIO, E. y LLAMAS, M.R. (2001). Hidrología Subterránea [Libro]. - Barcelona : Omega.

DEPTO SOCIOLOGÍA IV (2008). Asignatura: Técnicas de investigación social - Departamento IV de Sociología (UCM) [En línea] = Capítulo 20: Análisis factorial: el procedimiento Análisis factorial // Introducción al análisis de datos. Análaisis multivariante / ed. U. Complutense de Madrid. - 15 de marzo de 2009. - http://www.ucm.es/info/socivmyt/paginas/D_departamento/materiales/datos_multivariante.htm.

DEROUNE J. y DESSARGUES A. (1998). Delination of groundwater protection zones based n tracer test and transport modelling in alluvial sediments [Publicación periódica] // Environmental Geology. 36 : Vols. 1-2. - págs. 27-36.

DESPOUY, I. (2005). Caracterización de fuentes y Análisis Crítico de los Tratamientos de Agua Potable en Chile. Memoria para Optar al Título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile [Libro]. - Santiago : [s.n.].

DGA (2005). Estudio de intrusión salina en acuíferos costeros: Sector Costa Quebrada Los Choros, IV Región. S.I.T. Nº109. [Informe]. - Santiago : [s.n.].

DGA (2003). Informe Técnico. Evaluación de los recursos hídricos sectores Calama y Llalqui, cuenca Río Loa. SIT Nº 85. [Informe].

DGA (2004). Manual para la aplicación del concepto de vulnerabilidad de acuíferos, establecido en la Norma de Emisión de Residuos Líquidos a Aguas Subterráneas, Decreto Supremo Nº46.Depto.de Conservación y Proteción de Recursos Hídricos. [Informe] / MOP, Depto.de Conservación y Proteción de Recursos Hídricos. - Santiago : [s.n.], 2004.

DGA (2001). Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivo de calidad. Cuenca del río Aconcagua. [Informe].

EUROWATERNET (1998). The European Environment Agency's Monitoring and Information Network for Inland Water Resources. Technical Guidelines for Implementation. [Informe].

FAO (1994). Water quality for agriculture, Irrigation and Drainage Paper (Ayers, R.S. y Westcot, D.W.) [Libro]. Vol. 29 Rev 1.

FOSTER S. y GARDUÑO, H. (2002). Groundwater quality protection a guide for water service companies municipal authorities and enviroment agencies // The World Bank, GWMATE. - Washington : [s.n.].

GEOHIDROLOGÍA CONSULTORES-DGA (2009). Realización de campaña de monitoreo de aguas subterráneas sectores acuífero Los Choros y Aconcagua. SIT Nº185 [Informe] : Informe técnico. - Santiago : [s.n.].

GONZÁLEZ, M.J. y ORTIZ, L. (2004). Iones en agua [En línea] / ed. Jiménez Gregorio. Diciembre de 2008. - http://www.ionesenagua.com/.

HAMANN, C.L., McEWEN, J.B. y MYERS, A.G. (1996). Guide to selection of water treatment process – 1990. En: **AWWA**. Water Treatment Membrane Processes, Cap. 10 Pág 10.9[Libro].

IGME (2003). Congreso TIAC (Tecnología de la Intrusión de agua de mar en acuíferos costeros: Paises Mediterráneos) [Sección del libro].

IN3 (2002). Proyecto e-Math de la UOC [En línea] = EST-M03: Análisis de componentes principales // Uso de las TIC en aignatiras cuantitativas aplicadas. Materiales / ed. Catalunya Internet Interdisciplinary Institute de la Universitat Oberta de. - 11 de noviembre de 2002. - 15 de marzo de 2008. - http://www.uoc.edu/in3/e-math/.

INN (1996). NCh 1333/78. Requisitos de calidad del Agua para diferentes usos [Libro]. - Santiago : [s.n.], 1996.

INN (1998). NCh411/3.Of98. Calidad de Agua, Muestreo, Parte 3. Guía sobre la preservación y manejo de las muestras [Libro]. - 1998.

INN (2005). NCh 409/1. Agua Potable 1 Requisitos [Libro]. - Santiago : [s.n.], 2005.

INN (2008). NCh 777/1 c. R2008. Agua Potable, Fuentes de abastecimiento y obras de captación, Parte 1 Captación de aguas superficiales [Libro]. - Santiago : [s.n.], 2008.

LANKFORD P. y ECKENFELDER W. (1990). Toxicity reduction in industrial effluents [Libro]. - NY : [s.n.], 1990.

LENNTECH (2008). Water treatment & Air Purification systems [En línea]. - Lenntech Agua residual & purificación del aire Holding B.V., 2008. - Diciembre de 2008. - http://www.lenntech.com/.

LOVE D., HALLBAUER, D, AMOS, A. y HRANOVA, R. (2004). Factor analysis as a tool in groundwater quality management two southern African case studies [Publicación periódica] // Physics and Chemistry of the Earth. 15-18 : Vol. 29. - págs. 1135-1143.

MAKOVEC, M. (2008). Cap. VII Análisis factorial // Apuntes de Curso IN540: Métodos estadísticos para economía y gestión. - Santiago : Ingeniería industrial. U. de Chile.

MENA, P. (2007). Apuntes del curso CI66Q-1 Procesos avanzados de tratamiento, FCFM, Universidad de Chile. [Libro].

OCDE (2005). Evaluaciones de desempeño ambiental. Chile [Informe] / Organización de Cooperación y Desarrollo Económico.

OMS (2006). Guidelines for drinking water quality: incorporating first addendum. 3a Edition. - Vol. 1: recomendations.

OMS (2007). Chemical safety of drinking-waater: Assessing priorities for risk management [Libro].

OTERO, N., TOLOSANA-DELGADO, R., SOLER, A., PAWLOWSKY-GLAHN, V. y CANALS, A. (2005). Relative vs absolute statistical analysis of compositions: A comparative

study of surface waters of a Mediterranean river [Publicación periódica] // Water Research. - 7 : Vol. 39. - págs. 1404-1414.

PASSARELLA, G. y CAPUTO, M.C. (2006). A methodology for space time classification of groundwater quality [Publicación periódica] // Environmental Monitoring and Assessment. 1-3 : Vol. 115. - págs. 95-117.

PONTIUS, F. (1996). Regulatory compliance using Membrane Processes [Publicación periódica]. 5 : Vol. 88. - págs. 12-14.

RENTIER, C., DELLOYE, F., BROUYÈRE, S. y DESSARGUES, A. (2006). A framework for an optimized groundwater monitoring network and aggregated indicators [Publicación periódica] // Environmental Geology. 50 : Vol. 2. - págs. 194-201.

ROBINSON, N. y CHILTON, P- (2007). Adapting existing experience with aquifer vulnerability and groundwater protection for Africa [Publicación periódica] // Journal of African Science. 47. - págs. 30-38.

SISS (2001). Análisis de presencia de contaminantes no controlados en agua potable [Informe] / Super Intendencia de Servicos Sanitarios. - Santiago : [s.n.].

SOLER, A., CANALS, A., GOLDSTEIN, L., OTERO, N., ANTICH, N. y SPANGENBERG, J. (2002). Sulphur and strontium isotope composition of the Llobregat River (NE Spain): Tracers of natural and anthropogenic chemicals in stream waters [Publicación periódica] // Water, Air & Soil Pollution. 1-4 : Vol. 136. - págs. 207-224.

TOLOSANA-DELGADO, R., OTERO, N., PAWLOWSKY-GLAHN, V. y SOLER, A. (2005). Latent Compositional factors in the Llobregat River Basin (Spain) Hydrogeochemestry [Publicación periódica] // Mathematical Geology. 7 : Vol. 37. - págs. 681-702.

YU, K.C., TSAI, L.J., CHEN, S.H y HO, S.T. (1998). Correlation analyses on binding behavior of heavy metals with sediment matrices [Publicación periódica] // Water research. 35. - págs. 2417-2428.

GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
DIRECCION GENERAL DE AGUAS

DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE SECTORES ACUÍFEROS

VOLUMEN Nº 2

REALIZADO POR:
GEOHIDROLOGÍA CONSULTORES LTDA.

S.I.T. Nº 183

SANTIAGO, JULIO 2009

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS

Ministro de Obras Públicas

Ingeniero Civil Sr. Sergio Bitar Ch.

Director General de Aguas

Abogado Sr. Rodrigo Weisner L.

Jefa Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos

Ingeniero Sra. Mesenia Atenas V.

Inspector Fiscal

Ingeniero Sra. María Eugenia Molina L.

GEOHIDROLOGÍA CONSULTORES LTDA.

Jefe de Proyecto

Ingeniero Civil Sr. José Muñoz P.

Especialistas

Ingeniero Civil Sr. José Muñoz P.

Ingeniero Civil Sr. Pablo Rengifo O.

Ingeniero Agrónomo Sr. Cristian Ortiz A.

Geólogo Sra. Laura Vitòria C.

Profesionales

Ingeniero Civil Sr. Carlos Vásquez G.

Ingeniero Civil Sr. Nicolás Ramírez N.

Geógrafo Sr. Rodrigo López A.

Ingeniero Civil Sr. Pedro Sanzana C.

Geólogo Sr. Felipe García-Huidobro C.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1 ANTECEDENTES GENERALES DE LOS SECTORES ACUÍFERO 1

1.1 FICHAS RESUMEN DE INFORMACIÓN DISPONIBLE DE SECTORES ACUÍFEROS 1

1.1.1 Sector acuífero Lluta 1

1.1.2 Sector acuífero Azapa 4

1.1.3 Sector acuífero Pampa del Tamarugal 7

1.1.4 Sector acuífero Salar de Coposa 10

1.1.5 Sector acuífero El Loa 13

1.1.6 Sector acuífero Los Choros 16

1.1.7 Sector acuífero La Ligua 19

1.1.8 Sector acuífero Aconcagua 22

1.1.9 Sector acuífero Mapocho Alto 25

1.1.10 Sector acuífero Maipo 28

1.1.11 Sector acuífero Maitenlahue 31

1.1.12 Sector acuífero Estero Las Cadenas 34

1.2 NIVEL PIEZOMÉTRICO EN SECTORES ACUÍFERO 37

1.2.1 Estaciones de monitoreo de nivel piezométrico 37

1.2.1.1 Sector acuífero Lluta 37

1.2.1.2 Sector acuífero Azapa 37

1.2.1.3 Sector acuífero Pampa del Tamarugal 38

1.2.1.4 Sector acuífero Salar de Coposa 39

1.2.1.5 Sector acuífero El Loa 39

1.2.1.6 Sector acuífero Los Choros 40

1.2.1.7 Sector acuífero La Ligua 41

1.2.1.8 Sector acuífero Aconcagua 41

1.2.1.9 Sector acuífero Mapocho Alto 43

1.2.1.10 Sector acuífero Maipo 43

1.2.1.11 Sector acuífero Maitenlahue 45

1.2.1.12 Sector acuífero Estero Las Cadenas 45

1.2.2 Evolución temporal del nivel piezométrico 46
1.2.2.1 Sector acuífero Lluta 46
1.2.2.2 Sector acuífero Azapa 47
1.2.2.3 Sector acuífero Pampa del Tamarugal 53
1.2.2.4 Sector acuífero Salar de Coposa 57
1.2.2.5 Sector acuífero El Loa 58
1.2.2.6 Sector acuífero Los Choros 60
1.2.2.7 Sector acuífero La Ligua 62
1.2.2.8 Sector acuífero Aconcagua 64
1.2.2.9 Sector acuífero Mapocho Alto 73
1.2.2.10 Sector acuífero Maipo 74
1.2.2.11 Sector acuífero Maitenlahue 84
1.2.2.12 Sector acuífero Estero Las Cadenas 85
1.3 CALIDAD QUÍMICA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS 86
1.3.1 Diagramas de Piper según datos químicos de sectores acuífero 86
1.3.1.1 Sector acuífero Lluta 86
1.3.1.2 Sector acuífero Azapa 87
1.3.1.3 Sector acuífero Pampa del Tamarugal 88
1.3.1.4 Sector acuífero Salar de Coposa 89
1.3.1.5 Sector acuífero El Loa 89
1.3.1.6 Sector acuífero Los Choros 90
1.3.1.7 Sector acuífero La Ligua 91
1.3.1.8 Sector acuífero Aconcagua 92
1.3.1.9 Sector acuífero Mapocho Alto 93
1.3.1.10 Sector acuífero Maipo 94
1.3.1.11 Sector acuífero Maitenlahue 96
1.3.1.12 Sector acuífero Estero Las Cadenas 96
1.4 CARTOGRAFÍAS DIGITALES COMPLEMENTARIAS 97
1.4.1 Uso de suelo 97
1.4.2 Vulnerabilidad de acuífero 99

1.5 FICHAS BIBLIOGRÁFICAS DE ESTUDIOS REALIZADOS POR FUENTES DISTINTAS A LA DGA 101
1.5.1 Sector acuífero Lluta 101
1.5.2 Sector acuífero Azapa 106
1.5.3 Sector acuífero Pampa del Tamarugal 111
1.5.4 Sector acuífero Salar de Coposa 113
1.5.5 Sector acuífero El Loa 114
1.5.6 Sector acuífero Los Choros 117
1.5.7 Sector acuífero La Ligua 122
1.5.8 Sector acuífero Aconcagua 124
1.5.9 Sector acuífero Mapocho Alto 128
1.5.10 Sector acuífero Maipo 130
1.5.11 Sector acuífero Maitenlahue 133
1.5.12 Sector acuífero Estero Las Cadenas 134
2 ANTECEDENTES DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE CALIDAD DE ACUÍFEROS 136
2.1 REFERENCIAS USADAS COMO ANTECEDENTES DE LA METODOLOGÍA 136
2.1.1 Títulos leídos, resumidos y sistematizados respecto a metodologías de clasificación de acuíferos 136
2.1.2 Títulos leídos y consultados respecto a metodologías de clasificación de acuíferos 136
2.2 RESUMEN DE METODOLOGÍAS EVALUADAS 137
2.2.1 Metodología de Italia 140
2.2.2 Metodología de Japón 147
2.2.3 Metodología de Portugal 152
2.2.4 Metodología de Israel 158
2.2.5 Técnicas “clásicas” de estudios hidrogeoquímicos 165
2.3 ANÁLISIS CRÍTICO DE METODOLOGÍAS EVALUADAS 169
2.3.1 Metodología de Italia 169
2.3.1.1 Características deseables y/o ventajas 169

2.3.1.2 Características no deseables y/o desventajas 170
2.3.1.3 Otras características 170
2.3.1.4 Resultados 170
2.3.2 Metodología de Japón 171
2.3.2.1 Características deseables y/o ventajas 172
2.3.2.2 Características no deseables y/o desventajas 172
2.3.2.3 Otras características 173
2.3.2.4 Resultados 173
2.3.3 Metodología de Portugal 173
2.3.3.1 Características deseables y/o ventajas 174
2.3.3.2 Características no deseables y/o desventajas 175
2.3.3.3 Otras características 175
2.3.3.4 Resultados 175
2.3.4 Metodología de Israel 175
2.3.4.1 Características deseables y/o ventajas 176
2.3.4.2 Características no deseables y/o desventajas 177
2.3.4.3 Otras características 177
2.3.4.4 Resultados 177
3 ANTECEDENTES DE INSTRUMENTOS DE PROTECCIÓN 178
3.1 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LAS MEDIDAS DE PROTECCIÓN DE ACUÍFEROS 178
3.2 REFERENCIAS USADAS 184
3.3 ANÁLISIS CRÍTICO DE REFERENCIAS 185
3.3.1 Publicación de "Illinois Community Examines Aquifer Protection Measures" de Cobb y Dulka (1996) 185
3.3.2 Publicación de "Groundwater Resources Protection and Land Aquifer Recovery in China" de Han (2003) 186
3.3.3 Publicación de "The Evolution of Groundwater Rights and Groundwater Management in New Mexico and the Western United States" de DuMars y Minier (2004) 188
3.3.4 Publicación de "Groundwater Quality Protection" de Foster et al. (2002) 190

3.3.5 Publicación de “Groundwater Socio-ecology and Governance: a Review of Institutions and Policies in Selected Countries” de Mukherji y Shah (2005): 191
3.3.6 Publicación de “Adapting Existing Experience with the Aquifer Vulnerability and Groundwater Protection for Africa” de Robins et al. (2007): 196
3.3.7 Publicación de “Delineation of Groundwater Protection Zones Based on Tracer Tests and Transport Modeling in Alluvial Sediments” de Deroune y Dassargues (1998): 199
3.3.8 Publicación de “An Aquifer Management Case Study – The Chalk of the English South Downs” de Robins et al. (1999): 200
3.3.9 Publicación de “Groundwater Protection in Mediterranean Countries after the European Water Framework Directive” de Martínez et al. (2008): 203
3.3.10 Publicación de “Contaminated Land and Aquifer Protection” de Henton y Young (1993): 204
4 RESULTADOS QUÍMICOS..... 207
4.1 ANÁLISIS QUÍMICOS O BASE DE DATOS UTILIZADOS EN APLICACIÓN 207
4.1.1 Base de datos disponible acuífero del Loa 207
4.1.2 Campaña de muestreo sector acuífero Los Choros 211
4.1.3 1ª campaña de muestreo en sector acuífero Aconcagua 214
4.1.4 2ª campaña de muestreo en sector acuífero Aconcagua 217
4.2 FICHAS DE TERRENO DE CAMPAÑAS DE MUESTREO 220
4.2.1 Campaña de muestreo Los Choros 220
4.2.2 1º Campaña de muestreo Aconcagua 238
4.2.3 2ª Campaña de muestreo Aconcagua..... 271
5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO CON ACP 289
5.1 FORMULACIÓN DEL ACP..... 289
5.2 PROCEDIMIENTO DEL ACP 292
5.2.1 Requisitos 292
5.2.2 Selección de factores 294
5.2.3 Matriz de factores 295
5.2.4 Interpretación de factores 295

5.2.5 Puntuaciones factoriales 296
5.2.6 Representaciones gráficas 296
5.2.7 Ejemplo de aplicación 299
6 RESULTADOS INTERMEDIOS DE APLICACIÓN DE METODOLOGÍA DE CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS 309
6.1 MAPAS DE INTERPOLACIÓN E ÍNDICE DE CALIDAD 309
6.1.1 Sector acuífero El Loa 309
6.1.2 Sector acuífero Los Choros 317
6.1.3 Sector acuífero Aconcagua 326
6.2 GRÁFICOS BIPLOT-VARIABLES DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO ACP 334
6.2.1 Sector acuífero El Loa 334
6.2.2 Sector acuífero Los Choros 336
6.2.3 Sector acuífero Aconcagua 338
6.3 OUTPUT DE PROGRAMA XLSTAT PARA ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES 340
6.3.1 Sector acuífero El Loa 340
6.3.2 Sector acuífero Los Choros 347
6.3.3 Sector acuífero Aconcagua 353
7 RED DE MONITOREO DE CALIDAD EN SECTORES ACUÍFEROS SELECCIONADOS 361
7.1 ACTUAL RED DE MONITOREO DE CALIDAD DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA DGA 361
7.2 RED DE MONITOREO DE CALIDAD DE AGUAS SUBTERRÁNEAS PROPUESTA 363
7.2.1 Sector acuífero El Loa 363
7.2.2 Sector acuífero Los Choros 364
7.2.3 Sector acuífero Aconcagua 365

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Evolución temporal del nivel piezométrico en sector acuífero Lluta. 46

Figura 1.2: Evolución temporal del nivel piezométrico en sector acuífero Azapa..... 47

Figura 1.3: Evolución temporal del nivel piezométrico en sector acuífero Pampa del Tamarugal. 53

Figura 1.4: Evolución temporal del nivel piezométrico en sector acuífero El Loa. 58

Figura 1.5: Evolución temporal del nivel piezométrico en sector acuífero Los Choros. 60

Figura 1.6: Evolución temporal del nivel piezométrico en sector acuífero La Ligua. 62

Figura 1.7: Evolución temporal del nivel piezométrico en sector acuífero Aconcagua. 64

Figura 1.8: Evolución temporal del nivel piezométrico en sector acuífero Mapocho Alto..... 73

Figura 1.9: Evolución temporal del nivel piezométrico en sector acuífero Maipo. 74

Figura 1.10: Evolución temporal del nivel piezométrico en sector acuífero Las Cadenas. 85

Figura 1.11: Diagrama de Piper con datos químicos de sector acuífero Lluta. 86

Figura 1.12: Diagrama de Piper con datos químicos de sector acuífero Azapa. 87

Figura 1.13: Diagrama de Piper con datos químicos de sector acuífero Pampa del Tamarugal. 88

Figura 1.14: Diagrama de Piper con datos químicos de sector acuífero El Loa..... 89

Figura 1.15: Diagrama de Piper con datos químicos de sector acuífero Los Choros. 90

Figura 1.16: Diagrama de Piper con datos químicos de sector acuífero La Ligua. 91

Figura 1.17: Diagrama de Piper con datos químicos de sector acuífero Aconcagua. 92

Figura 1.18: Diagrama de Piper con datos químicos de sector acuífero Mapocho Alto. 93

Figura 1.19: Diagrama de Piper con datos químicos de sector acuífero Maipo. 95

Figura 1.20: Mapa uso de suelos del sector acuífero El Loa. 97

Figura 1.21: Mapa uso de suelos del sector acuífero Aconcagua. 98

Figura 1.22: Mapa de vulnerabilidad a la contaminación (SERNAGEOMIN) del sector acuífero Los Choros. 99

Figura 1.23: Mapa de vulnerabilidad a la contaminación del sector acuífero Aconcagua. 100

Figura 2.1: a) Clorógrafo y b) Nitrógrafo de los pozos localizados en la parte central del acuífero de Israel 161

Figura 2.2: Diagrama Piper de clasificación composicional de las aguas. 167

Figura 2.3: Mapa hidrogeoquímico con isolíneas de Sólidos Totales Disueltos y tipos de agua representados mediante los diagramas de Stiff. 168

Figura 2.4: Esquema simplificado de la metodología Italia. 169

Figura 2.5: Esquema simplificado de la metodología Japón. 171

Figura 2.6: Esquema simplificado de la metodología Portugal. 174

Figura 2.7: Esquema simplificado de la metodología Israel. 176

Figura 3.1: Esquema de la importancia en los roles que deben adquirir los distintos actores políticos y locales en la gestión de los recursos hídricos 193

Figura 5.1: Gráfico de sedimentación teórico. 291

Figura 5.2: Gráfico de sedimentación. 294

Figura 5.3: Gráfico Biplot-variables. 297

Figura 5.4: Gráfico Biplot-valores. 299

Figura 5.5: Gráfico de sedimentación de la red de medición DGA. 304

Figura 5.6: Gráfico de Biplot-variables de la red de medición DGA. 306

Figura 5.7: Gráfico Biplot-valores de la red de medición DGA. 307

Figura 5.8: Gráfico Biplot-valores con trayectoria del agua subterránea. 308

Figura 6.1: Interpolación de concentración (mg/L) de As en sector acuífero El Loa. 309

Figura 6.2: Índice calidad individual de As en sector acuífero El Loa. 309

Figura 6.3: Interpolación de concentración (mg/L) de Ca en sector acuífero El Loa. 310

Figura 6.4: Índice calidad individual de Ca en sector acuífero El Loa. 310

Figura 6.5: Interpolación de concentración (mg/L) de Cl en sector acuífero El Loa. 311

Figura 6.6: Índice calidad individual de Cl en sector acuífero El Loa. 311

Figura 6.7: Interpolación de concentración (mg/L) de Mg en sector acuífero El Loa. 312

Figura 6.8: Índice calidad individual de Mg en sector acuífero El Loa. 312

Figura 6.9: Interpolación de concentración (mg/L) de Na en sector acuífero El Loa. 313

Figura 6.10: Índice calidad individual de Na en sector acuífero El Loa. 313

Figura 6.11: Interpolación de concentración (mg/L) de NO_3 en sector acuífero El Loa.....314

Figura 6.12: Índice calidad individual de NO_3 en sector acuífero El Loa.....314

Figura 6.13: Interpolación de concentración (mg/L) de SDT en sector acuífero El Loa. 315

Figura 6.14: Índice calidad individual de SDT en sector acuífero El Loa. 315

Figura 6.15: Interpolación de concentración (mg/L) de SO_4 en sector acuífero El Loa. 316

Figura 6.16: Índice calidad individual de SO_4 en sector acuífero El Loa. 316

Figura 6.17: Interpolación de concentración (mg/L) de Al en acuífero Los Choros.....317

Figura 6.18: Índice calidad individual de Al en acuífero Los Choros.....317

Figura 6.19: Interpolación de concentración (mg/L) de Ca en acuífero Los Choros. 318

Figura 6.20: Índice calidad individual de Ca en acuífero Los Choros. 318

Figura 6.21: Interpolación de concentración (mg/L) de Cl en acuífero Los Choros.....319

Figura 6.22: Índice calidad individual de Cl en acuífero Los Choros.....319

Figura 6.23: Interpolación de concentración (mg/L) de Fe en acuífero Los Choros.....320

Figura 6.24: Índice calidad individual de Fe en acuífero Los Choros.....320

Figura 6.25: Interpolación de concentración (mg/L) de Mg en acuífero Los Choros. 321

Figura 6.26: Índice calidad individual de Mg en acuífero Los Choros. 321

Figura 6.27: Interpolación de concentración (mg/L) de Na en acuífero Los Choros. 322

Figura 6.28: Índice calidad individual de Na en acuífero Los Choros. 322

Figura 6.29: Interpolación de concentración (mg/L) de NO_3 en acuífero Los Choros. 323

Figura 6.30: Índice calidad individual de NO_3 en acuífero Los Choros. 323

Figura 6.31: Interpolación de concentración (mg/L) de SDT en acuífero Los Choros. 324

Figura 6.32: Índice calidad individual de SDT en acuífero Los Choros. 324

Figura 6.33: Interpolación de concentración (mg/L) de SO_4 en acuífero Los Choros. 325

Figura 6.34: Índice calidad individual de SO_4 en acuífero Los Choros. 325

Figura 6.35: Interpolación de concentración (mg/L) de Ca en sector acuífero Aconcagua. .. 326

Figura 6.36: Índice de calidad individual de Ca en sector acuífero Aconcagua. 326

Figura 6.37: Interpolación de concentración (mg/L) de Cl en acuífero Aconcagua. 327

Figura 6.38: Índice de calidad individual de Cl en sector acuífero Aconcagua. 327

Figura 6.39: Interpolación de concentración (mg/L) de Fe en acuífero Aconcagua. 328

Figura 6.40: Índice de calidad individual de Fe en sector acuífero Aconcagua. 328

Figura 6.41: Interpolación de concentración (mg/L) de Mg en acuífero Aconcagua..... 329

Figura 6.42: Índice de calidad individual de Mg en sector acuífero Aconcagua. 329

Figura 6.43: Interpolación de concentración (mg/L) de Mn en acuífero Aconcagua..... 330

Figura 6.44: Índice de calidad individual de Mn en sector acuífero Aconcagua. 330

Figura 6.45: Interpolación de concentración (mg/L) de Na en acuífero Aconcagua. 331

Figura 6.46: Índice de calidad individual de Na en sector acuífero Aconcagua. 331

Figura 6.47: Interpolación de concentración (mg/L) de NO_3 en acuífero Aconcagua. 332

Figura 6.48: Índice de calidad individual de NO_3 en sector acuífero Aconcagua. 332

Figura 6.49: Interpolación de concentración (mg/L) de SDT en acuífero Aconcagua..... 333

Figura 6.50: Índice de calidad individual de SDT en sector acuífero Aconcagua. 333

Figura 6.51: Gráfico Biplot-variables sin rotación, factores 1, 2 y 3, sector acuífero El Loa. 334

Figura 6.52: Gráfico Biplot-variables con rotación ortogonal, factores 1, 2 y 3, sector acuífero El Loa. 335

Figura 6.53: Gráfico Biplot-variables sin rotación ortogonal, factores 1, 2 y 3, sector acuífero Los Choros. 336

Figura 6.54: Gráfico Biplot-variables con rotación ortogonal, factores 1, 2 y 3, sector acuífero Los Choros. 337

Figura 6.55: Gráfico Biplot-variables sin rotación ortogonal, factores 1, 2 y 3, sector acuífero Aconcagua. 338

Figura 6.56: Gráfico Biplot-variables con rotación ortogonal, factores 1, 2 y 3, sector acuífero Aconcagua. 339

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Ficha resumen de información disponible sector acuífero Lluta. 1

Tabla 1.2: Ficha resumen de información disponible sector acuífero Azapa. 4

Tabla 1.3: Ficha resumen de información disponible sector acuífero Pampa del Tamarugal. ... 7

Tabla 1.4: Ficha resumen de información disponible sector acuífero Salar de Coposa. 10

Tabla 1.5: Ficha resumen de información disponible sector acuífero El Loa. 13

Tabla 1.6: Ficha resumen de información disponible sector acuífero Los Choros. 16

Tabla 1.7: Ficha resumen de información disponible sector acuífero La Ligua. 19

Tabla 1.8: Ficha resumen de información disponible sector acuífero Aconcagua. 22

Tabla 1.9: Ficha resumen de información disponible sector acuífero Mapocho Alto. 25

Tabla 1.10: Ficha resumen de información disponible sector acuífero Maipo. 28

Tabla 1.11: Ficha resumen de información disponible sector acuífero Maitenlahue. 31

Tabla 1.12: Ficha resumen de información disponible sector acuífero Estero Las Cadenas. .. 34

Tabla 1.13: Estaciones de monitoreo nivel piezométrico sector acuífero Lluta. 37

Tabla 1.14: Estaciones de monitoreo nivel piezométrico en sector acuífero Azapa. 37

Tabla 1.15: Estaciones de monitoreo nivel piezométrico sector acuífero Pampa del Tamarugal. 38

Tabla 1.16: Estaciones de monitoreo nivel piezométrico sector acuífero El Loa. 39

Tabla 1.17: Estaciones de monitoreo nivel piezométrico sector acuífero Los Choros. 40

Tabla 1.18: Estaciones de monitoreo nivel piezométrico sector acuífero La Ligua. 41

Tabla 1.19: Estaciones de monitoreo nivel piezométrico sector acuífero Aconcagua. 41

Tabla 1.20: Estaciones de monitoreo nivel piezométrico sector acuífero Mapocho Alto. 43

Tabla 1.21: Estaciones de monitoreo nivel piezométrico sector acuífero Maipo. 43

Tabla 1.22: Estaciones de monitoreo nivel piezométrico sector acuífero Estero Las Cadenas. 45

Tabla 1.23: Estaciones de monitoreo calidad química sector acuífero Lluta. 86

Tabla 1.24: Estaciones de monitoreo calidad química sector acuífero Azapa. 87

Tabla 1.25: Estaciones de monitoreo calidad química sector acuífero Pampa del Tamarugal. 88

Tabla 1.26: Estaciones de monitoreo calidad química sector acuífero El Loa. 89

Tabla 1.27: Estaciones de monitoreo calidad química sector acuífero Los Choros. 90

Tabla 1.28: Estaciones de monitoreo calidad química sector acuífero La Ligua. 91

Tabla 1.29: Estaciones de monitoreo calidad química sector acuífero Aconcagua. 92

Tabla 1.30: Estaciones de monitoreo calidad química sector acuífero Mapocho Alto. 93

Tabla 1.31: Estaciones de monitoreo calidad química sector acuífero Maipo. 94

Tabla 2.1. Cuadro comparativo de las características de las metodologías evaluadas. 138

Tabla 2.2: Criterio de clasificación de la calidad de las aguas subterráneas 143

Tabla 2.3: Esquema de clasificación general simplificado. 144

Tabla 2.4: Clasificación espacio temporal. 146

Tabla 2.5: Descripción de códigos espacio temporales utilizados en la metodología. 146

Tabla 2.6: Estandarización del procedimiento para el nitrato. 153

Tabla 2.7: Posibles explicaciones de las calificaciones de GWQI. 156

Tabla 2.8: Definición de las clases para la construcción de GWQI y GWCI. 157

Tabla 2.9: Base de datos hidrogeológicos de los pozos 161

Tabla 2.10: Clasificación de las aguas para el caso de estudio del acuífero costero de Israel. 164

Tabla 3.1. Perímetros de zonas de protección alrededor de pozos, de acuerdo a la literatura especializada. 182

Tabla 4.1: Detalles de observaciones en acuífero El Loa. 207

Tabla 4.2: Base de datos utilizada (acuífero superior, 1999-2000), El Loa. 209

Tabla 4.3: Parámetros químicos medidos en terreno, sector acuífero Los Choros. 211

Tabla 4.4: Parámetros químicos medidos en laboratorio, Los Choros (Parte 1). 212

Tabla 4.5: Parámetros químicos medidos en laboratorio, Los Choros (Parte 2). 213

Tabla 4.6: Parámetros químicos medidos in situ, 1ª campaña Aconcagua. 214

Tabla 4.7: Parámetros químicos medidos laboratorio, 1ª campaña Aconcagua (Parte 1). 215

Tabla 4.8: Parámetros químicos medidos laboratorio, 1ª campaña Aconcagua (Parte 2). 216

Tabla 4.9: Parámetros químicos medidos en terreno, 2ª campaña Aconcagua. 217

Tabla 4.10: Parámetros químicos medidos en laboratorio, 2ª campaña Aconcagua (Parte 1). 218

Tabla 4.11: Parámetros químicos medidos en laboratorio, 2ª campaña Aconcagua (Parte 2). 219

Tabla 5.1: Base de datos química a nivel nacional en período 2000-2005. 300

Tabla 7.1: Ubicación de puntos de la red de monitoreo de calidad de aguas subterráneas de la DGA. 361

Tabla 7.2: Ubicación de puntos de red de monitoreo de calidad de aguas subterráneas propuesta para sector acuífero El Loa. 363

Tabla 7.3: Ubicación de puntos de red de monitoreo de calidad de aguas subterráneas propuesta para sector acuífero Los Choros. 364

Tabla 7.4: Ubicación de puntos de red de monitoreo de calidad de aguas subterráneas propuesta para sector acuífero Aconcagua. 365

1 ANTECEDENTES GENERALES DE LOS SECTORES ACUÍFERO

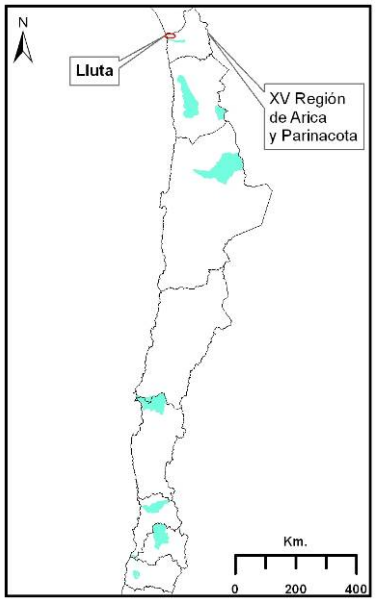
1.1 Fichas resumen de información disponible de sectores acuíferos

1.1.1 Sector acuífero Lluta

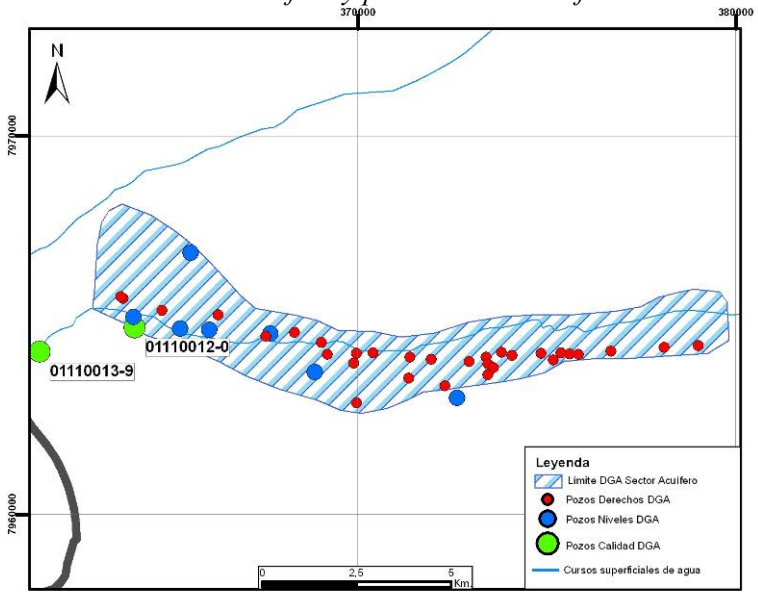
Tabla 1.1: Ficha resumen de información disponible sector acuífero Lluta.

SECTOR ACUÍFERO LLUTA XV Región de Arica y Parinacota			
		Nº de pozos con datos de química:	2
Tipo de acuífero (ubicación):	Costero	Superficie por punto (km^2):	16,17
Superficie acuífero (km^2):	32,34	Nº de pozos con datos de niveles:	5
Profundidad acuífero:	-	Superficie por punto(km^2):	6,47
Profundidad nivel piezométrico:	-	Nº de pozos con datos de derechos:	37
Caudal total otorgado (L/s):	312	Superficie por punto (km^2):	0,87

Localización sector acuífero



Detalle sector acuífero y pozos DGA con información



INFORMACIÓN DATOS DGA

Calidad química:

Nº de pozos:	2	*Extensión de los registros (años)*	
Nº de pozos vigentes:	0	5-9:	0
Promedio Registros por pozo:	21	9-12:	2
% de análisis con B. Iónico correcto:	98%	12-15:	0

Valores temporales (extensión de registro) de parámetros físico-químicos

Promedios

		Na (mg/L):	498,8	Cl (mg/L):	1.017,6
Cond. eléctrica (µmhos/cm):	3.987,7	Ca (mg/L):	271,7	HCO_3 (mg/L):	66,5
pH (u. pH):	8,0	Mg (mg/L):	57,4	SO_4 (mg/L):	531,6
		K (mg/L):	45,1	CO_3 (mg/L):	4,2

Máximos

		Na (mg/L):	671,0	Cl (mg/L):	1.477,4
Cond. eléctrica (µmhos/cm):	6.318,0	Ca (mg/L):	510,0	HCO_3 (mg/L):	144,3
pH (u. pH):	10,5	Mg (mg/L):	154,6	SO_4 (mg/L):	1.140,0
		K (mg/L):	68,0	CO_3 (mg/L):	15,2

Mínimos

		Na (mg/L):	431,9	Cl (mg/L):	749,7
Cond. eléctrica (µmhos/cm):	452,0	Ca (mg/L):	136,6	HCO_3 (mg/L):	8,4
pH (u. pH):	6,7	Mg (mg/L):	0,0	SO_4 (mg/L):	107,6
		K (mg/L):	4,7	CO_3 (mg/L):	0,0

Desviación estándar

		Na (mg/L):	44,4	Cl (mg/L):	115,1
Cond. eléctrica (µmhos/cm):	595,8	Ca (mg/L):	41,8	HCO_3 (mg/L):	13,9
pH (u. pH):	0,7	Mg (mg/L):	11,4	SO_4 (mg/L):	65,2
		K (mg/L):	7,8	CO_3 (mg/L):	2,8

Otros parámetros analizados:

Ag, Al, As, B, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Li, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, Zn, $P(PO_4)$

Datos Niveles:

Nº de Pozos:	5	*Extensión de los registros (años)*	
Nº de Pozos con cota:	0	0 - 10:	4
Nº de Pozos vigentes:	11	10 - 20:	9
Nº de Pozos suspendidos:	31	+ de 20:	13
Calidad de la información:	D		

B (Buena): Más de 20 pozos con buena calidad de coordenadas y cotas
R (Regular): Menos de 20 pozos con buena calidad de coordenadas y cotas
D (Deficiente): Menos de 20 pozos con coordenadas a corregir

Datos Derechos:

Nº Solicitudes:	37	*Usos*			
Aprobados, Ley 20017:	30	Agua Potable:	12	Industria:	0
Provisorios:	0	Riego:	369	Otros usos:	0
Pendientes:	6	Minería:	0	Sin información:	69
Denegados:	1				
Caudal total aprobado (L/s):	312				

INFORMACIÓN ESTUDIOS Y DOCUMENTOS RECOPILADOS

Nº Estudios considerados: 6

Nº Estudios útiles: 4

Calidad Química:

Nº Análisis químicos:	241	Nº Estudios con muestras en agua superficial:	2
Nº Puntos de muestreo:	49	Nº Estudios con muestras en agua subterránea:	1
Nº Puntos con medición temporal:	44	Nº de Estudios con datos nuevos:	1

Nº Estudios con parámetros principales:

Cond. eléctrica:	2	Mg:	1
pH:	2	Cl:	2
Na:	1	HCO_3	0
Ca:	1	SO_4	2

Nº Estudios con parámetros isotópicos:

$d^{18}O$:	0	d^2H:	0	Tritio:	0

Nº Estudios con otros parámetros:

CO_3:	0	Br:	0	Li:	0
As:	2	Cianuro:	0	M_2CO_3:	1
B:	2	CO_2:	0	Mn:	1
Cu:	1	Col Fec:	1	Mo:	1
Fe:	1	Col Totales:	1	OD:	1
Pb:	1	Color aparente:	1	RAS:	2
PO_4:	0	Cr:	1	RASO:	0
NO_3:	1	DBO_5:	1	S:	1
Nitrito:	0	Densidad:	0	Si O_2:	0
SS:	1	Dureza:	0	Sn:	1
ST:	4	F:	1	Zn:	1
Alc:	0	I:	0	Tº:	1
Al:	1	K:	1		

Nº Estudios con caracterización de:

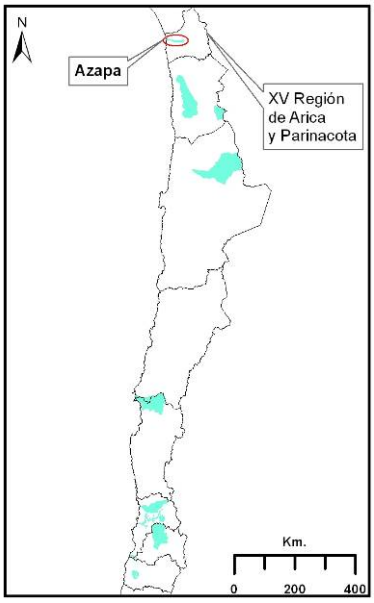
Niveles de agua:	1	Activ. prod. pot. contaminantes:	1
Uso de suelo:	3	Zona de riesgo tradicional:	3
Demanda ambiental suelos:	2	Zona disposición de riles:	0
Carga contaminante existente:	1	Descarga de riles:	0

1.1.2 Sector acuífero Azapa

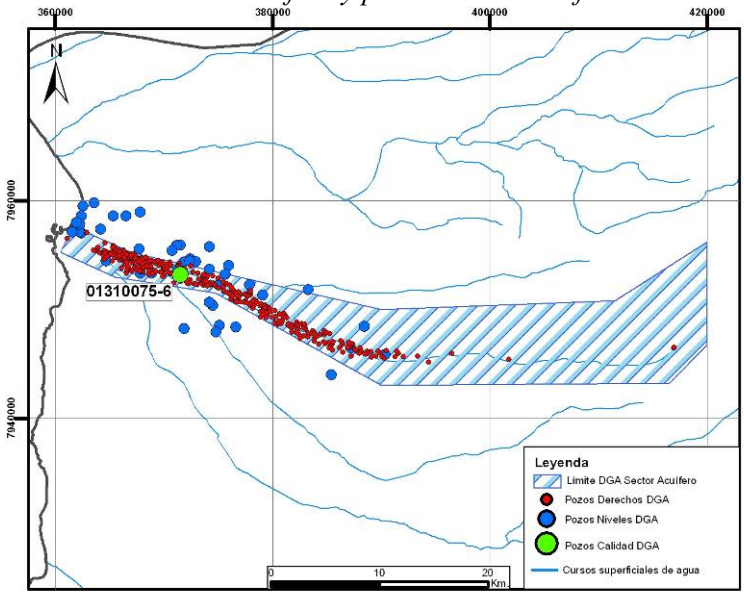
Tabla 1.2: Ficha resumen de información disponible sector acuífero Azapa.

SECTOR ACUÍFERO AZAPA ***XV Región de Arica y Parinacota***			
		Nº de pozos con datos de química:	1
Tipo de acuífero (ubicación):	Costero	Superficie por punto (km^2):	340,58
Superficie acuífero (km^2):	340,58	Nº de pozos con datos de niveles:	42
Profundidad acuífero:	-	Superficie por punto(km^2):	8,11
Profundidad nivel piezométrico:	-	Nº de pozos con datos de derechos:	453
Caudal total otorgado (L/s):	1.736	Superficie por punto (km^2):	0,75

Localización sector acuífero



Detalle sector acuífero y pozos DGA con información



INFORMACIÓN DATOS DGA

Calidad química:

Nº de pozos:	1	*Extensión de los registros (años)*	
Nº de pozos vigentes:	1	5-9:	0
Promedio Registros por pozo:	26	9-12:	1
% de análisis con B. Iónico correcto:	96 %	12-15:	0

Valores temporales (extensión de registro) de parámetros físico-químicos

Promedios

		Na (mg/L):	220,1	Cl (mg/L):	720,9
Cond. eléctrica (µmhos/cm):	3.281,1	Ca (mg/L):	426,9	HCO_3 (mg/L):	195,0
pH (u. pH):	7,4	Mg (mg/L):	42,8	SO_4 (mg/L):	486,3
		K (mg/L):	14,8	CO_3 (mg/L):	0,0

Máximos

		Na (mg/L):	309,1	Cl (mg/L):	851,9
Cond. eléctrica (µmhos/cm):	4.390,0	Ca (mg/L):	619,6	HCO_3 (mg/L):	292,3
pH (u. pH):	8,0	Mg (mg/L):	53,1	SO_4 (mg/L):	600,0
		K (mg/L):	177,5	CO_3 (mg/L):	0,0

Mínimos

		Na (mg/L):	158,9	Cl (mg/L):	552,4
Cond. eléctrica (µmhos/cm):	1.840,0	Ca (mg/L):	331,8	HCO_3 (mg/L):	46,0
pH (u. pH):	6,6	Mg (mg/L):	31,2	SO_4 (mg/L):	386,8
		K (mg/L):	6,0	CO_3 (mg/L):	0,0

Desviación estándar

		Na (mg/L):	39,1	Cl (mg/L):	76,7
Cond. eléctrica (µmhos/cm):	482,8	Ca (mg/L):	67,0	HCO_3 (mg/L):	75,2
pH (u. pH):	0,4	Mg (mg/L):	5,3	SO_4 (mg/L):	62,1
		K (mg/L):	33,2	CO_3 (mg/L):	0,0

Otros parámetros analizados:
Ag, Al, As, B, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, Zn, $P(PO_4)$

Datos Niveles:

Nº de Pozos:	42	*Extensión de los registros (años)*	
Nº de Pozos con cota:	6	0 - 10:	20
Nº de Pozos vigentes:	11	10 - 20:	9
Nº de Pozos suspendidos:	31	+ de 20:	13
Calidad de la información:	D		

B (Buena): Más de 20 pozos con buena calidad de coordenadas y cotas
R (Regular): Menos de 20 pozos con buena calidad de coordenadas y cotas
D (Deficiente): Menos de 20 pozos con coordenadas a corregir

Datos Derechos :

Nº Solicitudes:	453	*Usos*			
Aprobados, Ley 20017:	426	Agua Potable:	15	Industria:	0
Provisorios:	0	Riego:	369	Otros usos:	0
Pendientes:	12	Minería:	0	Sin información:	69
Denegados:	15				
Caudal total aprobado (L/s):	1.736				

INFORMACIÓN ESTUDIOS Y DOCUMENTOS RECOPILADOS

Nº Estudios considerados:	5
Nº Estudios útiles:	5

Calidad Química:

Nº Análisis químicos:	375	Nº Estudios con muestras en agua superficial:	2
Nº Puntos de muestreo:	111	Nº Estudios con muestras en agua subterránea:	4
Nº Puntos con medición temporal:	44	Nº de Estudios con datos nuevos:	1

Nº Estudios con parámetros principales:

Cond. eléctrica:	3	Mg:	2
pH:	3	Cl:	3
Na:	3	HCO_3:	3
Ca:	3	SO_4:	3

Nº Estudios con parámetros isotópicos:

$d^{18}O$:	0	d^2H:	0	Tritio:	0

Nº Estudios con otros parámetros:

CO_3:	1	Br:	0	Li:	1
As:	1	Cianuro:	0	M_2CO_3:	0
B:	1	CO_2:	0	Mn:	1
Cu:	1	Col Fec:	0	Mo:	0
Fe:	1	Col Totales:	0	OD:	0
Pb:	0	Color aparente:	0	RAS:	2
PO_4:	1	Cr:	0	RASO:	1
NO_3:	1	DBO_5:	0	S:	0
Nitrito:	0	Densidad:	0	Si O_2:	1
SS:	1	Dureza:	2	Sn:	0
ST:	4	F:	1	Zn:	1
Alc:	0	I:	0	Tº:	0
Al:	1	K:	1		

Nº Estudios con caracterización de:

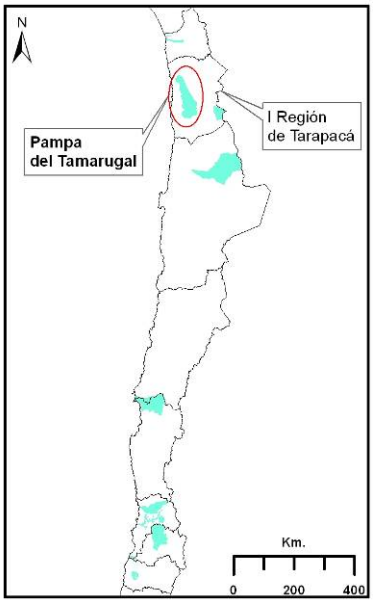
Niveles de agua:	3	Activ. prod. pot. contaminantes:	1
Uso de suelo:	3	Zona de riesgo tradicional:	3
Demanda ambiental suelos:	1	Zona disposición de riles:	0
Carga contaminante existente:	1	Descarga de riles:	0

1.1.3 Sector acuífero Pampa del Tamarugal

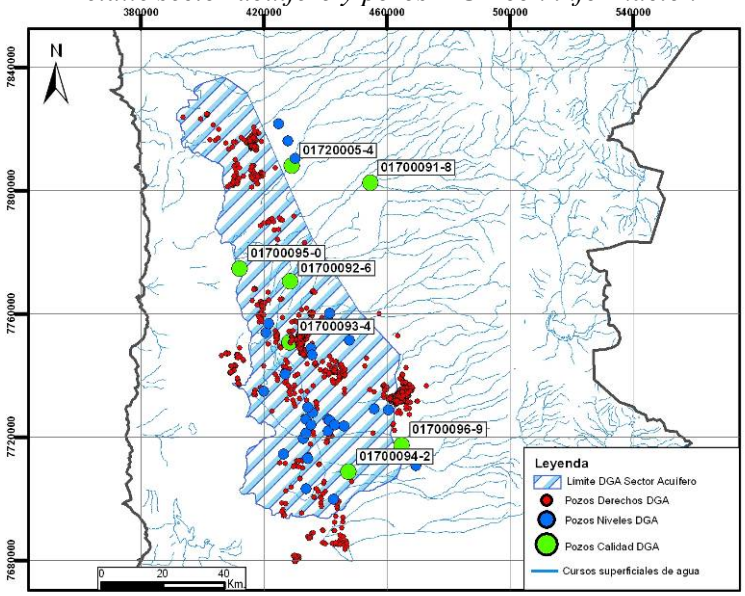
Tabla 1.3: Ficha resumen de información disponible sector acuífero Pampa del Tamarugal.

SECTOR ACUÍFERO PAMPA DEL TAMARUGAL ***I Región de Tarapacá***			
		Nº de pozos con datos de química:	7
Tipo de acuífero (localización):	Dep. Intermedia	Superficie por punto (km^2):	692,19
Superficie acuífero (km^2):	4.845,31	Nº de pozos con datos de niveles:	31
Profundidad acuífero:	-	Superficie por punto(km^2):	156,30
Profundidad nivel piezométrico:	-	Nº de pozos con datos de derechos:	2011
Caudal total otorgado (L/s):	1.895	Superficie por punto (km^2):	2,41

Localización sector acuífero



Detalle sector acuífero y pozos DGA con información



INFORMACIÓN DATOS DGA

Calidad química:

Nº de pozos:	7	*Extensión de los registros (años)*	
Nº de pozos vigentes:	7	5-9:	0
Promedio Registros por pozo:	26	9-12:	7
% de análisis con balance iónico correcto:	95 %	12-15:	0

Valores temporales (extensión de registro) de parámetros físico-químicos

Promedios

		Na (mg/L):	424,6	Cl (mg/L):	620,3
Cond. eléctrica (µmhos/cm):	2.814,1	Ca (mg/L):	163,0	HCO_3 (mg/L):	119,9
pH (u. pH):	8,2	Mg (mg/L):	11,6	SO_4 (mg/L):	419,2
		K (mg/L):	40,4	CO_3 (mg/L):	12,5

Máximos

		Na (mg/L):	1.020,0	Cl (mg/L):	1.611,8
Cond. eléctrica (µmhos/cm):	6.550,0	Ca (mg/L):	806,4	HCO_3 (mg/L):	338,2
pH (u. pH):	10,2	Mg (mg/L):	48,9	SO_4 (mg/L):	2.274,2
		K (mg/L):	316,6	CO_3 (mg/L):	74,5

Mínimos

		Na (mg/L):	96,6	Cl (mg/L):	2,3
Cond. eléctrica (µmhos/cm):	3,7	Ca (mg/L):	0,1	HCO_3 (mg/L):	0,0
pH (u. pH):	3,5	Mg (mg/L):	0,0	SO_4 (mg/L):	0,0
		K (mg/L):	2,5	CO_3 (mg/L):	0,0

Desviación estándar

		Na (mg/L):	47,4	Cl (mg/L):	81,4
Cond. eléctrica (µmhos/cm):	582,6	Ca (mg/L):	38,0	HCO_3 (mg/L):	35,5
pH (u. pH):	0,6	Mg (mg/L):	5,2	SO_4 (mg/L):	122,6
		K (mg/L):	26,1	CO_3 (mg/L):	10,4

Otros parámetros analizados:

Ag, Al, As, B, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Li, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, Zn, $P(PO_4)$

Dato Niveles:

Nº de Pozos:	31	*Extensión de los registros (años)*	
Nº de Pozos con cota:	26	0 - 10:	11
Nº de Pozos vigentes:	14	10 - 20:	9
Nº de Pozos suspendidos:	17	+ de 20:	11
Calidad de la información:	B		

B (Buena): Más de 20 pozos con buena calidad de coordenadas y cotas
R (Regular): Menos de 20 pozos con buena calidad de coordenadas y cotas
D (Deficiente): Menos de 20 pozos con coordenadas a corregir

Datos Derechos:

Nº Solicitudes:	2.011	*Usos*			
Aprobados, Ley 20017:	1.210	Agua Potable:	43	Industria:	0
Provisorios:	0	Riego:	1.296	Otros usos:	0
Pendientes:	162	Minería:	359	Sin información:	313
Denegados:	639				
Caudal total aprobado (L/s):	1.895				

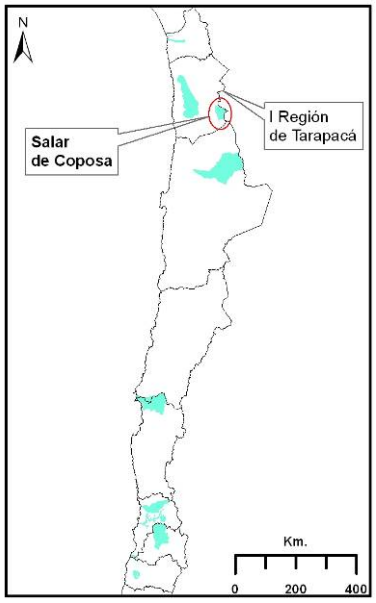
INFORMACIÓN ESTUDIOS Y DOCUMENTOS RECOPILADOS					
Nº Estudios considerados: 4					
Nº Estudios útiles: 3					
Calidad Química:					
Nº Análisis químicos: 0			Nº Estudios con muestras en agua superficial: 1		
Nº Puntos de muestreo: 0			Nº Estudios con muestras en agua subterránea: 2		
Nº Puntos con medición temporal: 0			Nº de Estudios con datos nuevos: 0		
Nº Estudios con parámetros principales:					
Cond. eléctrica: 3			Mg: 0		
pH: 0			Cl: 0		
Na: 0			HCO_3: 0		
Ca: 0			SO_4: 0		
Nº Estudios con parámetros isotópicos:					
$d^{18}O$: 1		d^2H: 1		Tritio: 1	
Nº Estudios con otros parámetros:					
CO_3: 0	Br: 0		Li: 0		
As: 0	Cianuro: 0		M_2CO_3: 0		
B: 0	CO_2: 0		Mn: 0		
Cu: 0	Col Fec: 0		Mo: 0		
Fe: 0	Col Totales: 0		OD: 0		
Pb: 0	Color aparente: 0		RAS: 0		
PO_4: 0	Cr: 0		RASO: 0		
NO_3: 0	DBO_5: 0		S: 0		
Nitrito: 0	Densidad: 0		$Si O_2$: 0		
SS: 1	Dureza: 0		Sn: 0		
ST: 2	F: 0		Zn: 0		
Alc: 0	I: 0		Tº: 0		
Al: 0	K: 0				
Nº Estudios con caracterización de:					
Niveles de agua: 3			Activ. prod. pot. contaminantes: 0		
Uso de suelo: 0			Zona de riesgo tradicional: 1		
Demanda ambiental suelos: 1			Zona disposición de riles: 0		
Carga contaminante existente: 0			Descarga de riles: 0		

1.1.4 Sector acuífero Salar de Coposa

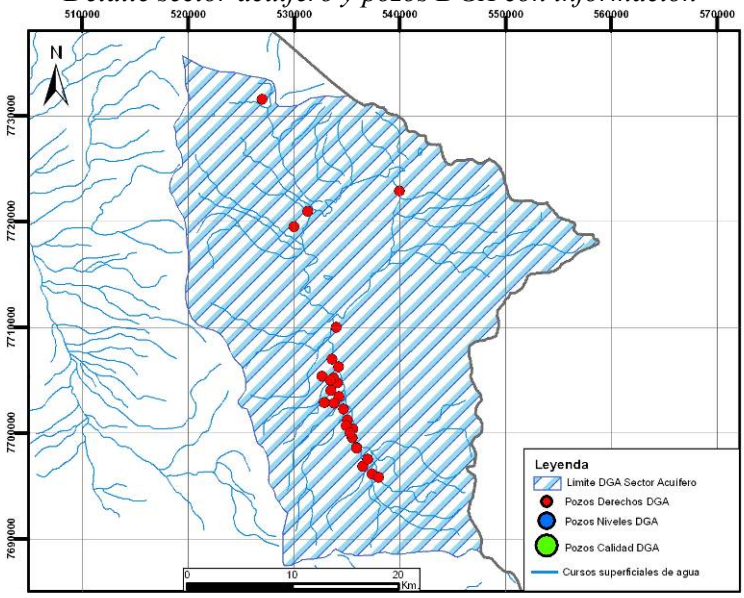
Tabla 1.4: Ficha resumen de información disponible sector acuífero Salar de Coposa.

SECTOR ACUÍFERO SALAR DE COPOSA *I Región de Tarapacá*			
		Nº de pozos con datos de química:	0
Tipo de acuífero (localización):	Altiplánico	Superficie por punto (km^2):	-
Superficie acuífero (km^2):	1.111,09	Nº de pozos con datos de niveles:	0
Profundidad acuífero:	-	Superficie por punto(km^2):	-
Profundidad nivel piezométrico:	-	Nº de pozos con datos de derechos:	37
Caudal total entregado (L/s):	1.041	Superficie por punto (km^2):	30,03

Localización sector acuífero



Detalle sector acuífero y pozos DGA con información



INFORMACIÓN DATOS DGA

Calidad química:

Nº de pozos:	0	*Extensión de los registros (años)*	
Nº de pozos vigentes:	-	5-9:	-
Promedio Registros por pozo:	-	9-12:	-
% de análisis con B. Iónico correcto:	-	12-15:	-

Valores temporales (extensión de registro) de parámetros físico-químicos

Promedios:

		Na (mg/L):	-	Cl (mg/L):	-
Cond. eléctrica (µmhos/cm):	-	Ca (mg/L):	-	HCO_3 (mg/L):	-
pH (u. pH):	-	Mg (mg/L):	-	SO_4 (mg/L):	-
		K (mg/L):	-	CO_3 (mg/L):	-

Máximos

		Na (mg/L):	-	Cl (mg/L):	-
Cond. eléctrica (µmhos/cm):	-	Ca (mg/L):	-	HCO_3 (mg/L):	-
pH (u. pH):	-	Mg (mg/L):	-	SO_4 (mg/L):	-
		K (mg/L):	-	CO_3 (mg/L):	-

Mínimos

		Na (mg/L):	-	Cl (mg/L):	-
Cond. eléctrica (µmhos/cm):	-	Ca (mg/L):	-	HCO_3 (mg/L):	-
pH (u. pH):	-	Mg (mg/L):	-	SO_4 (mg/L):	-
		K (mg/L):	-	CO_3 (mg/L):	-

Desviación estándar

		Na (mg/L):	-	Cl (mg/L):	-
Cond. eléctrica (µmhos/cm):	-	Ca (mg/L):	-	HCO_3 (mg/L):	-
pH (u. pH):	-	Mg (mg/L):	-	SO_4 (mg/L):	-
		K (mg/L):	-	CO_3 (mg/L):	-

Otros parámetros analizados:

-

Dato Niveles:

Nº de Pozos:	0	*Extensión de los registros (años)*	
Nº de Pozos con cota:	-	0 - 10:	-
Nº de Pozos vigentes:	-	10 - 20:	-
Nº de Pozos suspendidos:	-	+ de 20:	-
Calidad de la información:	D		

B (Buena): Más de 20 pozos con buena calidad de coordenadas y cotas
R (Regular): Menos de 20 pozos con buena calidad de coordenadas y cotas
D (Deficiente): Menos de 20 pozos con coordenadas a corregir

Datos Derechos :

Nº Solicitudes:	37		*Usos*		
Aprobados, Ley 20017:	21	Agua Potable:	2	Industria:	0
Provisorios:	0	Riego:	0	Otros usos:	0
Pendientes:	0	Minería:	33	Sin información:	2
Denegados:	18				
Caudal total aprobado (L/s):	1.041				

INFORMACIÓN ESTUDIOS Y DOCUMENTOS RECOPILADOS					
Nº Estudios considerados: 1					
Nº Estudios útiles: 1					
Calidad Química:					
Nº Análisis químicos: 24			Nº Estudios con muestras en agua superficial: 1		
Nº Puntos de muestreo: 24			Nº Estudios con muestras en agua subterránea: 1		
Nº Puntos con medición temporal: 0			Nº de Estudios con datos nuevos: 0		
Nº Estudios con parámetros principales:					
Cond. eléctrica: 1			Mg: 1		
pH: 1			Cl: 1		
Na: 1			HCO_3: 0		
Ca: 1			SO_4: 1		
Nº Estudios con parámetros isotópicos:					
$d^{18}O$: 1		d^2H: 1		Tritio: 0	
Nº Estudios con otros parámetros:					
CO_3: 0		Br: 1		Li: 1	
As: 1		Cianuro: 0		M_2CO_3: 0	
B: 1		CO_2: 1		Mn: 0	
Cu: 0		Col Fec: 0		Mo: 0	
Fe: 1		Col Totales: 0		OD: 1	
Pb: 0		Color aparente: 0		RAS: 0	
PO_4: 0		Cr: 0		RASO: 0	
NO_3: 1		DBO_5: 0		S: 0	
Nitrito: 0		Densidad: 1		$Si O_2$: 1	
SS: 0		Dureza: 0		Sn: 0	
ST: 0		F: 0		Zn: 0	
Alc: 1		I: 1		Tº: 1	
Al: 1		K: 1			
Nº Estudios con caracterización de:					
Niveles de agua: 0			Activ. prod. pot. contaminantes: 1		
Uso de suelo: 0			Zona de riesgo tradicional: 0		
Demanda ambiental suelos: 0			Zona disposición de riles: 0		
Carga contaminante existente: 0			Descarga de riles: 0		

1.1.5 Sector acuífero El Loa

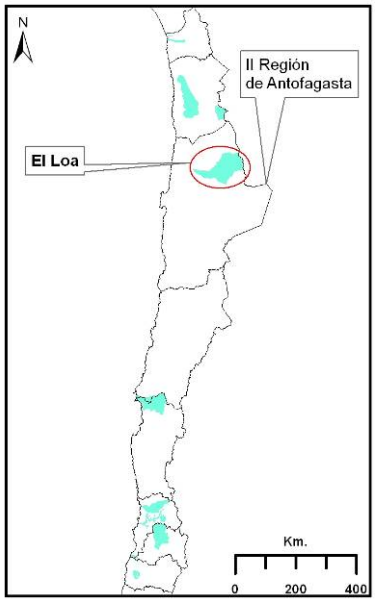
Tabla 1.5: Ficha resumen de información disponible sector acuífero El Loa.

SECTOR ACUÍFERO RÍO LOA

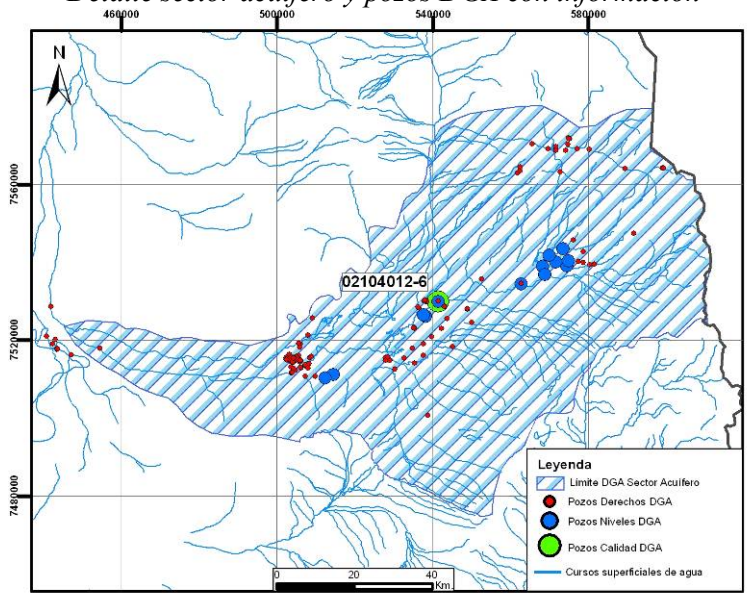
II Región de Antofagasta

		Nº de pozos con datos de química:	1
Tipo de acuífero (localización):	Altiplánico	Superficie por punto (km^2):	7.950,38
Superficie acuífero (km^2):	7.950,38	Nº de pozos con datos de niveles:	14
Profundidad acuífero:	-	Superficie por punto(km^2):	567,88
Profundidad nivel piezométrico:	-	Nº de pozos con datos de derechos:	206
Caudal total otorgado (L/s):	2.805	Superficie por punto (km^2):	38,59

Localización sector acuífero



Detalle sector acuífero y pozos DGA con información



INFORMACIÓN DATOS DGA

Calidad química:

Nº de pozos:	1	*Extensión de los registros (años)*	
Nº de pozos vigentes:	1	5-9:	0
Nº promedio análisis por pozo:	28	9-12:	1
% de análisis con B. Iónico correcto:	87%	12-15:	0

Valores temporales (extensión de registro) de parámetros físico-químicos

Promedios

		Na (mg/L):	785,2	Cl (mg/L):	1.772,3
Cond. eléctrica (µmhos/cm):	5.714,4	Ca (mg/L):	101,6	HCO_3 (mg/L):	215,0
pH (u. pH):	7,9	Mg (mg/L):	67,8	SO_4 (mg/L):	65,0
		K (mg/L):	80,2	CO_3 (mg/L):	4,3

Máximos

		Na (mg/L):	2.980,0	Cl (mg/L):	5.533,8
Cond. eléctrica (µmhos/cm):	16.209,0	Ca (mg/L):	184,2	HCO_3 (mg/L):	381,4
pH (u. pH):	8,5	Mg (mg/L):	264,0	SO_4 (mg/L):	750,0
		K (mg/L):	234,0	CO_3 (mg/L):	38,4

Mínimos

		Na (mg/L):	87,5	Cl (mg/L):	634,6
Cond. eléctrica (µmhos/cm):	2.282,0	Ca (mg/L):	38,0	HCO_3 (mg/L):	135,8
pH (u. pH):	6,6	Mg (mg/L):	25,0	SO_4 (mg/L):	0,0
		K (mg/L):	3,9	CO_3 (mg/L):	0,0

Desviación estándar

		Na (mg/L):	642,6	Cl (mg/L):	1.380,0
Cond. eléctrica (µmhos/cm):	3.664,4	Ca (mg/L):	43,7	HCO_3 (mg/L):	68,5
pH (u. pH):	0,5	Mg (mg/L):	53,1	SO_4 (mg/L):	161,2
		K (mg/L):	61,0	CO_3 (mg/L):	9,2

Otros parámetros analizados:

Ag, Al, As, B, Cd, Co, Cr, Cu, Fe , Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, Zn, $P(PO_4)$

Datos Niveles:

Nº de Pozos:	14	*Extensión de los registros (años)*	
Nº de Pozos con cota:	8	0 - 10:	5
Nº de Pozos vigentes:	8	10 - 20:	9
Nº de Pozos suspendidos:	6	+ de 20:	0
Calidad de la información:	R		

B (Buena): Más de 20 pozos con buena calidad de coordenadas y cotas
R (Regular): Menos de 20 pozos con buena calidad de coordenadas y cotas
D (Deficiente): Menos de 20 pozos con coordenadas a corregir

Datos Derechos :

Nº Solicitudes:	206		*Usos*		
Aprobados, Ley 20017:	117	Agua Potable:	0	Industria:	8
Provisorios:	0	Riego:	20	Otros usos:	58
Pendientes:	10	Minería:	108	Sin información:	14
Denegados:	79				
Caudal total aprobado (L/s):	2.805				

INFORMACIÓN ESTUDIOS Y DOCUMENTOS RECOPILADOS					
Nº Estudios considerados: 4					
Nº Estudios útiles: 3					
Calidad Química:					
Nº Análisis químicos:	249	Nº Estudios con muestras en agua superficial:	1		
Nº Puntos de muestreo:	128	Nº Estudios con muestras en agua subterránea:	2		
Nº Puntos con medición temporal:	67	Nº de Estudios con datos nuevos:	2		
Nº Estudios con parámetros principales:					
Cond. eléctrica:	2	Mg:	1		
pH:	1	Cl:	1		
Na:	1	HCO_3:	1		
Ca:	1	SO_4:	1		
Nº Estudios con parámetros isotópicos:					
$d^{18}O$:	2	d^2H:	2	Tritio:	2
Nº Estudios con otros parámetros:					
CO_3:	1	Br:	0	Li:	1
As:	1	Cianuro:	0	M_2CO_3:	0
B:	2	CO_2:	0	Mn:	0
Cu:	0	Col Fec:	0	Mo:	0
Fe:	0	Col Totales:	0	OD:	0
Pb:	0	Color aparente:	0	RAS:	0
PO_4:	0	Cr:	0	RASO:	0
NO_3:	2	DBO_5:	0	S:	0
Nitrito:	1	Densidad:	0	Si O_2:	1
SS:	0	Dureza:	0	Sn:	0
ST:	1	F:	0	Zn:	0
Alc:	1	I:	0	Tº:	1
Al:	0	K:	1		
Nº Estudios con caracterización de:					
Niveles de agua:	1	Activ. prod. pot. contaminantes:	1		
Uso de suelo:	0	Zona de riesgo tradicional:	0		
Demanda ambiental suelos:	0	Zona disposición de riles:	0		
Carga contaminante existente:	0	Descarga de riles:	0		

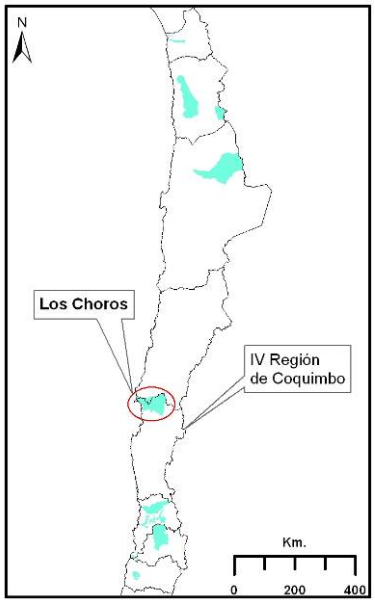
1.1.6 Sector acuífero Los Choros

Tabla 1.6: Ficha resumen de información disponible sector acuífero Los Choros.

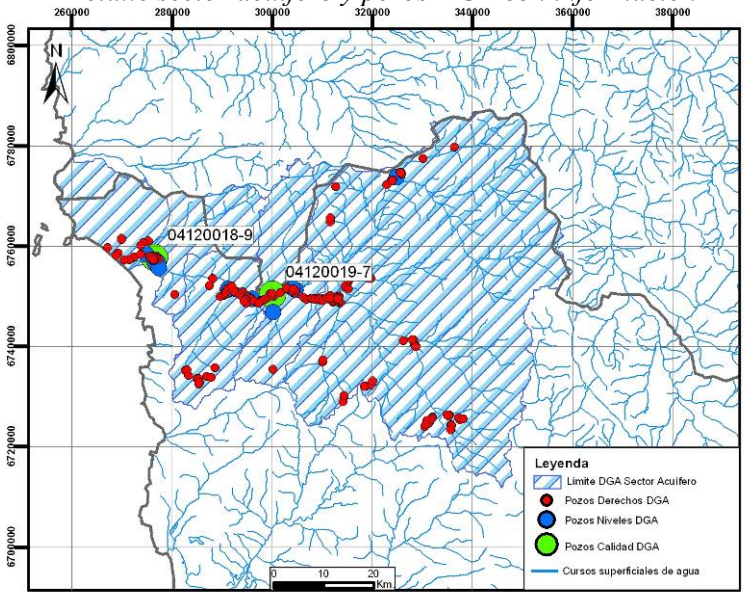
SECTOR ACUÍFERO LOS CHOROS
IV Región de Coquimbo

		Nº de pozos con datos de química:	2
Tipo de acuífero (localización):	Costero	Superficie por punto (km^2):	7.139,86
Superficie acuífero (km^2):	14.279,71	Nº de pozos con datos de niveles:	13
Profundidad acuífero:	-	Superficie por punto(km^2):	1.098,94
Profundidad nivel piezométrico:	-	Nº de pozos con datos de derechos:	316
Caudal total otorgado (L/s):	3.476	Superficie por punto (km^2):	45,19

Localización sector acuífero



Detalle sector acuífero y pozos DGA con información



INFORMACIÓN DATOS DGA

Calidad química:

Nº de pozos:	2	*Extensión de los registros (años)*	
Nº de pozos vigentes:	2	5-9:	0
Nº promedio análisis por pozo:	38	9-12:	0
% de análisis con B. Iónico correcto:	92 %	12-15:	2

Valores temporales (extensión de registro) de parámetros físico-químicos

Promedios

		Na (mg/L):	118,6	Cl (mg/L):	166,0
Cond. eléctrica (µmhos/cm):	977,7	Ca (mg/L):	55,8	HCO_3 (mg/L):	153,2
pH (u. pH):	8,0	Mg (mg/L):	21,1	SO_4 (mg/L):	120
		K (mg/L):	6,0	CO_3 (mg/L):	0,8

Máximos

		Na (mg/L):	170,5	Cl (mg/L):	239,8
Cond. eléctrica (µmhos/cm):	1.630,0	Ca (mg/L):	123,6	HCO_3 (mg/L):	219,7
pH (u. pH):	9,4	Mg (mg/L):	42,6	SO_4 (mg/L):	260,0
		K (mg/L):	67,2	CO_3 (mg/L):	17,0

Mínimos

		Na (mg/L):	90,2	Cl (mg/L):	104,6
Cond. eléctrica (µmhos/cm):	217,9	Ca (mg/L):	4,8	HCO_3 (mg/L):	97,3
pH (u. pH):	6,7	Mg (mg/L):	2,0	SO_4 (mg/L):	0,0
		K (mg/L):	1,6	CO_3 (mg/L):	0,0

Desviación estándar

		Na (mg/L):	14,1	Cl (mg/L):	32,4
Cond. eléctrica (µmhos/cm):	259,5	Ca (mg/L):	29,0	HCO_3 (mg/L):	29,7
pH (u. pH):	0,5	Mg (mg/L):	9,9	SO_4 (mg/L):	69,8
		K (mg/L):	5,6	CO_3 (mg/L):	2,8

Otros parámetros analizados:

Ag, Al, As, B, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, Zn, $N(NO_2)$, $P(PO_4)$

Datos Niveles:

Nº de Pozos:	13	*Extensión de los Registros (años)*	
Nº de Pozos con cota:	0	0 - 10:	0
Nº de Pozos vigentes:	13	10 - 20:	2
Nº de Pozos suspendidos:	0	+ de 20:	11
Calidad de la información:	D		

B (Buena): Más de 20 pozos con buena calidad de coordenadas y cotas
R (Regular): Menos de 20 pozos con buena calidad de coordenadas y cotas
D (Deficiente): Menos de 20 pozos con coordenadas a corregir

Datos Derechos :

Nº Solicitudes:	316	*Usos*			
Aprobados, Ley 20017:	257	Agua Potable:	28	Industria:	0
Provisorios:	0	Riego:	263	Otros usos:	0
Pendientes:	4	Minería:	108	Sin información:	2
Denegados:	55				
Caudal total aprobado (L/s):	3.476				

INFORMACIÓN ESTUDIOS Y DOCUMENTOS RECOPILADOS					
Nº Estudios considerados:	7				
Nº Estudios útiles:	7				
Calidad Química:					
Nº Análisis químicos:	46	Nº Estudios con muestras en agua superficial:	0		
Nº Puntos de muestreo:	34	Nº Estudios con muestras en agua subterránea:	2		
Nº Puntos con medición temporal:	12	Nº de Estudios con datos nuevos:	2		
Nº Estudios con parámetros principales:					
Cond. eléctrica:	2	Mg:	2		
pH:	2	Cl:	2		
Na:	2	HCO_3:	2		
Ca:	2	SO_4:	2		
Nº Estudios con parámetros isotópicos:					
$d^{18}O$:	0	d^2H:	0	Tritio:	0
Nº Estudios con otros parámetros:					
CO_3:	1	Br:	0	Li:	0
As:	0	Cianuro:	0	M_2CO_3:	0
B:	0	CO_2:	0	Mn:	0
Cu:	0	Col Fec:	0	Mo:	0
Fe:	0	Col Totales:	0	OD:	0
Pb:	0	Color aparente:	0	RAS:	1
PO_4:	0	Cr:	0	RASO:	0
NO_3:	2	DBO_5:	0	S:	0
Nitrito:	1	Densidad:	0	Si O_2:	1
SS:	1	Dureza:	1	Sn:	0
ST:	2	F:	0	Zn:	0
Alc:	0	I:	0	Tº:	1
Al:	0	K:	1		
Nº Estudios con caracterización de:					
Niveles de agua:	7	Activ. prod. pot. contaminantes:	0		
Uso de suelo:	1	Zona de riesgo tradicional:	0		
Demanda ambiental suelos:	0	Zona disposición de riles:	0		
Carga contaminante existente:	0	Descarga de riles:	0		

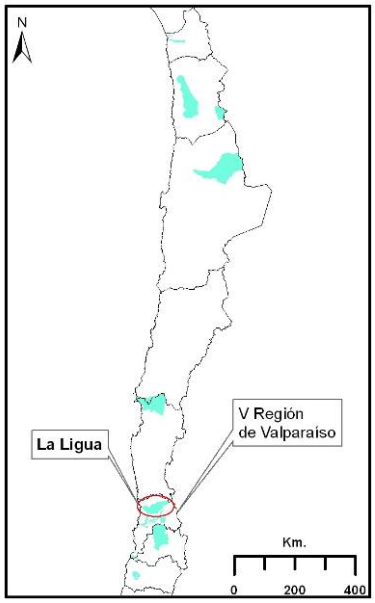
1.1.7 Sector acuífero La Ligua

Tabla 1.7: Ficha resumen de información disponible sector acuífero La Ligua.

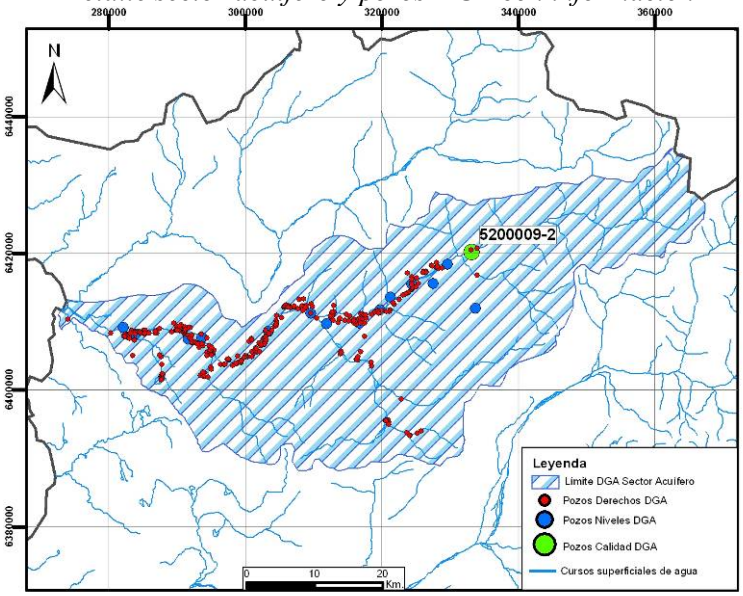
SECTOR ACUÍFERO LA LIGUA
V Región de Valparaíso

		Nº de pozos con datos de química:	2
Tipo de acuífero (localización):	Dep. Intermedia	Superficie por punto (km^2):	992,95
Superficie acuífero (km^2):	1.985,89	Nº de pozos con datos de niveles:	15
Profundidad acuífero:	-	Superficie por punto(km^2):	132,39
Profundidad nivel piezométrico:	-	Nº de pozos con datos de derechos:	336
Caudal total otorgado (L/s):	1.243	Superficie por punto (km^2):	5,91

Localización sector acuífero



Detalle sector acuífero y pozos DGA con información



INFORMACIÓN DATOS DGA

Calidad química:

Nº de pozos:	1	*Extensión de los registros (años)*	
Nº de pozos vigentes:	0	5-9:	0
Nº promedio análisis por pozo:	17	9-12:	1
% de análisis con B. Iónico correcto:	80 %	12-15:	0

Valores temporales (extensión de registro) de parámetros físico-químicos

Promedios

		Na (mg/L):	14,8	Cl (mg/L):	11,7
Cond. eléctrica (µmhos/cm):	282,9	Ca (mg/L):	39,3	HCO_3 (mg/L):	122,5
pH (u. pH):	7,6	Mg (mg/L):	7,4	SO_4 (mg/L):	33,0
		K (mg/L):	1,4	CO_3 (mg/L):	2,5

Máximos

		Na (mg/L):	18,4	Cl (mg/L):	16,8
Cond. eléctrica (µmhos/cm):	384,0	Ca (mg/L):	52,0	HCO_3 (mg/L):	179,1
pH (u. pH):	8,7	Mg (mg/L):	9,9	SO_4 (mg/L):	46,0
		K (mg/L):	2,5	CO_3 (mg/L):	20,5

Mínimos

		Na (mg/L):	8,1	Cl (mg/L):	6,5
Cond. eléctrica (µmhos/cm):	133,0	Ca (mg/L):	11,9	HCO_3 (mg/L):	14,0
pH (u. pH):	6,5	Mg (mg/L):	2,0	SO_4 (mg/L):	0,1
		K (mg/L):	1,0	CO_3 (mg/L):	0,0

Desviación estándar

		Na (mg/L):	3,3	Cl (mg/L):	2,5
Cond. eléctrica (µmhos/cm):	95,0	Ca (mg/L):	13,7	HCO_3 (mg/L):	48,4
pH (u. pH):	0,7	Mg (mg/L):	2,5	SO_4 (mg/L):	14,4
		K (mg/L):	0,5	CO_3 (mg/L):	6,1

Otros parámetros analizados:

-

Datos Niveles:

Nº de Pozos:	15	*Extensión de los registros (años)*	
Nº de Pozos con cota:	5	0 - 10:	4
Nº de Pozos vigentes:	13	10 - 20:	2
Nº de Pozos suspendidos:	2	+ de 20:	9
Calidad de la información:	R		

B (Buena): Más de 20 pozos con buena calidad de coordenadas y cotas
R (Regular): Menos de 20 pozos con buena calidad de coordenadas y cotas
D (Deficiente): Menos de 20 pozos con coordenadas a corregir

Datos Derechos :

Nº Solicitudes:	336		*Usos*		
Aprobados, Ley 20017:	245	Agua Potable:	41	Industria:	0
Provisorios:	0	Riego:	279	Otros usos:	0
Pendientes:	5	Minería:	12	Sin información:	1
Denegados:	86				
Caudal total aprobado (L/s):	1.243				

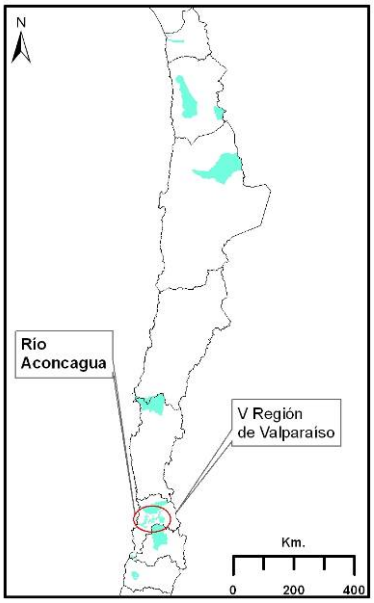
INFORMACIÓN ESTUDIOS Y DOCUMENTOS RECOPILADOS					
Nº Estudios considerados:	4				
Nº Estudios útiles:	3				
Calidad Química:					
Nº Análisis químicos:	30	Nº Estudios con muestras en agua superficial:	1		
Nº Puntos de muestreo:	30	Nº Estudios con muestras en agua subterránea:	1		
Nº Puntos con medición temporal:	0	Nº de Estudios con datos nuevos:	1		
Nº Estudios con parámetros principales:					
Cond. eléctrica:	1	Mg:	1		
pH:	0	Cl:	1		
Na:	1	HCO_3:	1		
Ca:	1	SO_4:	0		
Nº Estudios con parámetros isotópicos:					
$d^{18}O$:	0	d^2H:	0	Tritio:	0
Nº Estudios con otros parámetros:					
CO_3:	1	Br:	0	Li:	0
As:	0	Cianuro:	0	M_2CO_3:	0
B:	1	CO_2:	0	Mn:	1
Cu:	0	Col Fec:	0	Mo:	0
Fe:	1	Col Totales:	0	OD:	0
Pb:	0	Color aparente:	0	RAS:	0
PO_4:	0	Cr:	0	RASO:	0
NO_3:	1	DBO_5:	0	S:	0
Nitrito:	0	Densidad:	0	Si O_2:	0
SS:	0	Dureza:	0	Sn:	0
ST:	0	F:	0	Zn:	0
Alc:	0	I:	0	Tº:	0
Al:	0	K:	1		
Nº Estudios con caracterización de:					
Niveles de agua:	3	Activ. prod. pot. contaminantes:	1		
Uso de suelo:	1	Zona de riesgo tradicional:	2		
Demanda ambiental suelos:	0	Zona disposición de riles:	0		
Carga contaminante existente:	1	Descarga de riles:	0		

1.1.8 Sector acuífero Aconcagua

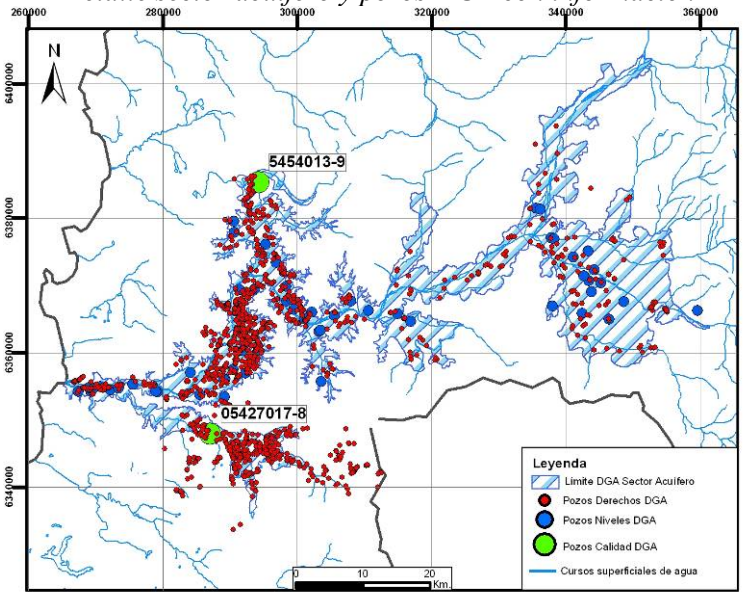
Tabla 1.8: Ficha resumen de información disponible sector acuífero Aconcagua.

SECTOR ACUÍFERO RÍO ACONCAGUA *V Región de Valparaíso*			
		Nº de pozos con datos de química:	2
Tipo de acuífero (localización):	Dep. Intermedia	Superficie por punto (km^2):	577,79
Superficie acuífero (km^2):	1.155,58	Nº de pozos con datos de niveles:	63
Profundidad acuífero:	-	Superficie por punto(km^2):	18,34
Profundidad nivel piezométrico:	-	Nº de pozos con datos de derechos:	1.542
Caudal total otorgado (L/s):	6.055	Superficie por punto (km^2):	0,75

Localización sector acuífero



Detalle sector acuífero y pozos DGA con información



INFORMACIÓN DATOS DGA

Calidad química:

Nº de pozos:	2	*Extensión de los registros (años)*	
Nº de pozos vigentes:	2	5-9:	0
Nº promedio análisis por pozo:	29	9-12:	1
% de análisis con B. Iónico correcto:	91 %	12-15:	1

Valores temporales (extensión de registro) de parámetros físico-químicos

Promedios

		Na (mg/L):	35,2	Cl (mg/L):	39
Cond. eléctrica (µmhos/cm):	759,1	Ca (mg/L):	96,7	HCO_3 (mg/L):	175,2
pH (u. pH):	7,7	Mg (mg/L):	28,5	SO_4 (mg/L):	208,4
		K (mg/L):	2,1	CO_3 (mg/L):	2,5

Máximos

		Na (mg/L):	57,3	Cl (mg/L):	218,8
Cond. eléctrica (µmhos/cm):	1.159,0	Ca (mg/L):	220,0	HCO_3 (mg/L):	261,3
pH (u. pH):	8,7	Mg (mg/L):	95,9	SO_4 (mg/L):	445,0
		K (mg/L):	32,0	CO_3 (mg/L):	19,3

Mínimos

		Na (mg/L):	2,8	Cl (mg/L):	15,3
Cond. eléctrica (µmhos/cm):	8,2	Ca (mg/L):	45,0	HCO_3 (mg/L):	10,4
pH (u. pH):	6,2	Mg (mg/L):	10,4	SO_4 (mg/L):	40,2
		K (mg/L):	0,6	CO_3 (mg/L):	0,0

Desviación estándar

		Na (mg/L):	8,4	Cl (mg/L):	22,5
Cond. eléctrica (µmhos/cm):	224,1	Ca (mg/L):	30,4	HCO_3 (mg/L):	37,8
pH (u. pH):	0,6	Mg (mg/L):	10,1	SO_4 (mg/L):	62,8
		K (mg/L):	3,0	CO_3 (mg/L):	4,7

Otros parámetros analizados:

-

Datos Niveles:

Nº de Pozos:	63	*Extensión de los registros (años)*	
Nº de Pozos con cota:	35	0 - 10:	2
Nº de Pozos vigentes:	59	10 - 20:	4
Nº de Pozos suspendidos:	4	+ de 20:	57
Calidad de la información:	B		

B (Buena): Más de 20 pozos con buena calidad de coordenadas y cotas
R (Regular): Menos de 20 pozos con buena calidad de coordenadas y cotas
D (Deficiente): Menos de 20 pozos con coordenadas a corregir

Datos Derechos :

Nº Solicitudes:	1.542		*Usos*		
Aprobados, Ley 20017:	909	Agua Potable:	189	Industria:	0
Provisorios:	0	Riego:	1.335	Otros usos:	0
Pendientes:	25	Minería:	18	Sin información:	0
Denegados:	608				
Caudal total aprobado (L/s):	6.055				

INFORMACIÓN ESTUDIOS Y DOCUMENTOS RECOPILADOS					
Nº Estudios considerados: 6					
Nº Estudios útiles: 4					
Calidad Química:					
Nº Análisis químicos: 0		Nº Estudios con muestras en agua superficial: 0			
Nº Puntos de muestreo: 0		Nº Estudios con muestras en agua subterránea: 0			
Nº Puntos con medición temporal: 0		Nº de Estudios con datos nuevos: 0			
Nº Estudios con parámetros principales:					
Cond. eléctrica: 0		Mg: 0			
pH: 0		Cl: 0			
Na: 0		HCO_3: 0			
Ca: 0		SO_4: 0			
Nº Estudios con parámetros isotópicos:					
$d^{18}O$: 0	d^2H: 0	Tritio: 0			
Nº Estudios con otros parámetros:					
CO_3: 0	Br: 0	Li: 0			
As: 0	Cianuro: 0	M_2CO_3: 0			
B: 0	CO_2: 0	Mn: 0			
Cu: 0	Col Fec: 0	Mo: 0			
Fe: 0	Col Totales: 0	OD: 0			
Pb: 0	Color aparente: 0	RAS: 0			
PO_4: 0	Cr: 0	RASO: 0			
NO_3: 0	DBO_5: 0	S: 0			
Nitrito: 0	Densidad: 0	Si O_2: 0			
SS: 0	Dureza: 0	Sn: 0			
ST: 0	F: 0	Zn: 0			
Alc: 0	I: 0	Tº: 0			
Al: 0	K: 0				
Nº Estudios con caracterización de:					
Niveles de agua: 0		Activ. prod. pot. contaminantes: 0			
Uso de suelo: 0		Zona de riesgo tradicional: 0			
Demanda ambiental suelos: 0		Zona disposición de riles: 0			
Carga contaminante existente: 0		Descarga de riles: 0			

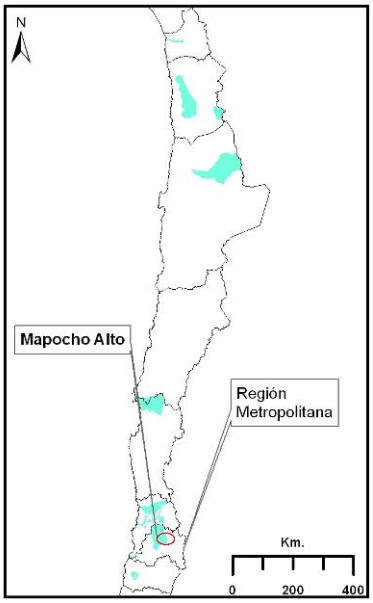
1.1.9 Sector acuífero Mapocho Alto

Tabla 1.9: Ficha resumen de información disponible sector acuífero Mapocho Alto.

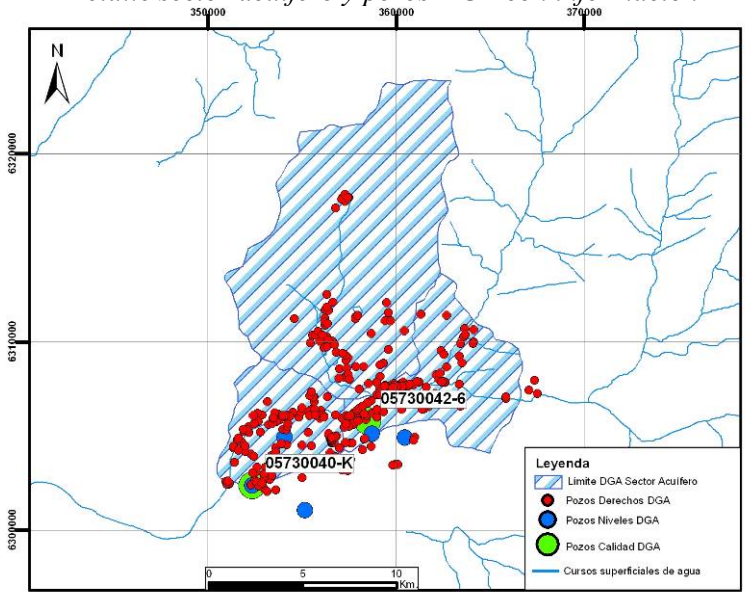
SECTOR ACUÍFERO MAPOCHO ALTO
Región Metropolitana

		Nº de pozos con datos de química:	2
Tipo de acuífero (localización):	Precordillerano	Superficie por punto (km^2):	105,12
Superficie acuífero (km^2):	210,24	Nº de pozos con datos de niveles:	5
Profundidad acuífero:	-	Superficie por punto(km^2):	42,01
Prof. nivel piezométrico:	-	Nº de pozos con datos de derechos:	320
Caudal total otorgado (L/s):	3.243	Superficie por punto (km^2):	0,66

Localización sector acuífero



Detalle sector acuífero y pozos DGA con información



INFORMACIÓN DATOS DGA

Calidad química:

Nº de pozos:	2	*Extensión de los registros (años)*			
Nº de pozos vigentes:	2	5-9:	0		
Nº promedio análisis por pozo:	42	9-12:	0		
% de análisis con B. Iónico correcto:	85%	12-15:	2		

Valores temporales (extensión de registro) de parámetros físico-químicos

Promedios

		Na (mg/L):	19,6	Cl (mg/L):	16,1
Cond. eléctrica (µmhos/cm):	475,3	Ca (mg/L):	63,3	HCO_3 (mg/L):	155,5
pH (u. pH):	7,5	Mg (mg/L):	13,1	SO_4 (mg/L):	90,3
		K (mg/L):	1,3	CO_3 (mg/L):	1,5

Máximos

		Na (mg/L):	27,6	Cl (mg/L):	115,0
Cond. eléctrica (µmhos/cm):	707,0	Ca (mg/L):	86,0	HCO_3 (mg/L):	214,0
pH (u. pH):	8,8	Mg (mg/L):	17,8	SO_4 (mg/L):	135,0
		K (mg/L):	11,8	CO_3 (mg/L):	27,7

Mínimos

		Na (mg/L):	7,1	Cl (mg/L):	0,0
Cond. eléctrica (µmhos/cm):	202	Ca (mg/L):	27,0	HCO_3 (mg/L):	51,0
pH (u. pH):	6,2	Mg (mg/L):	3,4	SO_4 (mg/L):	2,4
		K (mg/L):	0,4	CO_3 (mg/L):	0,0

Desviación estándar

		Na (mg/L):	3,0	Cl (mg/L):	10,9
Cond. eléctrica (µmhos/cm):	76,2	Ca (mg/L):	8,7	HCO_3 (mg/L):	21,9
pH (u. pH):	0,6	Mg (mg/L):	2,0	SO_4 (mg/L):	20,5
		K (mg/L):	1,2	CO_3 (mg/L):	4,0

Otros parámetros analizados:
Ag, Al, As, B, Cd, Co, Cr, Cu , Fe, Hg, Li, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, Zn, $P(PO_4)$

Datos Niveles:

Nº de Pozos:	5	*Extensión de los registros (años)*	
Nº de Pozos con cota:	4	0 - 10:	0
Nº de Pozos vigentes:	5	10 - 20:	1
Nº de Pozos suspendidos:	0	+ de 20:	4
Calidad de la información:	R		

B (Buena): Más de 20 pozos con buena calidad de coordenadas y cotas
R (Regular): Menos de 20 pozos con buena calidad de coordenadas y cotas
D (Deficiente): Menos de 20 pozos con coordenadas a corregir

Datos Derechos:

Nº Solicitudes:	320	*Usos*			
Aprobados, Ley 20017:	226	Agua Potable:	117	Industria:	0
Provisorios:	2	Riego:	187	Otros usos:	0
Pendientes:	7	Minería:	16	Sin información:	0
Denegados:	85				
Caudal total aprobado (L/s):	3.243				

INFORMACIÓN ESTUDIOS Y DOCUMENTOS RECOPILADOS					
Nº Estudios considerados: 2					
Nº Estudios útiles: 2					
Calidad Química:					
Nº Análisis químicos: 0		Nº Estudios con muestras en agua superficial: 0			
Nº Puntos de muestreo: 0		Nº Estudios con muestras en agua subterránea: 0			
Nº Puntos con medición temporal: 0		Nº de Estudios con datos nuevos: 0			
Nº Estudios con parámetros principales:					
Cond. eléctrica: 0		Mg: 0			
pH: 0		Cl: 0			
Na: 0		HCO_3: 0			
Ca: 0		SO_4: 0			
Nº Estudios con parámetros isotópicos:					
$d^{18}O$: 0		d^2H: 0		Tritio: 0	
Nº Estudios con otros parámetros:					
CO_3: 0		Br: 0		Li: 0	
As: 0		Cianuro: 0		M_2CO_3: 0	
B: 0		CO_2: 0		Mn: 0	
Cu: 0		Col Fec: 0		Mo: 0	
Fe: 0		Col Totales: 0		OD: 0	
Pb: 0		Color aparente: 0		RAS: 0	
PO_4: 0		Cr: 0		RASO: 0	
NO_3: 0		DBO_5: 0		S: 0	
Nitrito: 0		Densidad: 0		Si O_2: 0	
SS: 0		Dureza: 0		Sn: 0	
ST: 0		F: 0		Zn: 0	
Alc: 0		I: 0		Tº: 0	
Al: 0		K: 0			
Nº Estudios con caracterización de:					
Niveles de agua: 2		Activ. prod. pot. contaminantes: 0			
Uso de suelo: 0		Zona de riesgo tradicional: 0			
Demanda ambiental suelos: 0		Zona disposición de riles: 0			
Carga contaminante existente: 0		Descarga de riles: 0			

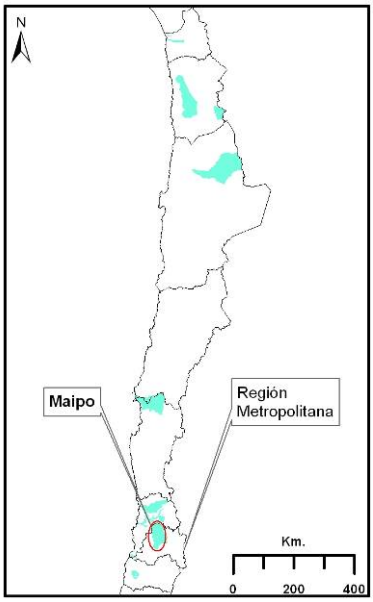
1.1.10 Sector acuífero Maipo

Tabla 1.10: Ficha resumen de información disponible sector acuífero Maipo.

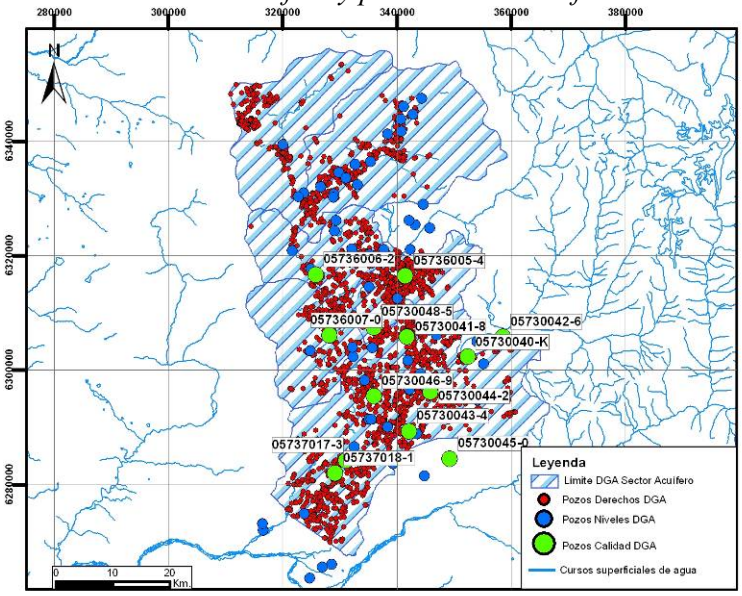
SECTOR ACUÍFERO MAIPO
Región Metropolitana

		Nº de pozos con datos de química:	13
Tipo de acuífero (localización):	Dep. Intermedia	Superficie por punto (km^2):	230,97
Superficie acuífero (km^2):	3.002,59	Nº de pozos con datos de niveles:	59
Profundidad acuífero:	-	Superficie por punto(km^2):	50,9
Profundidad nivel piezométrico:	-	Nº de pozos con datos de derechos:	10.777
Caudal total otorgado (L/s):	115.933	Superficie por punto (km^2):	0,28

Localización sector acuífero



Detalle sector acuífero y pozos DGA con información



INFORMACIÓN DATOS DGA

Calidad química:

Nº de pozos:	13			*Extensión de los registros (años)*	
Nº de pozos vigentes:	13			5-9:	1
Nº promedio análisis por pozo:	39 %			9-12:	1
% de análisis con B. iónico correcto:	83%			12-15:	11

Valores temporales (extensión de registro) de parámetros físico-químicos

Promedios

		Na (mg/L):	55,2	Cl (mg/L):	111,5
Cond. eléctrica (µmhos/cm):	1.047,1	Ca (mg/L):	131,8	HCO_3 (mg/L):	194,7
pH (u. pH):	7,5	Mg (mg/L):	25,6	SO_4 (mg/L):	207,3
		K (mg/L):	3,9	CO_3 (mg/L):	0,6

Máximos

		Na (mg/L):	172,0	Cl (mg/L):	837,7
Cond. eléctrica (µmhos/cm):	3.060,0	Ca (mg/L):	547,6	HCO_3 (mg/L):	508,2
pH (u. pH):	8,8	Mg (mg/L):	118,0	SO_4 (mg/L):	437,5
		K (mg/L):	84,0	CO_3 (mg/L):	27,7

Mínimos

		Na (mg/L):	1,0	Cl (mg/L):	0,0
Cond. eléctrica (µmhos/cm):	202,0	Ca (mg/L):	21,2	HCO_3 (mg/L):	51,0
pH (u. pH):	0,4	Mg (mg/L):	1,0	SO_4 (mg/L):	0,9
		K (mg/L):	0,1	CO_3 (mg/L):	0,0

Desviación estándar

		Na (mg/L):	9,4	Cl (mg/L):	35,6
Cond. eléctrica (µmhos/cm):	154,8	Ca (mg/L):	27,3	HCO_3 (mg/L):	45,0
pH (u. pH):	0,4	Mg (mg/L):	5,1	SO_4 (mg/L):	50,4
		K (mg/L):	4,2	CO_3 (mg/L):	1,56

Otros parámetros analizados:

Ag, Al, As, B, Cd, Co, Cr, Cu , Fe , Hg, Li, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, Zn, $N(NO_2)$, $P(PO_4)$,

Datos Niveles:

Nº de Pozos:	59	*Extensión de los registros (años)*	
Nº de Pozos con cota:	45	0 - 10:	17
Nº de Pozos vigentes:	56	10 - 20:	11
Nº de Pozos suspendidos:	3	+ de 20:	31
Calidad de la información:	B		

B (Buena): Más de 20 pozos con buena calidad de coordenadas y cotas
R (Regular): Menos de 20 pozos con buena calidad de coordenadas y cotas
D (Deficiente): Menos de 20 pozos con coordenadas a corregir

Datos Derechos :

Nº Solicitudes:	10.777		*Usos*		
Aprobados, Ley 20017:	8.146	Agua Potable:	1.651	Industria:	540
Provisorios:	78	Riego:	8.551	Otros usos:	0
Pendientes:	709	Minería:	35	Sin información:	0
Denegados:	1.844				
Caudal total aprobado (L/s):	115.933				

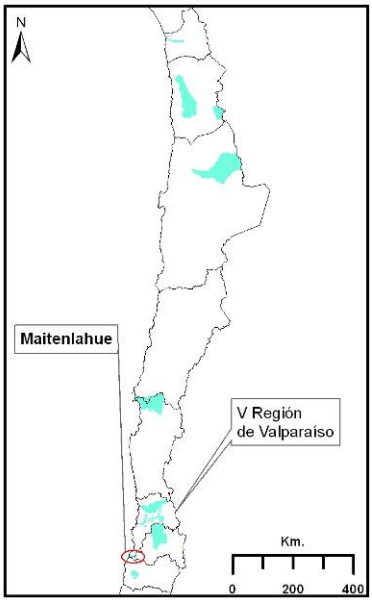
INFORMACIÓN ESTUDIOS Y DOCUMENTOS RECOPILADOS					
Nº Estudios considerados: 5					
Nº Estudios útiles: 5					
Calidad Química:					
Nº Análisis químicos:	471	Nº Estudios con muestras en agua superficial:	2		
Nº Puntos de muestreo:	241	Nº Estudios con muestras en agua subterránea:	4		
Nº Puntos con medición temporal:	90	Nº de Estudios con datos nuevos:	1		
Nº Estudios con parámetros principales:					
Cond. eléctrica:	3	Mg:	2		
pH:	4	Cl:	2		
Na:	2	HCO_3:	4		
Ca:	2	SO_4:	4		
Nº Estudios con parámetros isotópicos:					
$d^{18}O$:	2	d^2H:	2	Tritio:	1
Nº Estudios con otros parámetros:					
CO_3:	4	Br:	2	Li:	1
As:	1	Cianuro:	1	M_2CO_3:	0
B:	2	CO_2:	1	Mn:	1
Cu:	2	Col Fec:	2	Mo:	0
Fe:	2	Col Totales:	2	OD:	3
Pb:	2	Color aparente:	2	RAS:	2
PO_4:	1	Cr:	1	RASO:	1
NO_3:	4	DBO_5:	1	S:	2
Nitrito:	4	Densidad:	1	Si O_2:	1
SS:	3	Dureza:	2	Sn:	1
ST:	1	F:	1	Zn:	1
Alc:	1	I:	1	Tº:	4
Al:	1	K:	2		
Nº Estudios con caracterización de:					
Niveles de agua:	4	Activ. prod. pot. contaminantes:	2		
Uso de suelo:	2	Zona de riesgo tradicional:	3		
Demanda ambiental suelos:	0	Zona disposición de riles:	2		
Carga contaminante existente:	2	Descarga de riles:	2		

1.1.11 Sector acuífero Maitenlahue

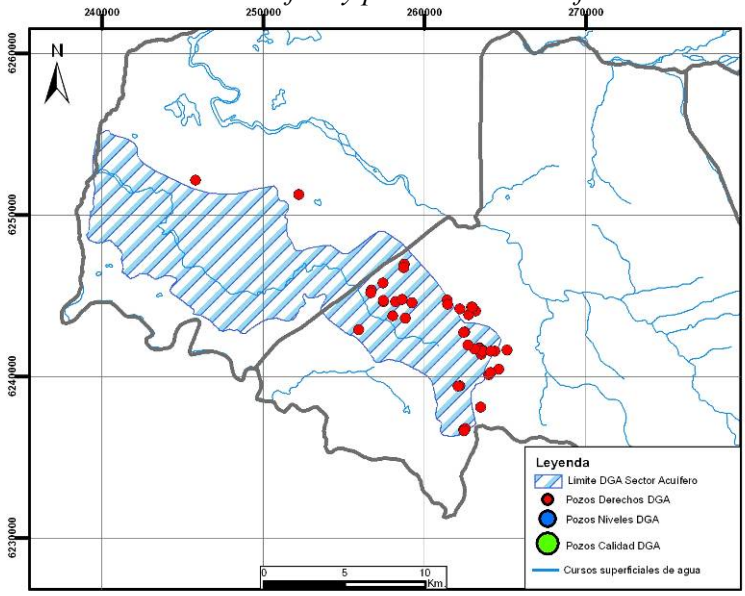
Tabla 1.11: Ficha resumen de información disponible sector acuífero Maitenlahue.

SECTOR ACUÍFERO MAITENLAHUE *V Región de Valparaíso*			
		Nº de pozos con datos de química:	0
Tipo de acuífero (localización):	Costero	Superficie por punto (km^2):	-
Superficie acuífero (km^2):	166,36	Nº de pozos con datos de niveles:	1
Profundidad acuífero:	-	Superficie por punto(km^2):	166,36
Profundidad nivel piezométrico:	-	Nº de pozos con datos de derechos:	46
Caudal total otorgado (L/s):	15	Superficie por punto (km^2):	3,62

Localización sector acuífero



Detalle sector acuífero y pozos DGA con información



INFORMACIÓN DATOS DGA

Calidad química:

Nº de pozos:	0	*Extensión de los registros (años)*	
Nº de pozos vigentes:	-	5-9:	-
Nº promedio análisis por pozo:	-	9-12:	-
% de análisis con B. Iónico correcto:	-	12-15:	-

Valores temporales (extensión de registro) de parámetros físico-químicos

Promedios

		Na (mg/L):	-	Cl (mg/L):	-
Cond. eléctrica (µmhos/cm):	-	Ca (mg/L):	-	HCO_3 (mg/L):	-
pH (u. pH):	-	Mg (mg/L):	-	SO_4 (mg/L):	-
		K (mg/L):	-	CO_3 (mg/L):	-

Máximos

		Na (mg/L):	-	Cl (mg/L):	-
Cond. eléctrica (µmhos/cm):	-	Ca (mg/L):	-	HCO_3 (mg/L):	-
pH (u. pH):	-	Mg (mg/L):	-	SO_4 (mg/L):	-
		K (mg/L):	-	CO_3 (mg/L):	-

Mínimos

		Na (mg/L):	-	Cl (mg/L):	-
Cond. eléctrica (µmhos/cm):	-	Ca (mg/L):	-	HCO_3 (mg/L):	-
pH (u. pH):	-	Mg (mg/L):	-	SO_4 (mg/L):	-
		K (mg/L):	-	CO_3 (mg/L):	-

Desviación estándar

		Na (mg/L):	-	Cl (mg/L):	-
Cond. eléctrica (µmhos/cm):	-	Ca (mg/L):	-	HCO_3 (mg/L):	-
pH (u. pH):	-	Mg (mg/L):	-	SO_4 (mg/L):	-
		K (mg/L):	-	CO_3 (mg/L):	-

Otros parámetros analizados:

-

Datos Niveles:

Nº de Pozos:	1	*Extensión de los registros (años)*	
Nº de Pozos con cota:	1	0 - 10:	1
Nº de Pozos vigentes:	1	10 - 20:	0
Nº de Pozos suspendidos:	0	+ de 20:	0
Calidad de la información:	D		

B (Buena): Más de 20 pozos con buena calidad de coordenadas y cotas
R (Regular): Menos de 20 pozos con buena calidad de coordenadas y cotas
D (Deficiente): Menos de 20 pozos con coordenadas a corregir

Datos Derechos :

Nº Solicitudes:	46		*Usos*		
Aprobados, Ley 20017:	42	Agua Potable:	3	Industria:	0
Provisorios:	0	Riego:	43	Otros usos:	0
Pendientes:	3	Minería:	0	Sin información:	0
Denegados:	1				
Caudal total aprobado (L/s):	15				

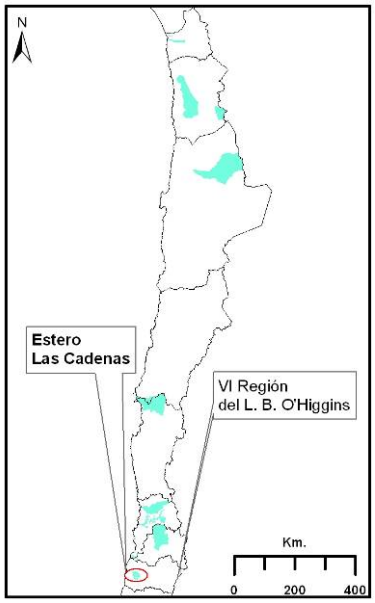
INFORMACIÓN ESTUDIOS Y DOCUMENTOS RECOPILADOS					
Nº Estudios considerados: 1					
Nº Estudios útiles: 0					
Calidad Química:					
Nº Análisis químicos:	0	Nº Estudios con muestras en agua superficial:	0		
Nº Puntos de muestreo:	0	Nº Estudios con muestras en agua subterránea:	0		
Nº Puntos con medición temporal:	0	Nº de Estudios con datos nuevos:	0		
Nº Estudios con parámetros principales:					
Cond. eléctrica:	0	Mg:	0		
pH:	0	Cl:	0		
Na:	0	HCO_3:	0		
Ca:	0	SO_4:	0		
Nº Estudios con parámetros isotópicos:					
$d^{18}O$:	0	d^2H:	0	Tritio:	0
Nº Estudios con otros parámetros:					
CO_3:	0	Br:	0	Li:	0
As:	0	Cianuro:	0	M_2CO_3:	0
B:	0	CO_2:	0	Mn:	0
Cu:	0	Col Fec:	0	Mo:	0
Fe:	0	Col Totales:	0	OD:	0
Pb:	0	Color aparente:	0	RAS:	0
PO_4:	0	Cr:	0	RASO:	0
NO_3:	0	DBO_5:	0	S:	0
Nitrito:	0	Densidad:	0	Si O_2:	0
SS:	0	Dureza:	0	Sn:	0
ST:	0	F:	0	Zn:	0
Alc:	0	I:	0	Tº:	0
Al:	0	K:	0		
Nº Estudios con caracterización de:					
Niveles de agua:	0	Activ. prod. pot. contaminantes:	0		
Uso de suelo:	0	Zona de riesgo tradicional:	0		
Demanda ambiental suelos:	0	Zona disposición de riles:	0		
Carga contaminante existente:	0	Descarga de riles:	0		

1.1.12 Sector acuífero Estero Las Cadenas

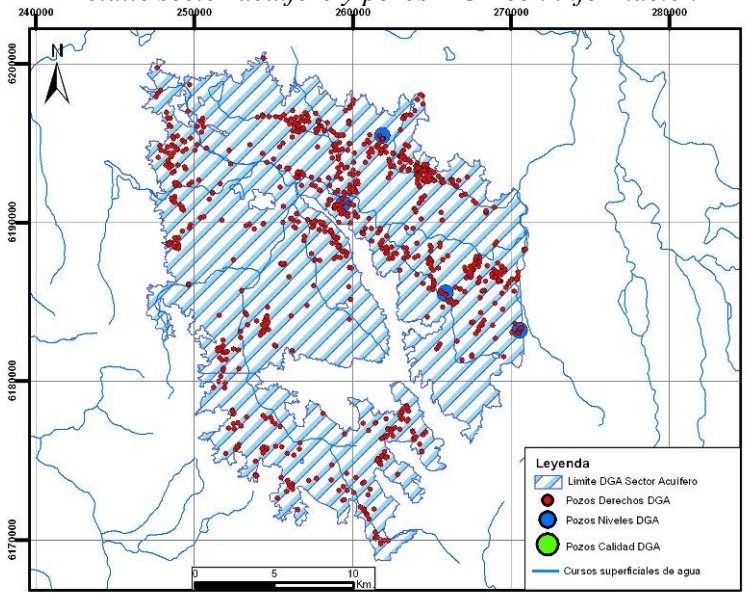
Tabla 1.12: Ficha resumen de información disponible sector acuífero Estero Las Cadenas.

SECTOR ACUÍFERO ESTERO LAS CADENAS *VI Región del L. B. O'Higgins*			
		Nº de pozos con datos de química:	0
Tipo de acuífero (localización):	Dep. Intermedia	Superficie por punto (km^2):	-
Superficie acuífero (km^2):	439,49	Nº de pozos con datos de niveles:	4
Profundidad acuífero:	-	Superficie por punto(km^2):	109,9
Profundidad nivel piezométrico:	-	Nº de pozos con datos de derechos:	1.013
Caudal total otorgado (L/s):	1.081	Superficie por punto (km^2):	0,43

Localización sector acuífero



Detalle sector acuífero y pozos DGA con información



INFORMACIÓN DATOS DGA

Calidad química:

Nº de pozos:	0	*Extensión de los registros (años)*	
Nº de pozos vigentes:	-	5-9:	-
Nº promedio análisis por pozo:	-	9-12:	-
% de análisis con B: Iónico correcto:	-	12-15:	-

Valores temporales (extensión de registro) de parámetros físico-químicos

Promedios

		Na (mg/L):	-	Cl (mg/L):	-
Cond. eléctrica (µmhos/cm):	-	Ca (mg/L):	-	HCO_3 (mg/L):	-
pH (u. pH):	-	Mg (mg/L):	-	SO_4 (mg/L):	-
		K (mg/L):	-	CO_3 (mg/L):	-

Máximos

		Na (mg/L):	-	Cl (mg/L):	-
Cond. eléctrica (µmhos/cm):	-	Ca (mg/L):	-	HCO_3 (mg/L):	-
pH (u. pH):	-	Mg (mg/L):	-	SO_4 (mg/L):	-
		K (mg/L):	-	CO_3 (mg/L):	-

Mínimos

		Na (mg/L):	-	Cl (mg/L):	-
Cond. eléctrica (µmhos/cm):	-	Ca (mg/L):	-	HCO_3 (mg/L):	-
pH (u. pH):	-	Mg (mg/L):	-	SO_4 (mg/L):	-
		K (mg/L):	-	CO_3 (mg/L):	-

Desviación estándar

		Na (mg/L):	-	Cl (mg/L):	-
Cond. eléctrica (µmhos/cm):	-	Ca (mg/L):	-	HCO_3 (mg/L):	-
pH (u. pH):	-	Mg (mg/L):	-	SO_4 (mg/L):	-
		K (mg/L):	-	CO_3 (mg/L):	-

Otros parámetros analizados

-

Datos Niveles:

Nº de Pozos:	4	*Extensión de los registros (años)*	
Nº de Pozos con cota:	0	0 - 10:	0
Nº de Pozos vigentes:	4	10 - 20:	1
Nº de Pozos suspendidos:	0	+ de 20:	2
Calidad de la información:	D		

B (Buena): Más de 20 pozos con buena calidad de coordenadas y cotas
R (Regular): Menos de 20 pozos con buena calidad de coordenadas y cotas
D (Deficiente): Menos de 20 pozos con coordenadas a corregir

Datos Derechos :

Nº Solicitudes:	1.013		*Usos*		
Aprobados, Ley 20017:	849	Agua Potable:	31	Industria:	0
Provisorios:	0	Riego:	981	Otros usos:	0
Pendientes:	63	Minería:	0	Sin información:	0
Denegados:	101				
Caudal total aprobado (L/s):	1.081				

INFORMACIÓN ESTUDIOS Y DOCUMENTOS RECOPILADOS					
Nº Estudios considerados: 4					
Nº Estudios útiles: 3					
Calidad Química:					
Nº Análisis químicos:	0	Nº Estudios con muestras en agua superficial:	0		
Nº Puntos de muestreo:	0	Nº Estudios con muestras en agua subterránea:	0		
Nº Puntos con medición temporal:	0	Nº de Estudios con datos nuevos:	0		
Nº Estudios con parámetros principales:					
Cond. eléctrica:	0	Mg:	0		
pH:	0	Cl:	0		
Na:	0	HCO_3:	0		
Ca:	0	SO_4:	0		
Nº Estudios con parámetros isotópicos:					
$d^{18}O$:	0	d^2H:	0	Tritio:	0
Nº Estudios con otros parámetros:					
CO_3:	0	Br:	0	Li:	0
As:	0	Cianuro:	0	M_2CO_3:	0
B:	0	CO_2:	0	Mn:	0
Cu:	0	Col Fec:	0	Mo:	0
Fe:	0	Col Totales:	0	OD:	0
Pb:	0	Color aparente:	0	RAS:	0
PO_4:	0	Cr:	0	RASO:	0
NO_3:	0	DBO_5:	0	S:	0
Nitrito:	0	Densidad:	0	Si O_2:	0
SS:	0	Dureza:	0	Sn:	0
ST:	0	F:	0	Zn:	0
Alc:	0	I:	0	Tº:	0
Al:	0	K:	0		
Nº Estudios con caracterización de:					
Niveles de agua:	0	Activ. prod. pot. contaminantes:	0		
Uso de suelo:	0	Zona de riesgo tradicional:	0		
Demanda ambiental suelos:	0	Zona disposición de riles:	0		
Carga contaminante existente:	0	Descarga de riles:	0		

1.2 Nivel piezométrico en sectores acuífero

1.2.1 Estaciones de monitoreo de nivel piezométrico

1.2.1.1 Sector acuífero Lluta

Tabla 1.13: Estaciones de monitoreo nivel piezométrico sector acuífero Lluta.

Pozo	Estación	Código BNA	UTM Norte	UTM Este
LL1	LA CONC. D2	01110003-1	7966.907	365.598
LL2	J - 1 (P. JICA)	01211008-1	7.963.082	372.638
LL3	J - 2 (P. JICA)	01211009-K	7.964.881	366.082
LL4	J - A (P. JICA)	01211010-3	7.963.763	365.598
LL5	AV. AZOLA	01310048-9	7.964.770	365.598

Coordenadas en Datum PSAD56

1.2.1.2 Sector acuífero Azapa

Tabla 1.14: Estaciones de monitoreo nivel piezométrico en sector acuífero Azapa.

Pozo	Estación	Código BNA	UTM Norte	UTM Este
AZ1	CABUZA 1A	01310023-3	7.943.981	385.400
AZ2	LAS RIV. DE M.	01310024-1	7.951.837	383.300
AZ3	COLONIA J. N. (M.)	01310025-K	7.954.066	375.954
AZ4	LAS MAITAS L V.	01310026-8	7.948.527	375.111
AZ5	LAS VARGAS	01310027-6	7.950.367	3745.12
AZ6	POZO G. LAS V.	01310028-4	7.953.685	374.197
AZ7	P. 1 ALGODONAL	01310029-2	7.955.745	374.183
AZ8	LAS ANIMAS	01310030-6	7.948.229	371.887
AZ9	QDA. ACHA	01310031-4	7.958.930	367.825
AZ10	ALGODONAL	01310032-2	7.958613	366.537
AZ11	SAUCACHE	01310033-0	7.959.507	362.570
AZ12	E. CHITITA N 28	01310036-5	7.946.481	387.203
AZ13	CENT. (S. M. D. A.)	01310037-3	7.948.425	388.452
AZ14	S. RAMOS (CO. M.)	01310038-1	7.945.854	390.373
AZ15	AVENIDA LOA	01310041-1	7.957.047	362.441
AZ16	AV. G. CERDA	01310042-K	7.957.108	362.294
AZ17	CINCO OLIVO	01310043-8	7.954.346	371.846
AZ18	CINCO OLIVO	01310044-6	7.954.657	372.431
AZ19	PAGO G. S. EL.	01310045-4	7.952.216	375.086
AZ20	LAS MAITAS	01310046-2	7.947.910	374.821
AZ21	PAGO G. S. EL.	01310047-0	7.950.673	374.217
AZ22	LOS DUENDES	01310052-7	7.955.547	367.731
AZ23	VIDRIERIA ARG.	01310053-5	7.958.584	362.430

Tabla 1.14: Estaciones de monitoreo nivel piezométrico en sector acuífero Azapa.

Pozo	Estación	Código BNA	UTM Norte	UTM Este
AZ24	AV. TARAPACA	01310054-3	7.958.605	365.363
AZ25	COLONIA J. N.	01310055-1	7.948.383	376.636
AZ26	CEMENTERIO A.	01310056-K	7.957.367	364.199
AZ27	QDA. ACHA	01310057-8	7.957.102	361.560
AZ28	CASINO ARICA	01310058-6	7.959.822	363.594
AZ29	LA VERBENA	01310059-4	7.957.815	362.288
AZ30	QDA. ACHA	01310060-8	7.957.966	361.994
AZ31	LAS ANIMAS	01310061-6	7.953.697	371.293
AZ32	BARRIO IND. (C.)	01310063-2	7.955.911	371.513
AZ33	P. ROCO (N. 062)	01310064-0	7.952.295	377.872
AZ34	LAS DUN. (D. S.)	01310065-9	7.955.879	371.190
AZ35	LOTEO ALG. (V.)	01310066-7	7.954.415	372960
AZ36	HOTEL EL PASO	01310067-5	7.955.384	370.754
AZ37	AVIC. DONOSO	01310068-3	7.954.442	372.403
AZ38	STA. IRENE S.	01310069-1	7.951.319	379.110
AZ39	ESCUELA G-9	01310070-5	7.953.234	375.666
AZ40	MOTEL AZAPA	01310071-3	7.954.450	364.718
AZ41	PAGO GOMEZ	01310072-1	7.953.342	368.891
AZ42	S. JUAN O.	01310074-8	7.953.335	367.835

Coordenadas en Datum PSAD56

1.2.1.3 Sector acuífero Pampa del Tamarugal

Tabla 1.15: Estaciones de monitoreo nivel piezométrico sector acuífero Pampa del Tamarugal.

Pozo	Estación	Código BNA	UTM Norte	UTM Este
PT1	SALAR ZAPIGA	01700011-K	7.821.530	424.887
PT2	SALAR ZAPIGA	01700012-8	7.816.009	427.821
PT3	SALAR ZAPIGA	01700013-6	7.810.362	430.171
PT4	SALAR PINT.	01700014-4	7.753.880	420.826
PT5	SALAR PINT.	01700015-2	7.734.815	420.045
PT6	SALAR PINT. R.	01700016-0	7.725.651	433.841
PT7	SALAR PINT. PICA 3	01700017-9	7.729.105	455.982
PT8	E. EXP.PINT.	01700018-7	7.719.499	432.852
PT9	SALAR PINT.	01700019-5	7.721.347	433.713
PT10	SALAR PINT.	01700020-9	7.721.988	440.948
PT11	SALAR PINT.	01700021-7	7.723.967	435.440
PT12	SALAR PINT. PICA 1	01700022-5	7.723.542	446.009
PT13	CHACARILLA	01700023-3	7.710.689	469.481

Tabla 1.15: Estaciones de monitoreo nivel piezométrico sector acuífero Pampa del Tamarugal.

Pozo	Estación	Código BNA	UTM Norte	UTM Este
PT14	SALAR BELLAVISTA	01700024-1	7.714.553	426.506
PT15	SALAR BELLAVISTA	01700025-K	7.713.048	434.324
PT16	SALAR BELLAVISTA	01700026-8	7.699.859	442.760
PT17	SALAR BELLAVISTA	01700027-6	7.703.208	433.784
PT18	PLANTA SARA 3A	01700028-4	7.756.712	421.683
PT19	LA TIRANA 1	01700029-2	7.756.779	438.217
PT20	EL CARMELO 2	01700030-6	7.757.957	440.824
PT21	REFRESCO	01700031-4	7.748.714	435.347
PT22	SALAR PINT. (S. T.)	01700032-2	7.740.380	426.974
PT23	BOSQUE JUNOY	01700033-0	7.746.564	435.819
PT24	SALAR PINT. 2	01700034-9	7.725.677	440.935
PT25	SALAR PINT. PICA 2	01700035-7	7.728.809	460.616
PT26	SALAR PINT. 3	01700036-5	7.725.433	441.370
PT27	SALAR PINT.	01700037-3	7.727.811	435.947
PT28	MOSQUITOS 1	01700038-1	7.729.588	434.260
PT29	ANTONIO MENDIETA	01700039-K	7.751.523	447.805
PT30	EST SALAR PINT. 1	01700040-3	77.239.63	442.968
PT31	SALAR BELLAVISTA	01700041-1	7.760.110	441.397
PT 32	SALAR BELLAVISTA	01700042-K	7.644.285	446.236

Coordenadas en Datum PSAD56

1.2.1.4 Sector acuífero Salar de Coposa

No existen estaciones de monitoreo de nivel piezométrico pertenecientes al Banco Nacional de Aguas.

1.2.1.5 Sector acuífero El Loa

Tabla 1.16: Estaciones de monitoreo nivel piezométrico sector acuífero El Loa.

Pozo	Estación	Código BNA	UTM Norte	UTM Este
LO1	CHIU-CHIU	02105023-7	7.529.912	541.478
LO2	CUPO 1	02105024-5	7.534.454	562.665
LO3	TURI 2	02105025-3	7.538.950	568.265
LO4	TURI 4	02105026-1	7.539.106	574.477
LO5	TURI 5 I	02105027-K	7.543.509	573.382
LO6	TURI 7	02105028-8	7.540.427	574.799

Tabla 1.16: Estaciones de monitoreo nivel piezométrico sector acuífero El Loa.

Pozo	Estación	Código BNA	UTM Norte	UTM Este
LO7	TURI 9	02105029-6	7.536.826	568.828
LO8	TURI 1 I	02105030-K	7.540.042	571.648
LO9	TURI -10	02105032-6	7.541.834	569.852
LO10	I. GRANDE 1	02110015-3	7.526.170	538.122
LO11	I. GRANDE 2	02110016-1	7.526.509	537.665
LO12	AEROPUERTO	02110017-K	7.511.112	514.456
LO13	MOCTEZUMA	02110018-8	7.510.376	512.313
LO14	I. GRANDE 3	02110019-6	7.526.509	537.665

Coordenadas en Datum PSAD56

1.2.1.6 Sector acuífero Los Choros

Tabla 1.17: Estaciones de monitoreo nivel piezométrico sector acuífero Los Choros.

Pozo	Estación	Código BNA	UTM Norte	UTM Este
CH1	OBS. LA SILLA	04100002-3	6.773.670	324.916
CH2	PTA. COLORADA	04120002-2	6.751.201	304.757
CH3	LOS CHOR. N 4	04120005-7	6.746.811	300.247
CH4	LOS CH. N 1	04120006-5	6.756.534	276.589
CH5	EL TOFO 5	04120007-3	6.756.733	277.341
CH6	PUEB. LOS CH.	04120008-1	6.756.842	276.582
CH7	LOS CHOR. N 2	04120009-K	6.758.348	274.879
CH8	A. Q. DE L. CH.	04120010-3	6.755.626	277.416
CH9	G. CORTES	04120012-K	6.749.447	296.100
CH10	SANTA FE	04120013-8	6.749.447	296.100
CH11	EL TOFO 3	04120015-4	6.751.329	291.209
CH12	EL TOFO 4	04120016-2	6.751.392	291.262
CH13	LOS CH. 4 B-2	04120017-0	6.751.500	304.212

Coordenadas en Datum PSAD56

1.2.1.7 Sector acuífero La Ligua

Tabla 1.18: Estaciones de monitoreo nivel piezométrico sector acuífero La Ligua.

Pozo	Estación	Código BNA	UTM Norte	UTM Este
LI1	A. ALICAGUE	05200008-4	6.411.948	333.712
LI2	A. V. ACONC.	05210003-8	6.413.583	321.296
LI3	A. PILILEN	05210004-6	6.415.486	324.399
LI4	A. BARTOLILLO	05210005-4	6.415.541	327.536
LI5	FDO. EL MOLLE	05210006-2	6.411.707	319.761
LI6	RES. LA VEGA	05210007-0	6.409.802	316660
LI7	A. S. LORENZO	05210008-9	6.409.715	311.958
LI8	A. PAIHUEN	05210009-7	6.418.379	329.605
LI9	FUNDO MONT.	05220011-3	6.408.565	303.383
LI10	POZO D. CAB.	05220013-K	6.411.211	309.578
LI11	A.P. PAP. Y ZAP.	05221007-0	6.409.113	282178
LI12	A.P. LIGUA	05221008-9	6.407465	291.621
LI13	A.P. PLACILLA	05221009-7	6.408.134	283.898
LI14	A.P. V. HERM. (1)	05221010-0	6.407.630	293.656
LI15	A.P. V. HERM. (2)	05221011-9	6.407.661	293.629

Coordenadas en Datum PSAD56

1.2.1.8 Sector acuífero Aconcagua

Tabla 1.19: Estaciones de monitoreo nivel piezométrico sector acuífero Aconcagua.

Pozo	Estación	Código BNA	UTM Norte	UTM Este
AC1	A.P. VALLE HERMOSO (1)	05221010-0	6.407.630	293.656
AC2	A.P. VALLE HERMOSO (2)	05221011-9	6.407.661	293.629
AC3	FUNDO LA ESPERANZA	05410010-8	6.367.608	348.654
AC4	FUNDO LAS PENAS	05410011-6	6.370.358	345.177
AC5	MISION DE MARÍA	05410014-0	6.370.701	343.454
AC6	FUNDO LAS VIÑAS	05410015-9	6.371.427	342.662
AC7	FUNDO LAS MERCEDES	05410017-5	6.364.925	346.433
AC8	FUNDO LA QUIMERA	05410018-3	6.375.104	343.307
AC9	FUNDO LOS PINOS	05410019-1	6.372.314	344.210
AC10	FUNDO LOS CASTAÑOS	05410020-5	6.374.176	341.135
AC11	FUNDO LOS MAITENES	05410021-3	6.365.878	342.438
AC12	EL ASIENTO	05414007-K	6.377.081	337.885
AC13	PERFIL PUTAENDO (1)	05414008-8	6.381.479	335.547
AC14	PERFIL PUTAENDO (2)	05414009-6	6.381.335	336.201
AC15	PERFIL SAN FELIPE	05415008-3	6.376.901	338.227
AC16	FUNDO STA. ADRIANA	05420006-4	6.366.917	338.052

Tabla 1.19: Estaciones de monitoreo nivel piezométrico sector acuífero Aconcagua.

Pozo	Estación	Código BNA	UTM Norte	UTM Este
AC17	HIJUELA PRINCIPAL	05420007-2	6.374.621	330.727
AC18	FUNDO SAN ROQUE	05420009-9	6.370.485	325.807
AC19	A.P. LLAY LLAY (1)	05422003-0	6.365.772	314.971
AC20	A.P. LLAY LLAY (2)	05422005-7	6.364.607	316.944
AC21	FUNDO FLORENCE	05423014-1	6.365.071	301.092
AC22	RABUCO (1)	05423015-K	6.355.692	303568
AC23	PARCELA 5	05423016-8	6.369.419	293.665
AC24	A. M. RODRIGUEZ (1)	05423017-6	6.366.395	299.504
AC25	A. LA SOMBRA	05423018-4	6.367.673	307.988
AC26	RABUCO (2)	05423019-2	6.363.143	303.290
AC27	FUNDO ESPERANZA	05423020-6	6.363.332	303.468
AC28	A. M. RODRIGUEZ (2)	05423021-4	6.367.668	298.438
AC29	A. LOS AROMOS	05423022-2	6.365.529	305.506
AC30	A. M. RODRIGUEZ (3)	05423023-0	6.367.930	299.213
AC31	A. ROMERAL	05423024-9	6.366.244	310.591
AC32	P. DE NOGALES	05424006-6	6.377.861	290.675
AC33	A. NOGALES	05424007-4	6.376.110	295.349
AC34	A. EL MELON	05424008-2	6.381.108	294.293
AC35	FUNDO EL CARMEN	05424010-4	6.373.368	296.863
AC36	CONCHALI	05424012-0	6.369.885	298.340
AC37	CALLEJON ZARAVIA	05425004-5	6.367.456	291.207
AC38	CALLE SANTA MARIA	05425005-3	6.364.999	291.571
AC39	PARCELA S. ANTONIO	05425006-1	6.369.372	291.427
AC40	F. ESMERALDA (1)	05426005-9	6.356.012	289.265
AC41	F. ESMERALDA (2)	05426006-7	6.356009	289.109
AC42	F. EL PROGRESO	05426007-5	6.361.312	292.117
AC43	F. SAN ANTONIO	05426008-3	6.360.323	291.982
AC44	A. EL CAJÓN	05426009-1	6.353.421	289.165
AC45	F. ESMERALDA (3)	05426011-3	6.357.010	284.096
AC46	A. LA VICTORIA (1)	05426012-1	6.355.340	275.554
AC47	A. LAS PATAGUAS	05426014-8	6.360.924	294.206
AC48	PARCELA 12 LA CRUZ	05426015-6	6.360.184	294.195
AC49	SAN ISIDRO PUENTE	05426016-4	6.357.518	290.481
AC50	A. LA VICTORIA (2)	05426017-2	6.354.522	272.141
AC51	A. LA VICTORIA (3)	05426018-0	6.354.735	273384
AC52	LAJARILLAS	05426019-9	6.355.013	270.726
AC53	LAS CRUZADAS	05426020-2	6.353.711	285.468
AC54	TABOLANGO (1)	05426021-0	6.354.190	279.219
AC55	A. LAS PATAGUAS	05426022-9	6.356.939	292.287
AC56	TABOLANGO (2)	05426023-7	6.354.246	278.958

Tabla 1.19: Estaciones de monitoreo nivel piezométrico sector acuífero Aconcagua.

Pozo	Estación	Código BNA	UTM Norte	UTM Este
AC57	A.P. OLMUE	05427010-0	6.366.017	302.166
AC58	FUNDO EL ROCÍO	05427011-9	6.344.593	291.379
AC59	S. CARLOS PELUMPEN	05427012-7	6.344.691	296.051
AC60	CON CON	05428005-K	6.354.272	269.340
AC61	CON CON	05428006-8	6.354.819	269.015
AC62	CON CON	05428008-4	6.354.226	267.391
AC63	LAJARILLAS	05428010-6	6.354.649	269.643

Coordenadas en Datum PSAD56

1.2.1.9 Sector acuífero Mapocho Alto

Tabla 1.20: Estaciones de monitoreo nivel piezométrico sector acuífero Mapocho Alto.

Pozo	Estación	Código BNA	UTM Norte	UTM Este
MA1	MANIZALES 1980	05730018-3	6.304.935	354.066
MA2	CURAMAVIDA 729	05730019-1	6.305.128	358.715
MA3	E. SAN JORGE	05730020-5	6.304.907	360.476
MA4	E. CORFO	05730034-5	6.301.070	355.157
MA5	POZO C. DE GOLF	05730040-K	6.302.383	352.347

Coordenadas en Datum PSAD56

1.2.1.10 Sector acuífero Maipo

Tabla 1.21: Estaciones de monitoreo nivel piezométrico sector acuífero Maipo.

Pozo	Estación	Código BNA	UTM Norte	UTM Este
M1	AV. KENNEDY 6774	05730017-5	6.324.369	329.064
M2	ESTADIO SAN JORGE	05730020-5	6.304.907	360.476
M3	OCHAGAVIA 5601	05730023-K	6.292.042	345.174
M4	LAZO DE LA VEGA 4859	05730025-6	6.301.726	341.970
M5	CONSEJO NACIONAL DE MENORES	05730026-4	6.298.271	334.380
M6	HIJUELA EL OLIVO	05730027-2	6.295.459	335.668
M7	5 DE ABRIL 4534 DINAMIC OIL	05730028-0	6.296.554	342.209
M8	CEMENTERIO METROPOLITANO	05730031-0	6.288.933	343.469
M9	CHACRA SAN MARTIN	05730033-7	6.291.444	335.168
M10	ESTADIO CORFO	05730034-5	6.301.070	355.157
M11	COLEGIO SAN IGNACIO	05730035-3	6.294.738	354.116
M12	LIQUIDADORA CARBONES	05730036-1	6.302.396	332.345

Tabla 1.21: Estaciones de monitoreo nivel piezométrico sector acuífero Maipo.

Pozo	Estación	Código BNA	UTM Norte	UTM Este
M13	AGUA POTABLE SANTA VICTORIA	05730038-8	6.306.057	346.888
M14	POZO CLUB DE GOLF	05730040-K	6.302.383	352.347
M15	VERTEDERO CERROS DE RENCA	05730041-8	6.305.851	341.773
M16	CEMENTERIO METROPOLITANO	05730043-4	6.289.312	342.121
M17	PARQUE O"HIGGINS	05730044-2	6.296.212	345.856
M18	FUNDO LAS CASAS ASENT. COLO COLO	05730047-7	6.307.450	335.981
M19	CASAS DE COLO COLO	05730048-5	6.307.450	335.981
M20	MOLINA 704	05730049-3	6.296.938	345.018
M21	MATUCANA 741	05730050-7	6.299.388	344.100
M22	CAMINO A MELIPILLA 10803	05730053-1	6.290.081	338.340
M23	PORTUGAL 125	05730054-K	6.298.649	347.961
M24	AMUNATEGUI 42	05730055-8	6.298.591	346.257
M25	PLANTA A.P. EL ALMENDRAL	05730056-6	6.291.388	335.479
M26	FUNDO LOS TALAVERAS	05731001-4	6.345.986	341.147
M27	HACIENDA CHACABUCO	05731002-2	6.344.626	342.778
M28	FUNDO LOS TAHURETES	05731003-0	6.343.791	340.663
M29	LOS GUAYACANES	05731004-9	6.341.166	338.423
M30	ASENTAMIENTO CHACABUCO	05731005-7	6.341.667	340.749
M31	CERA UNION HUECHUN	05731006-5	6.347.423	344.291
M32	CHILECTRA POLPAICO	05732003-6	6.334.489	329.847
M33	RESERVA FUNDO POLPAICO	05732004-4	6.330.715	328.979
M34	PARCELA 5 POLPAICO	05732005-2	6.331.969	326.702
M35	FUNDO SANTA ANA	05732006-0	6.333.494	331.056
M36	HUERTOS FAM. CERRO BLANCO	05732007-9	6.332.419	333.071
M37	FABRICA POLPAICO	05732008-7	6.330.159	328.885
M38	ASENT. LOS MAITENES	05732010-9	6.335.956	332.726
M39	FUNDO MONTECARLO (EX VENCEREMOS)	05732011-7	6.336.432	335.363
M40	RINCON DE LOS MOLINOS	05733011-2	6.339.430	320.084
M41	ESCUELA 293 POLPAICO	05733012-0	6.330.899	323.688
M42	R. FUNDO SAN MANUEL	05733013-9	6.330.266	322.792
M43	FUNDO SANTA ROSA DE LAMPA	05734004-5	6.320.162	335.197
M44	ENTEL BATUCO	05734005-3	6.321.157	332.124
M45	FUNDO LA LAGUNA	05734006-1	6.324.369	329.064
M46	ASENTAMIENTO LAGUNA	05734007-K	6.326.161	329.344
M47	FDO. EL ALMENDRAL	05734008-8	6.328.943	344.584
M48	ASENTAMIENTO LO VARGAS	05734010-K	6.316.670	325.783
M49	FUNDO SANTA ERMINIA	05734011-8	6.317.733	324.936
M50	PARCELA 4 EL VALLE CHICAUMA	05734012-6	6.320.878	321.668
M51	FUNDO LA MONTANA	05735009-1	6.312.541	340.138
M52	ASENTAMIENTO EL TAQUERAL	05735010-5	6.314.552	335.111

Tabla 1.21: Estaciones de monitoreo nivel piezométrico sector acuífero Maipo.

Pozo	Estación	Código BNA	UTM Norte	UTM Este
M53	PARCELA 7 LIRAY	05735011-3	6.321.067	337.719
M54	SANITARIOS COLINAS	05735013-K	6.318.871	331.801
M55	AEROPUERTO PUDAHUEL	05736002-K	6.303.901	335.679
M56	PARCELA 62 NOVICIADO	05736003-8	6.303.403	324.832
M57	FUNDO EL PERAL	05736004-6	6.303.966	332.266
M58	POZO FUNDO EL ALGARROBAL	05736005-4	6.316.446	341.497
M59	POZO CRUCERO PERALILLO	05736007-0	6.306.082	328.171
M60	FUNDO SAN ALBERTO MARRUECOS	05737009-2	6.286.593	332.568
M61	CHACRA ANDALUCIA	05737010-6	6.281.391	329.409
M62	ASENTAMIENTO MALLOCO	05737011-4	6.282.038	329.398
M63	CASAS DE SAN LUIS	05737012-2	6.274.911	323.803
M64	FUNDO SANTA LUCIA	05737014-9	6.283.628	339.377
M65	A.P. SANTA ROSA	05737015-7	6.284.408	334.541
M66	AGRICOLA HERMANOS POBLETE	05737017-3	6.284.256	331.113

Coordenadas en Datum PSAD56

1.2.1.11 Sector acuífero Maitenlahue

No existen estaciones de monitoreo de nivel piezométrico pertenecientes al Banco Nacional de Aguas.

1.2.1.12 Sector acuífero Estero Las Cadenas

Tabla 1.22: Estaciones de monitoreo nivel piezométrico sector acuífero Estero Las Cadenas.

Pozo	Estación	Código BNA	UTM Norte	UTM Este
CA1	A.P. POBLACIÓN	06051005-9	6.185.557	265.861
CA2	MATADERO M.	06051006-7	6.191.189	259.431
CA3	CRIADERO AVES	06051007-5	6195.477	261.878
CA4	A. SAN ISIDRO	06051008-3	6.183.207	270.568

Coordenadas en Datum PSAD56

1.2.2 Evolución temporal del nivel piezométrico

1.2.2.1 Sector acuífero Lluta

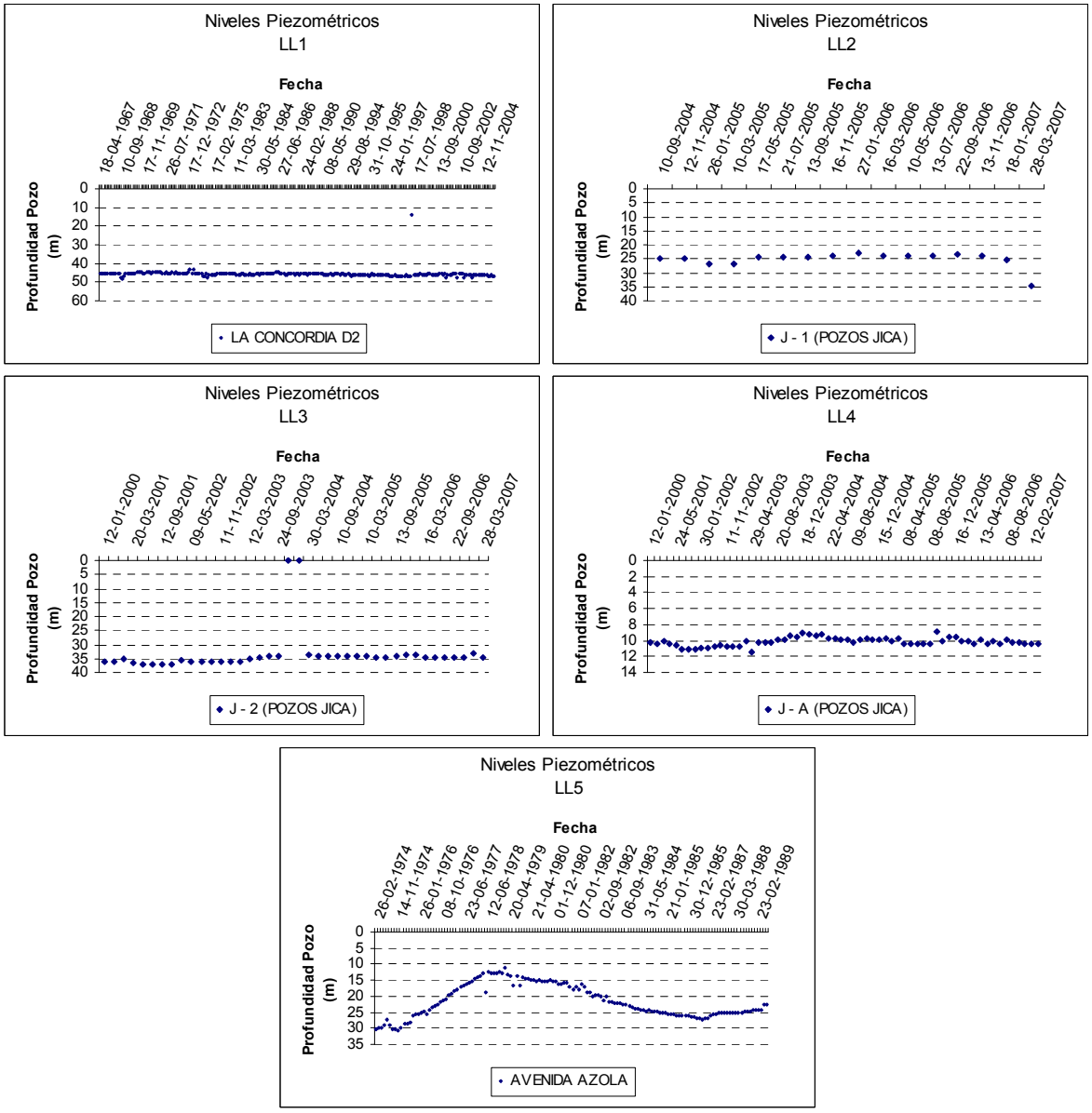


Figura 1.1: Evolución temporal del nivel piezométrico en sector acuífero Lluta.

1.2.2.2 Sector acuífero Azapa

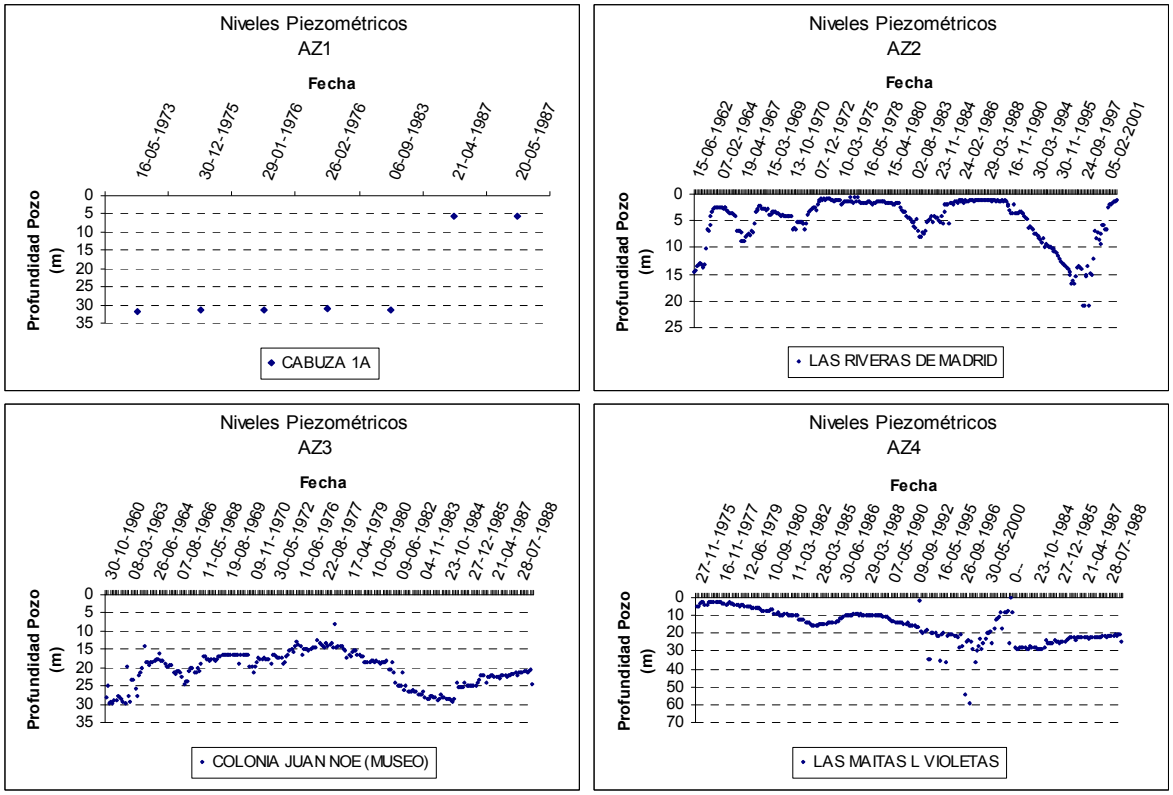


Figura 1.2: Evolución temporal del nivel piezométrico en sector acuífero Azapa.

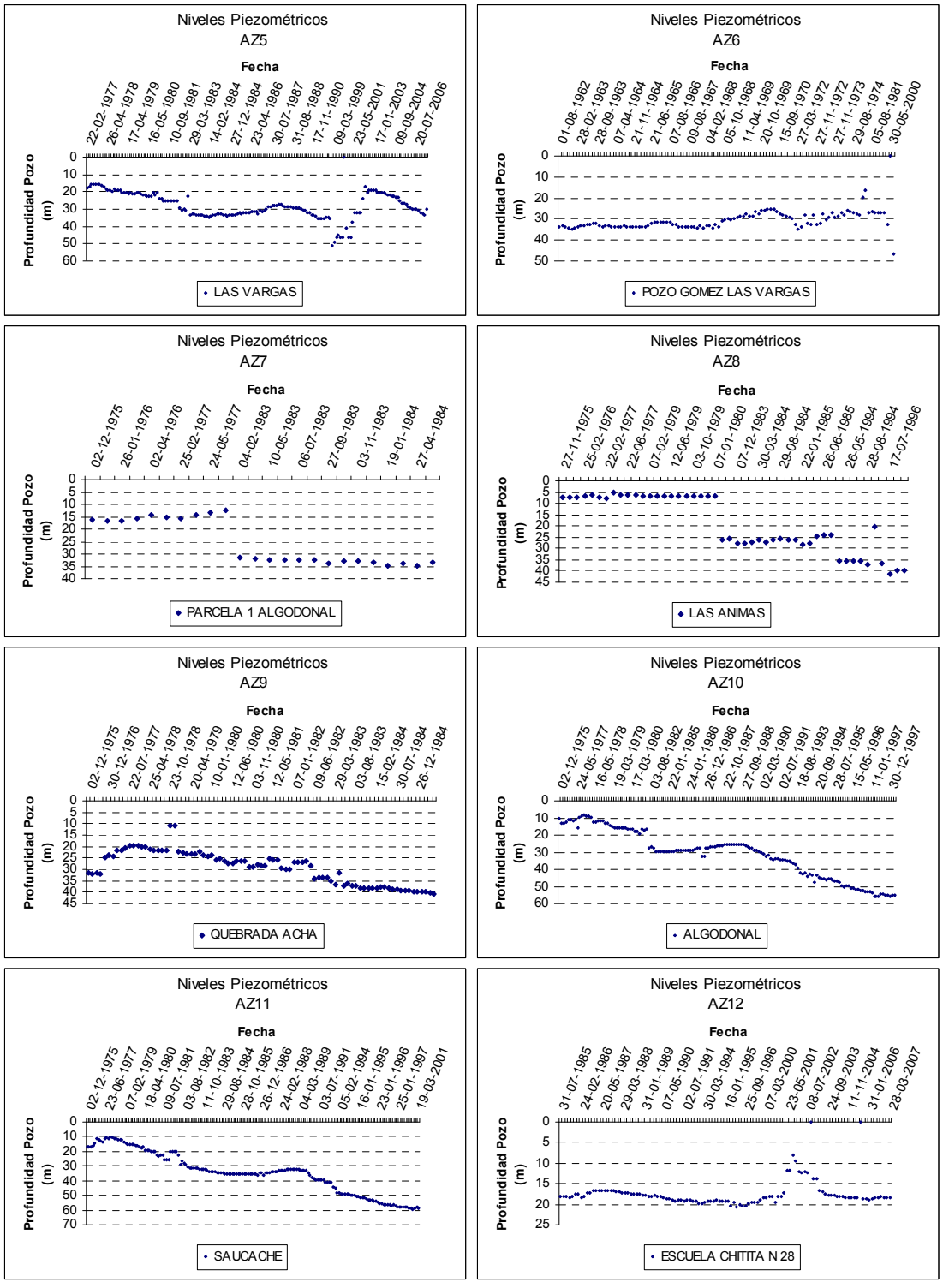


Figura 1.2: Evolución temporal del nivel piezométrico en sector acuífero Azapa. (Cont.)

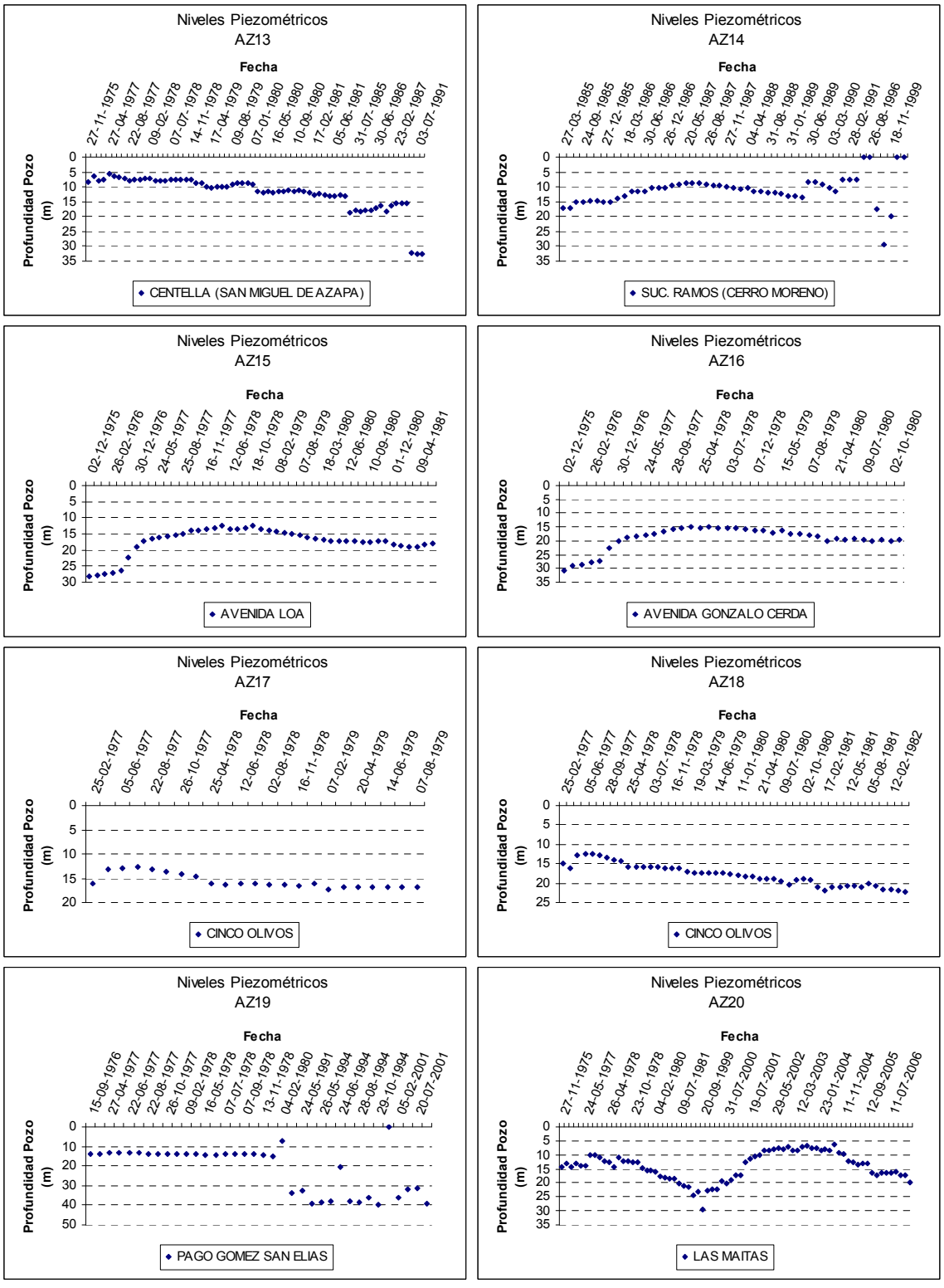


Figura 1.2: Evolución temporal del nivel piezométrico en sector acuífero Azapa. (Cont.)

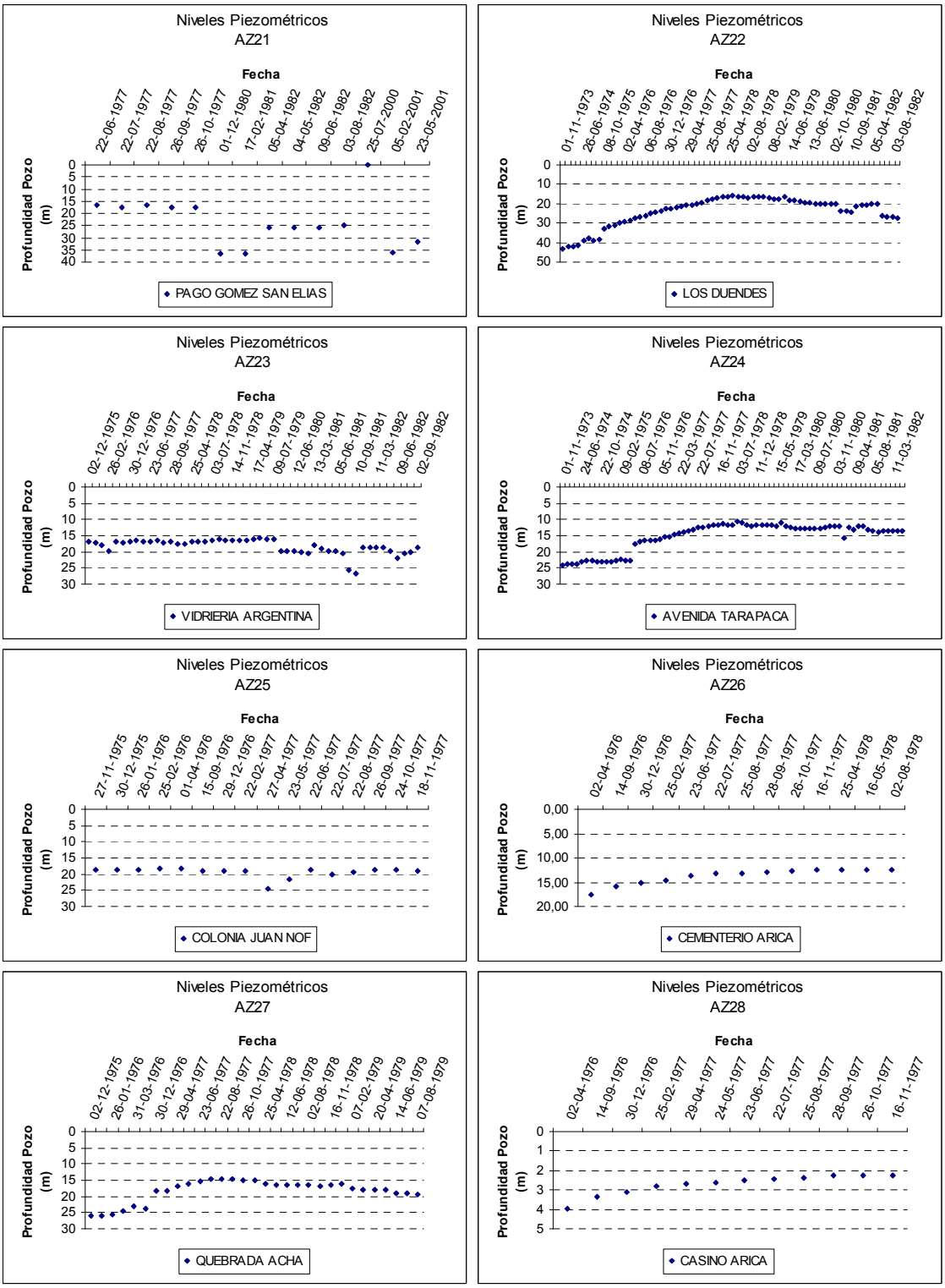


Figura 1.2: Evolución temporal del nivel piezométrico en sector acuífero Azapa. (Cont.)

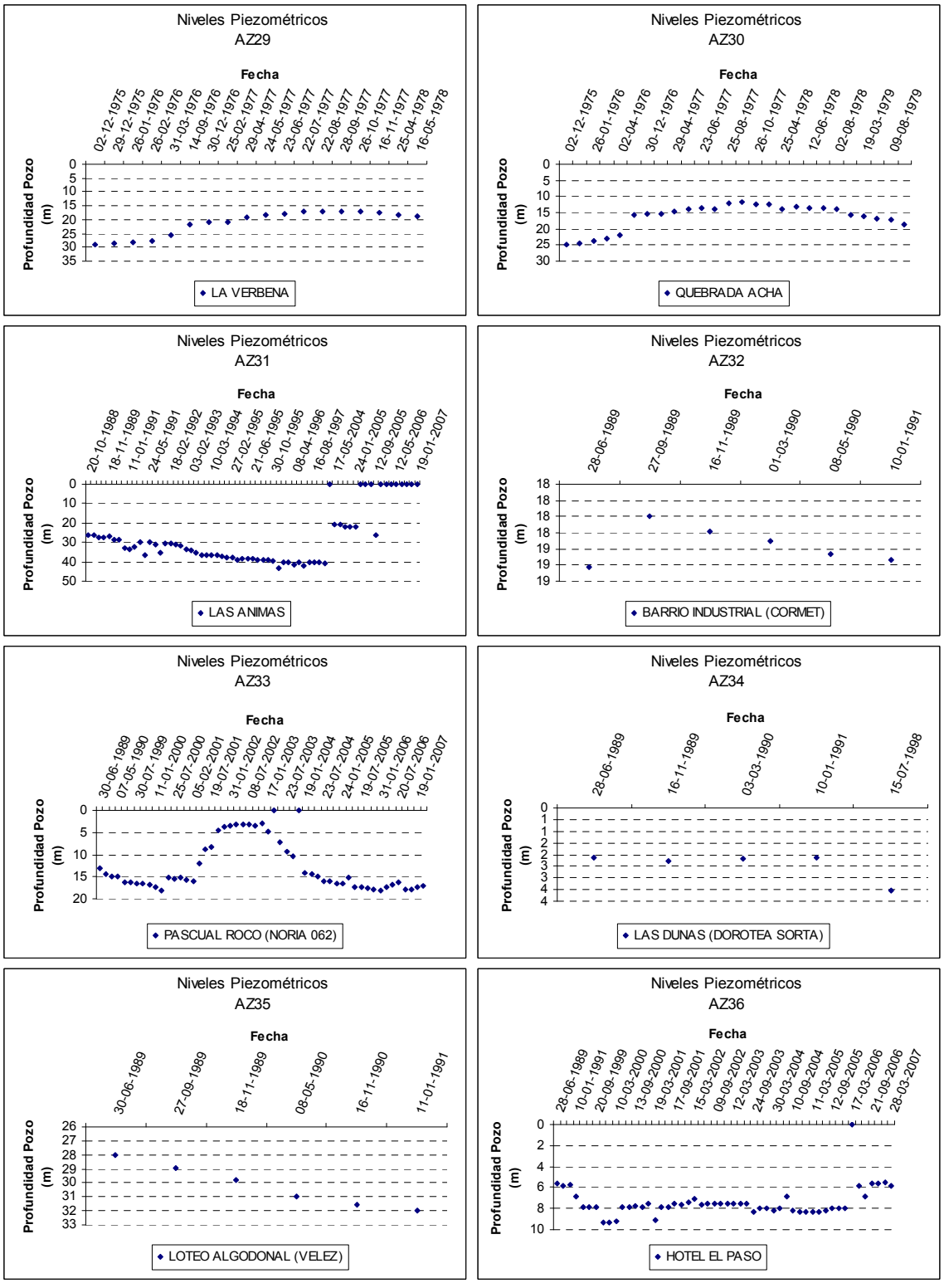


Figura 1.2: Evolución temporal del nivel piezométrico en sector acuífero Azapa. (Cont.)

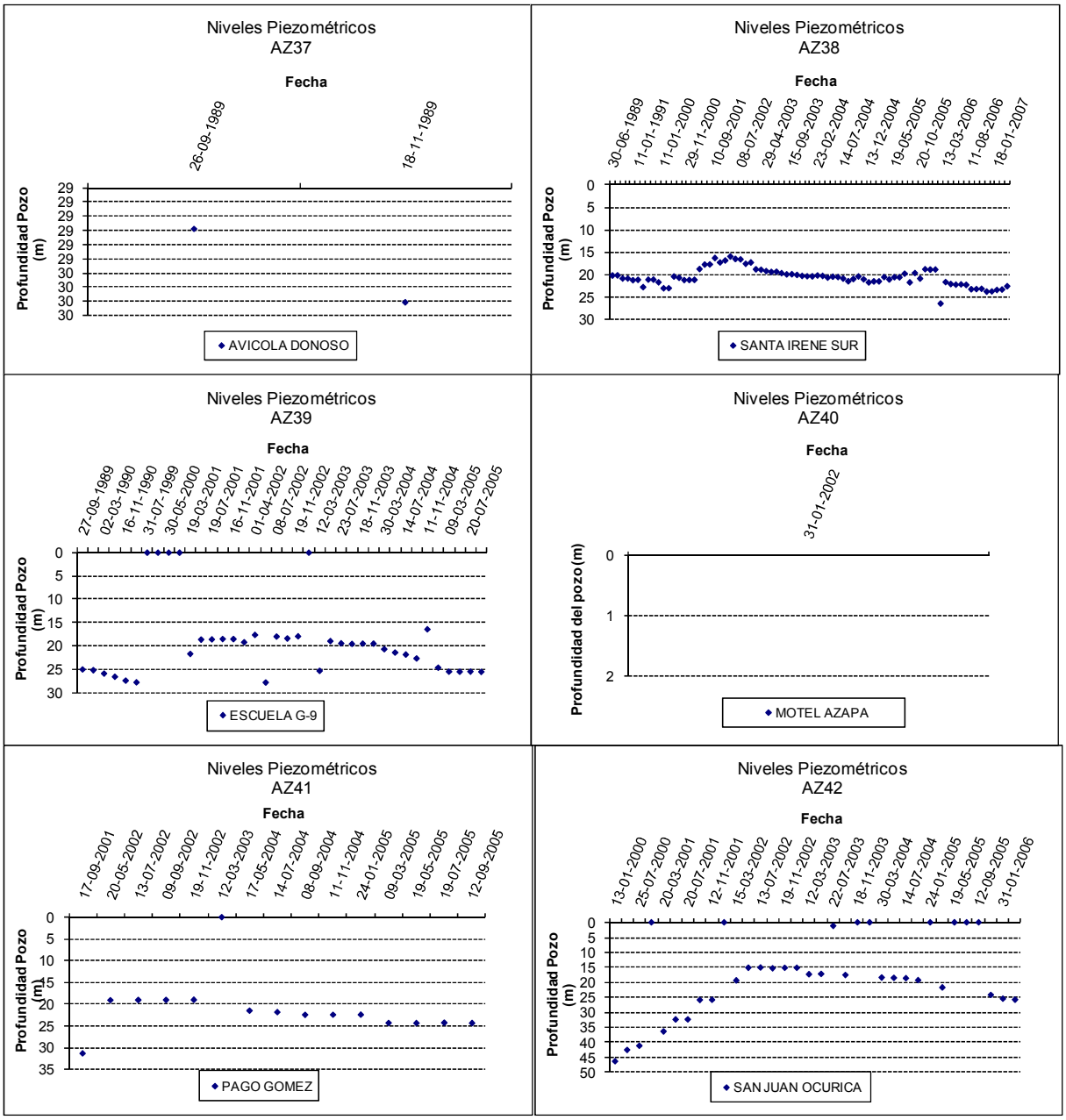


Figura 1.2: Evolución temporal del nivel piezométrico en sector acuífero Azapa. (Cont.)

1.2.2.3 Sector acuífero Pampa del Tamarugal

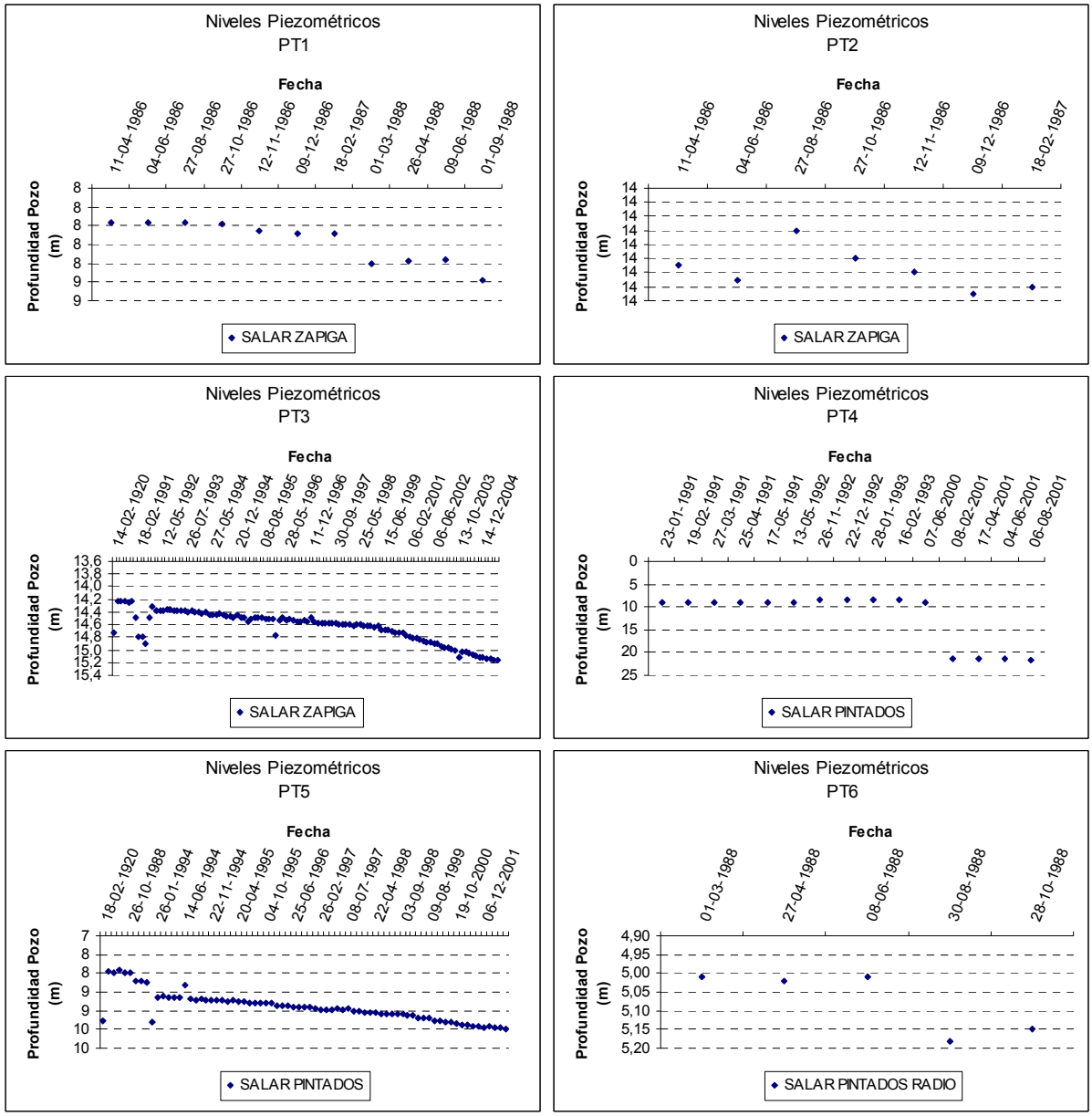


Figura 1.3: Evolución temporal del nivel piezométrico en sector acuífero Pampa del Tamarugal.

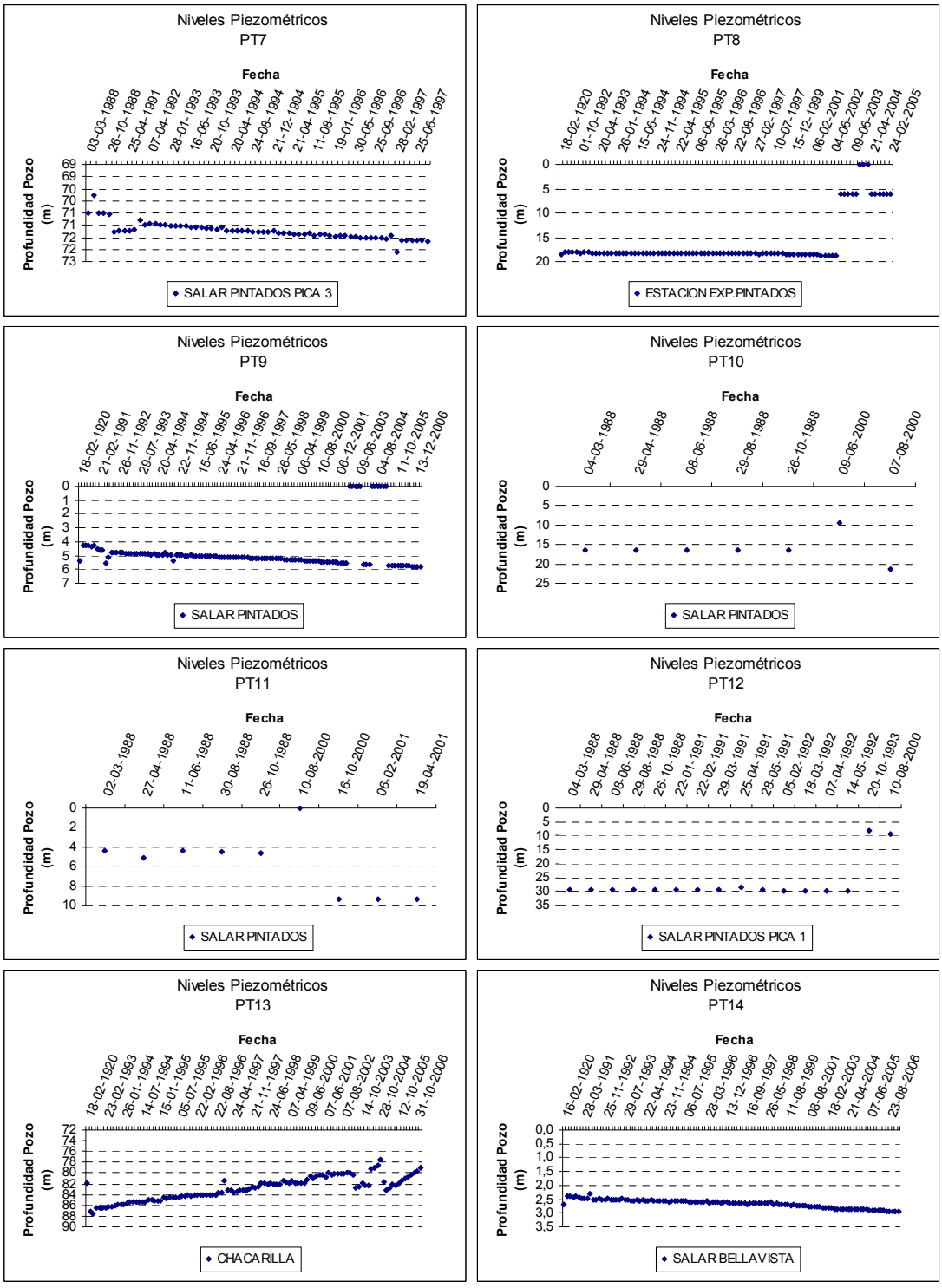


Figura 1.3: Evolución temporal del nivel piezométrico en sector acuífero Pampa del Tamarugal. (Cont.)

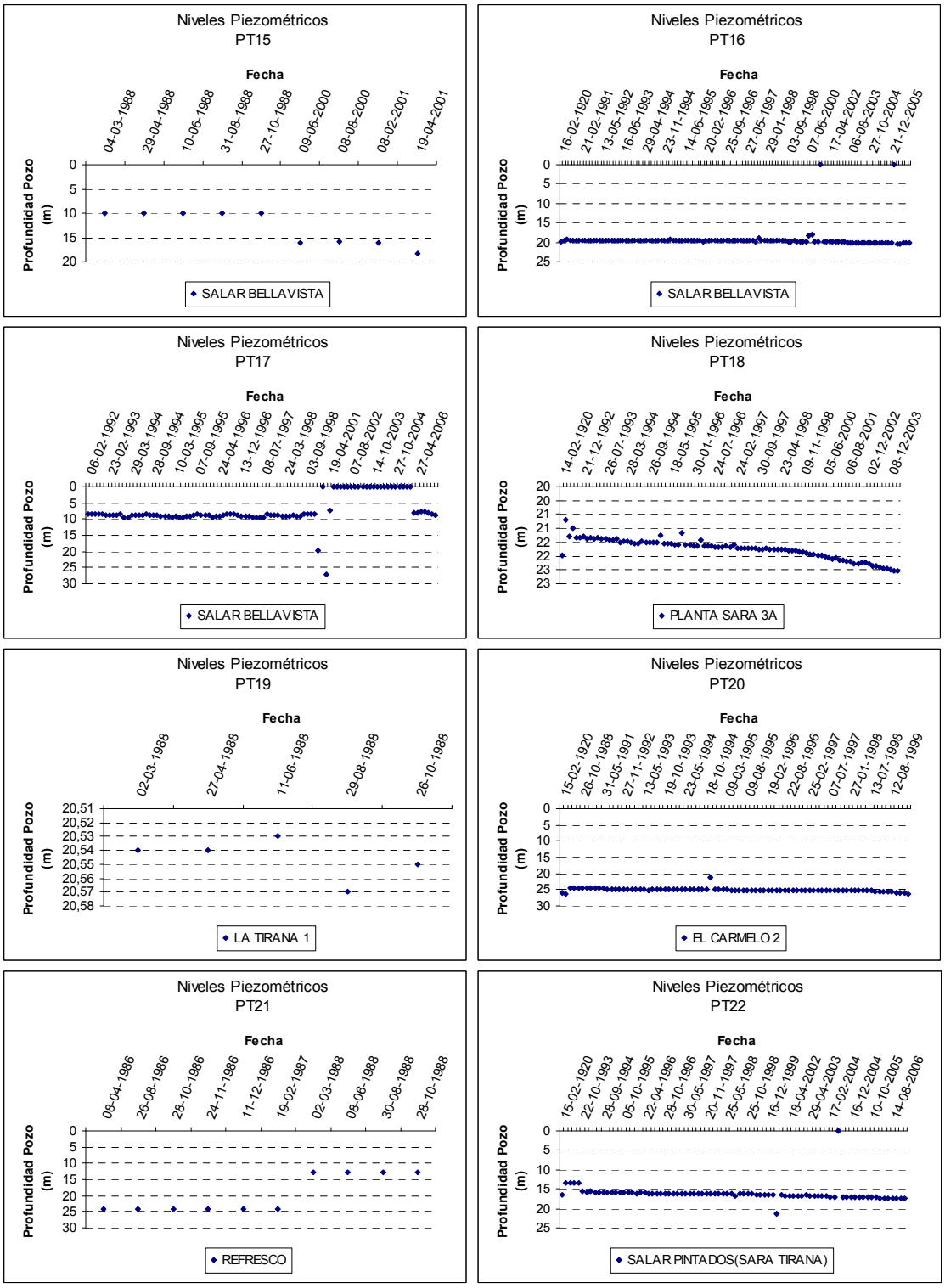


Figura 1.3: Evolución temporal del nivel piezométrico en sector acuífero Pampa del Tamarugal. (Cont.)

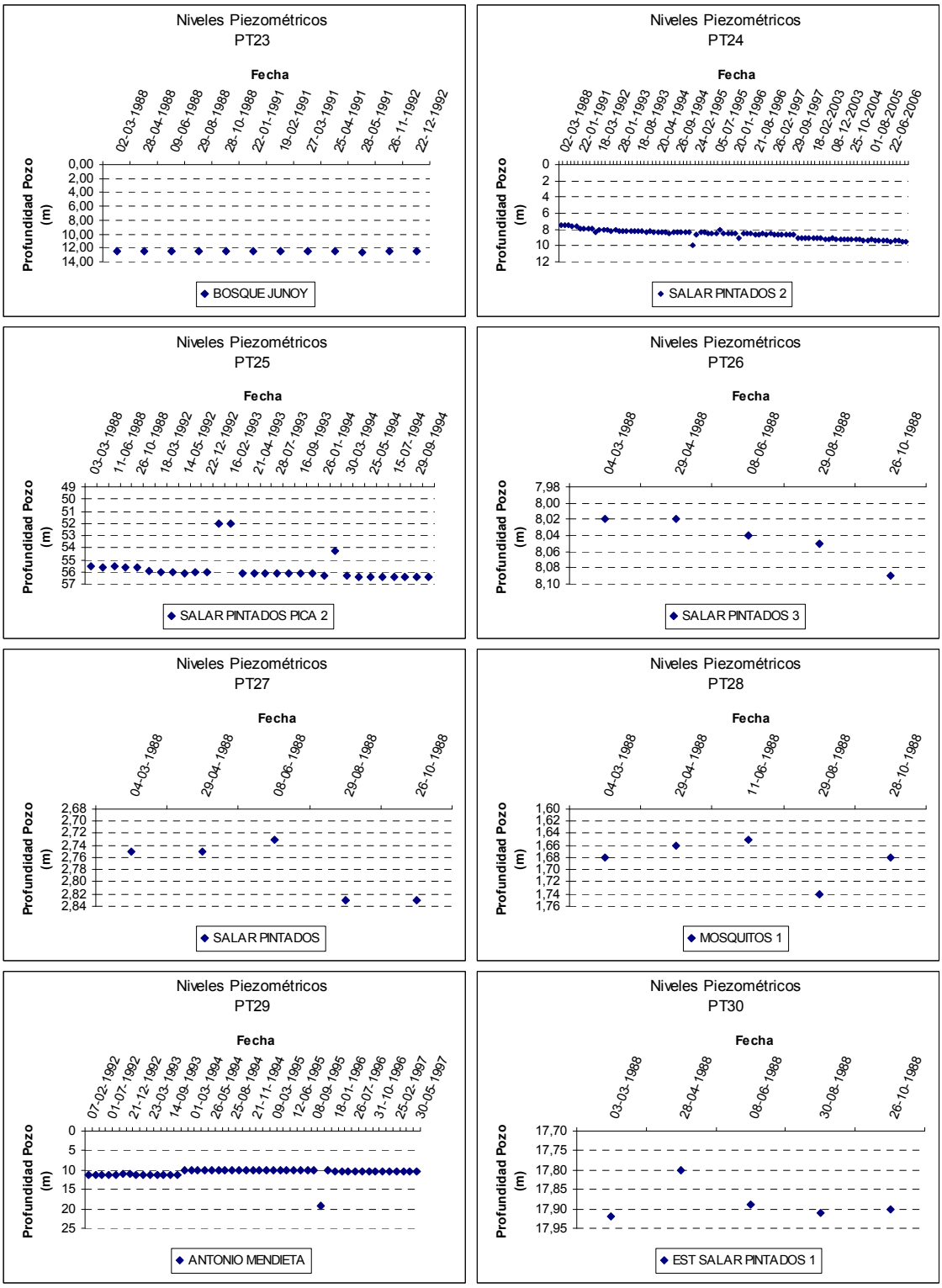


Figura 1.3: Evolución temporal del nivel piezométrico en sector acuífero Pampa del Tamarugal. (Cont.)

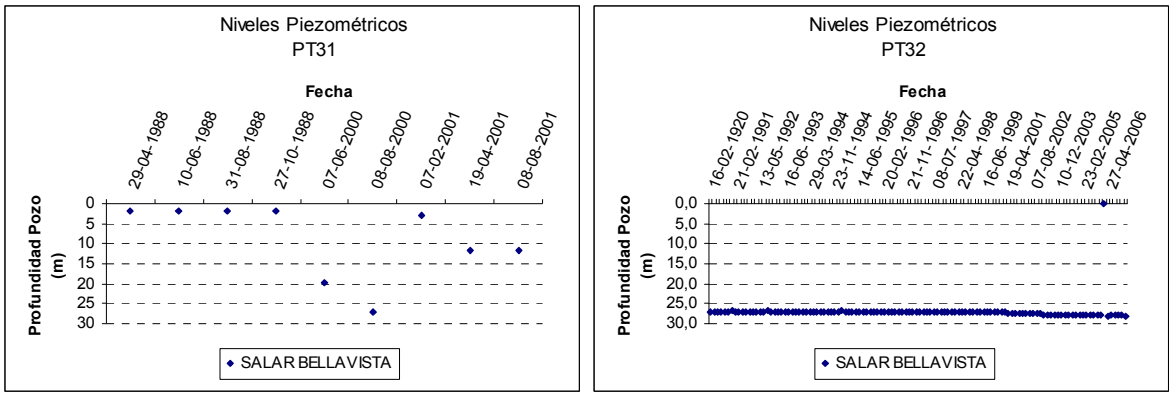


Figura 1.3: Evolución temporal del nivel piezométrico en sector acuífero Pampa del Tamarugal. (Cont.)

1.2.2.4 Sector acuífero Salar de Coposa

No existen estaciones de monitoreo de calidad de agua subterránea pertenecientes al Banco Nacional de Aguas.

1.2.2.5 Sector acuífero El Loa

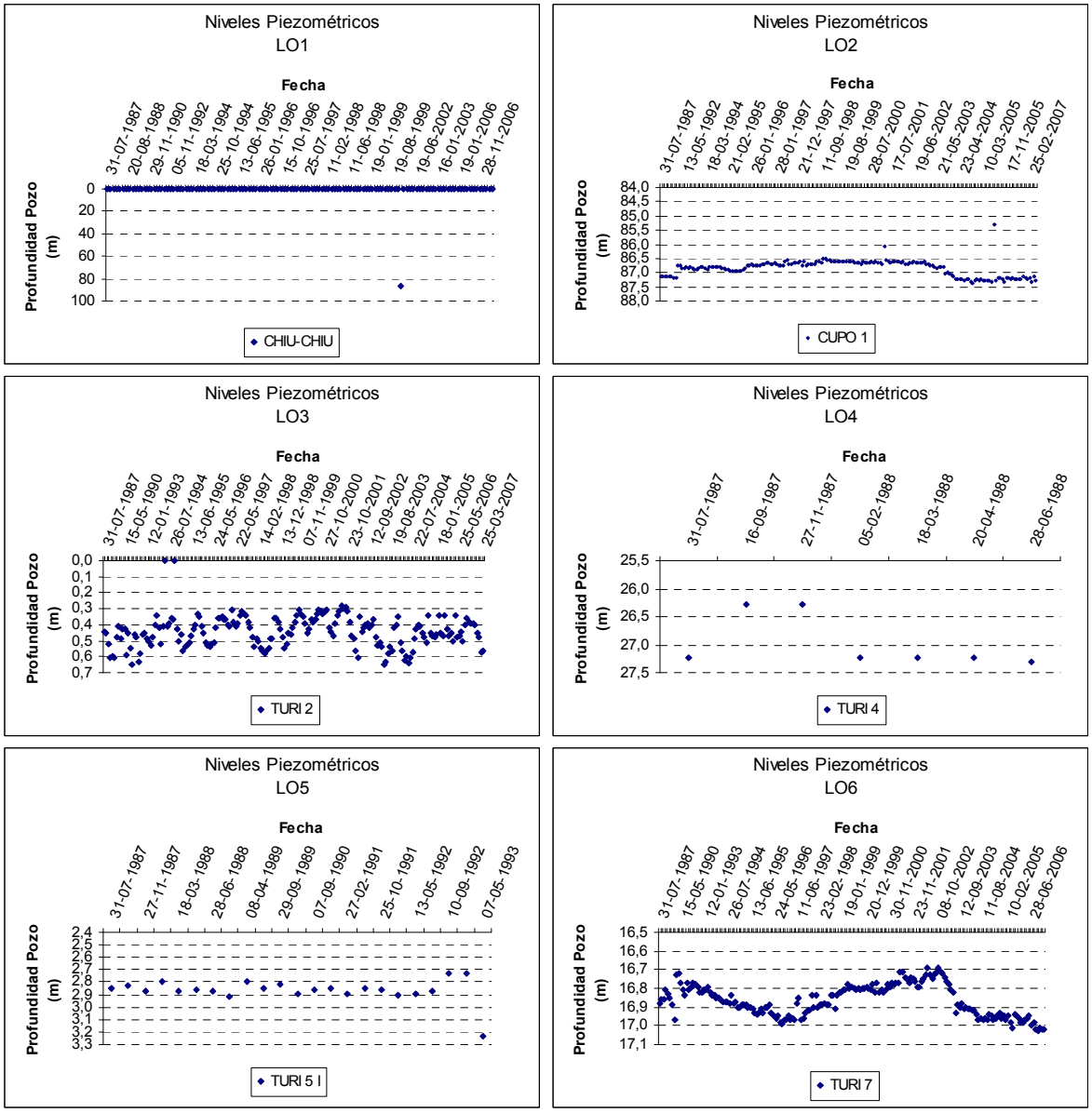


Figura 1.4: Evolución temporal del nivel piezométrico en sector acuífero El Loa.

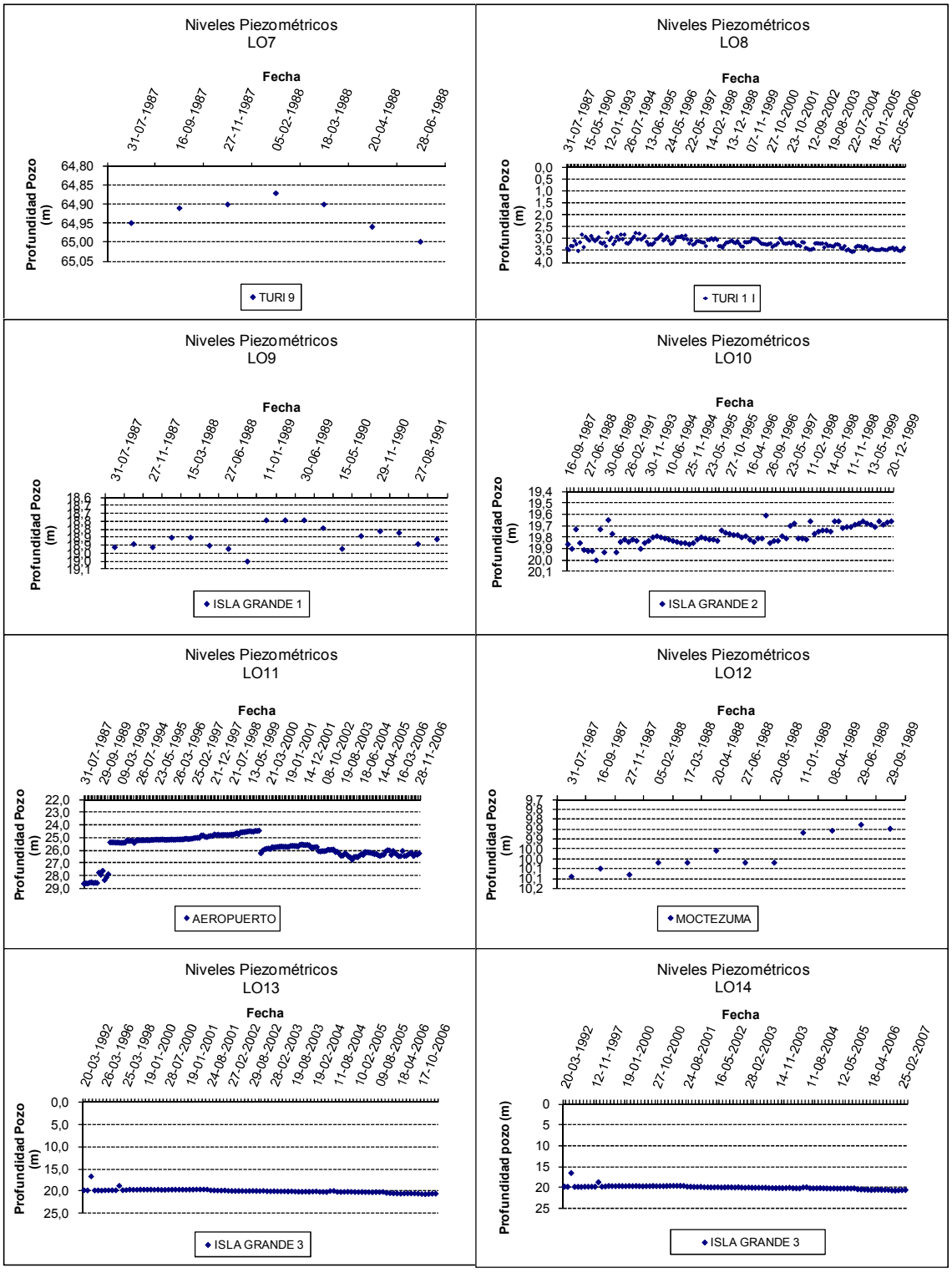


Figura 1.4: Evolución temporal del nivel piezométrico en sector acuífero El Loa. (Cont.)

1.2.2.6 Sector acuífero Los Choros

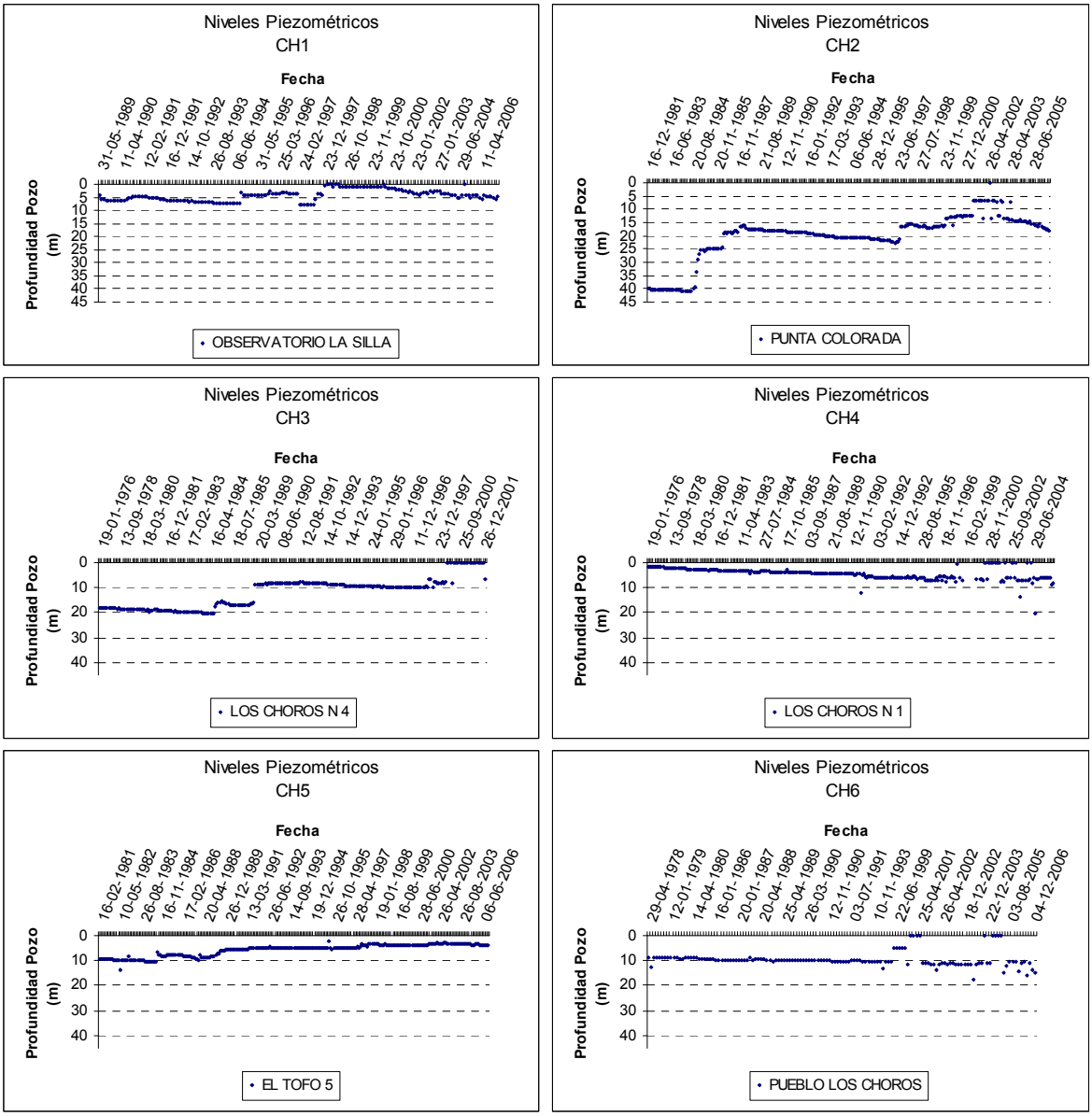


Figura 1.5: Evolución temporal del nivel piezométrico en sector acuífero Los Choros.

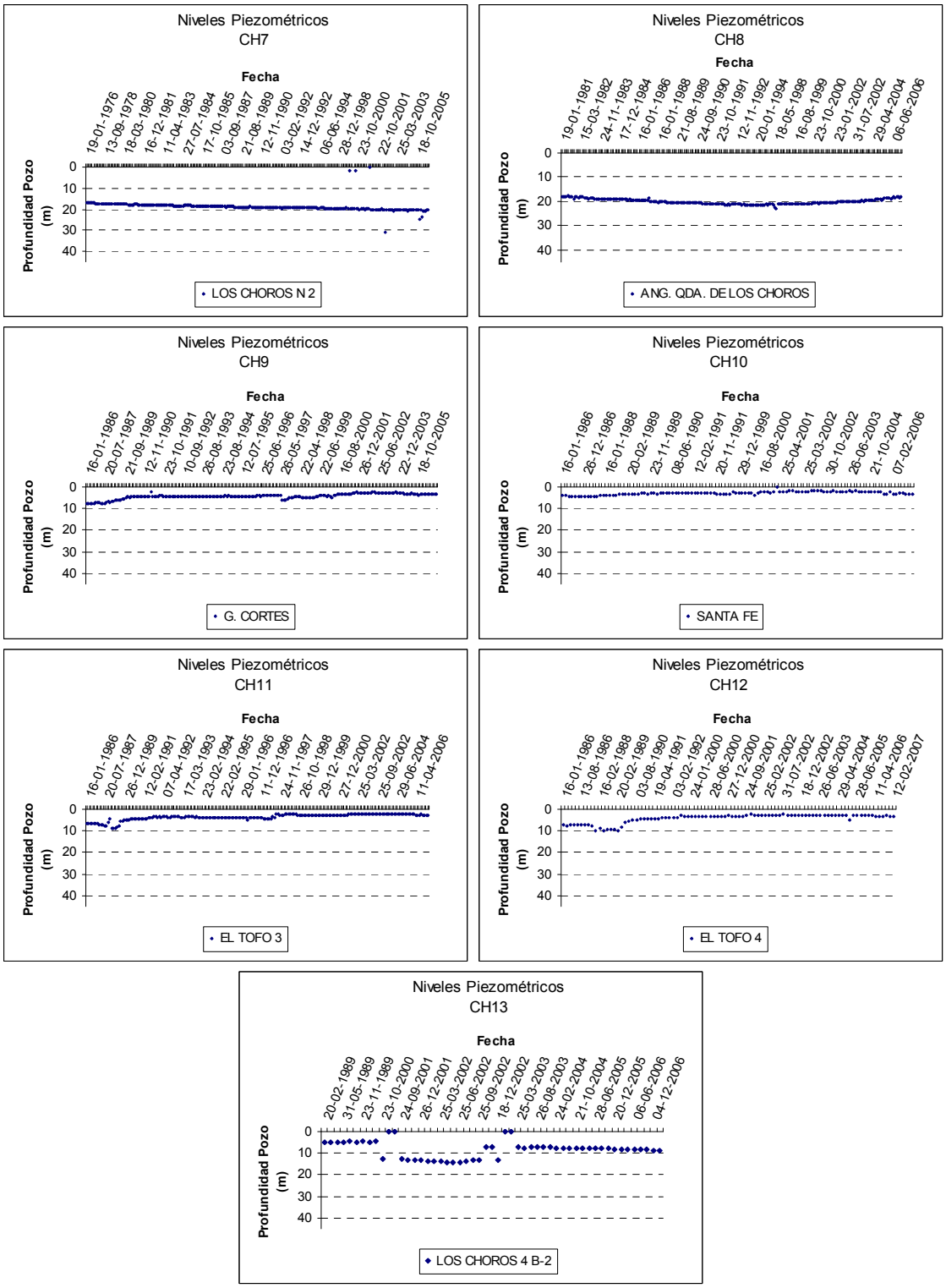


Figura 1.5: Evolución temporal del nivel piezométrico en sector acuífero Los Choros. (Cont.)

1.2.2.7 Sector acuífero La Ligua

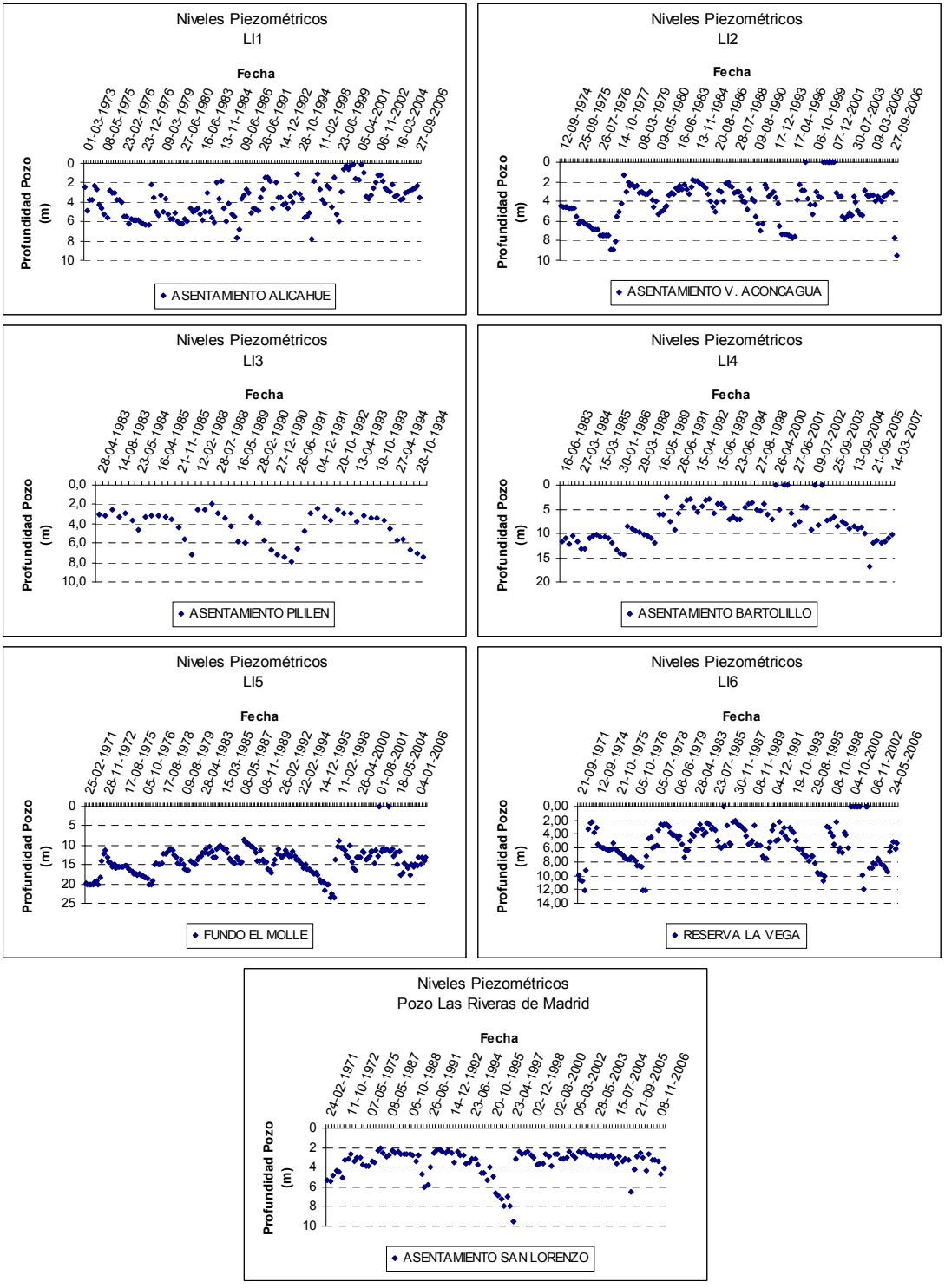


Figura 1.6: Evolución temporal del nivel piezométrico en sector acuífero La Ligua.

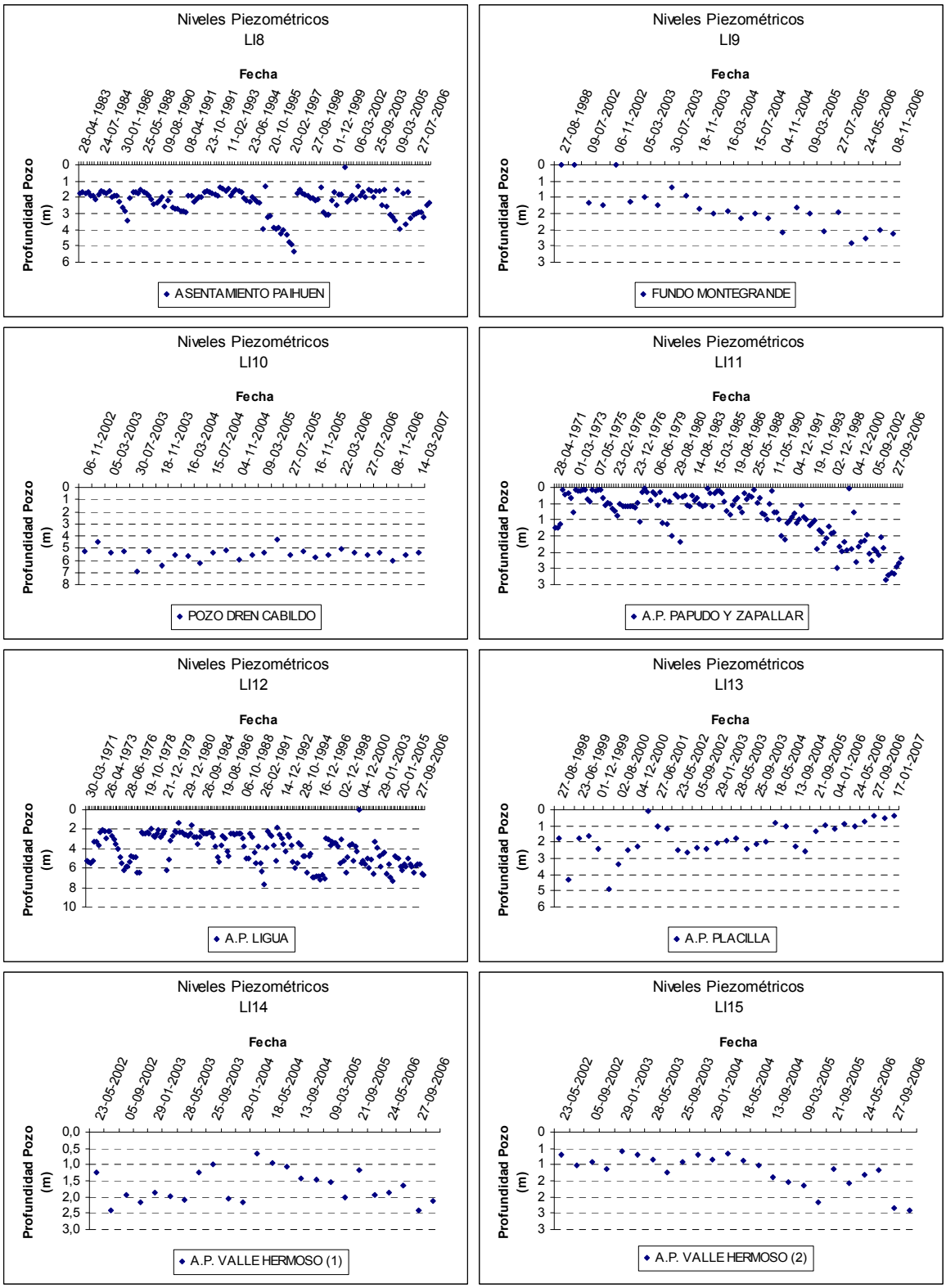


Figura 1.6: Evolución temporal del nivel piezométrico en sector acuífero La Ligua. (Cont.)

1.2.2.8 Sector acuífero Aconcagua

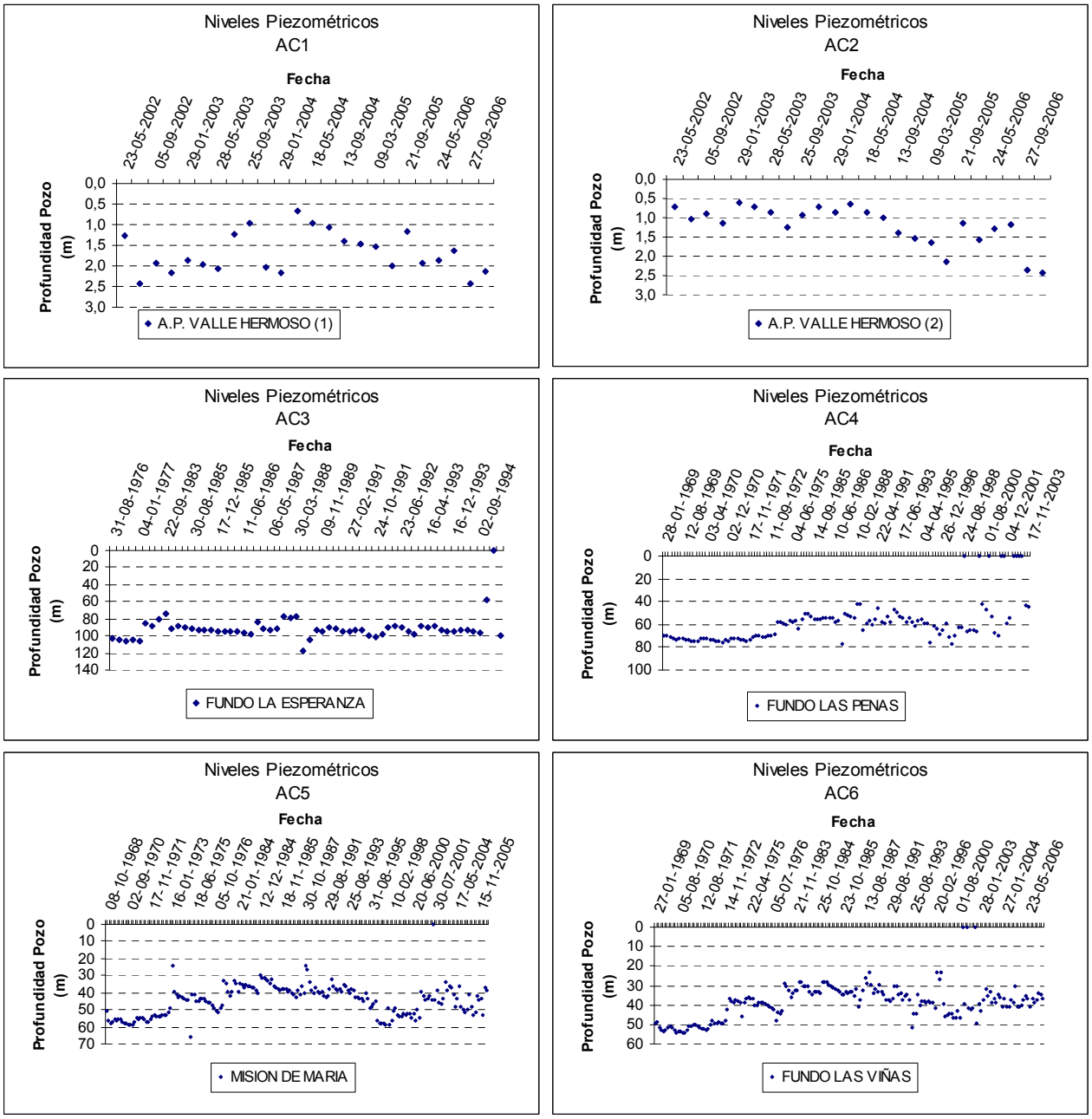


Figura 1.7: Evolución temporal del nivel piezométrico en sector acuífero Aconcagua.

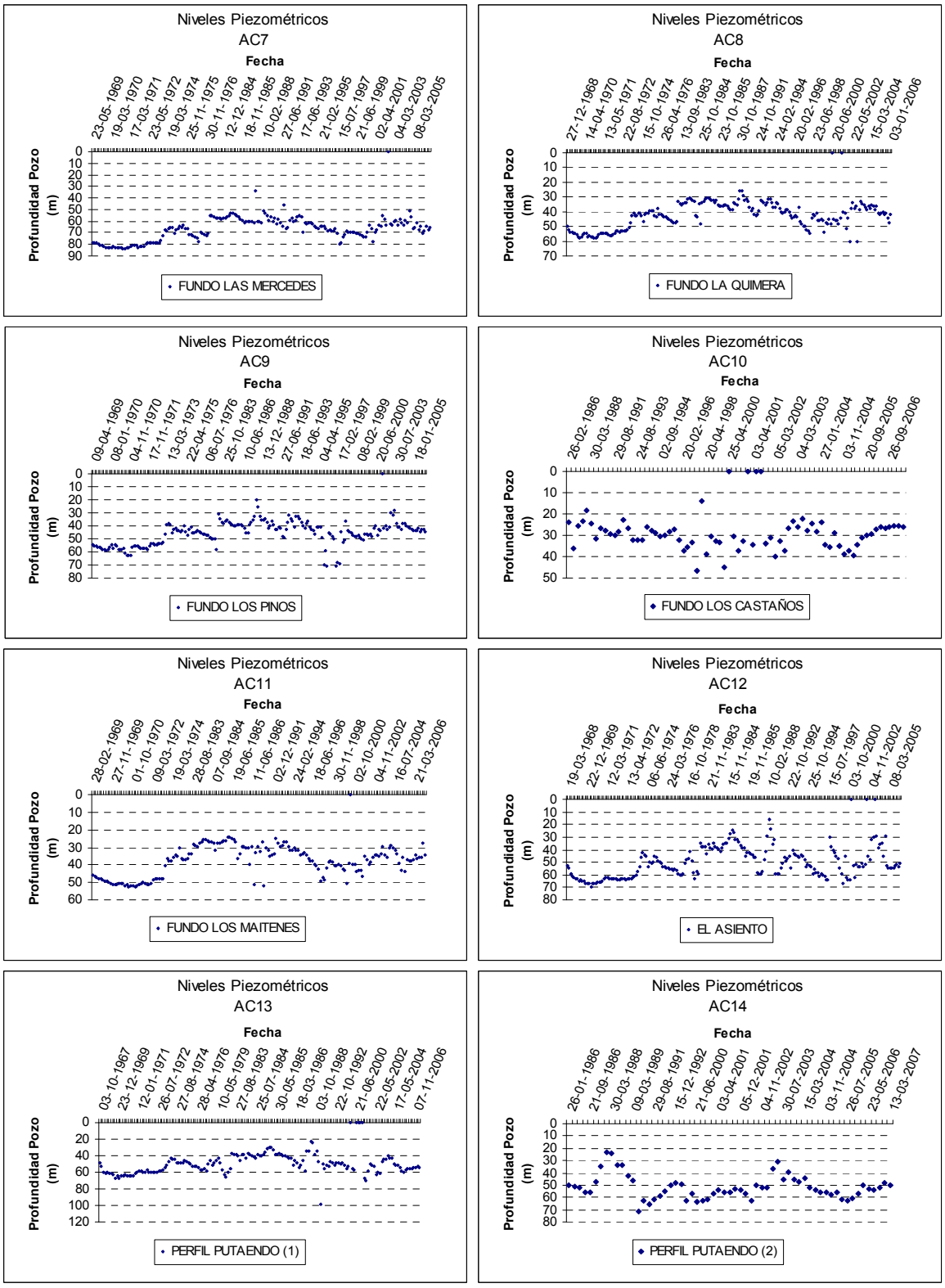


Figura 1.1: Evolución temporal del nivel piezométrico en sector acuífero Aconcagua. (Cont.)

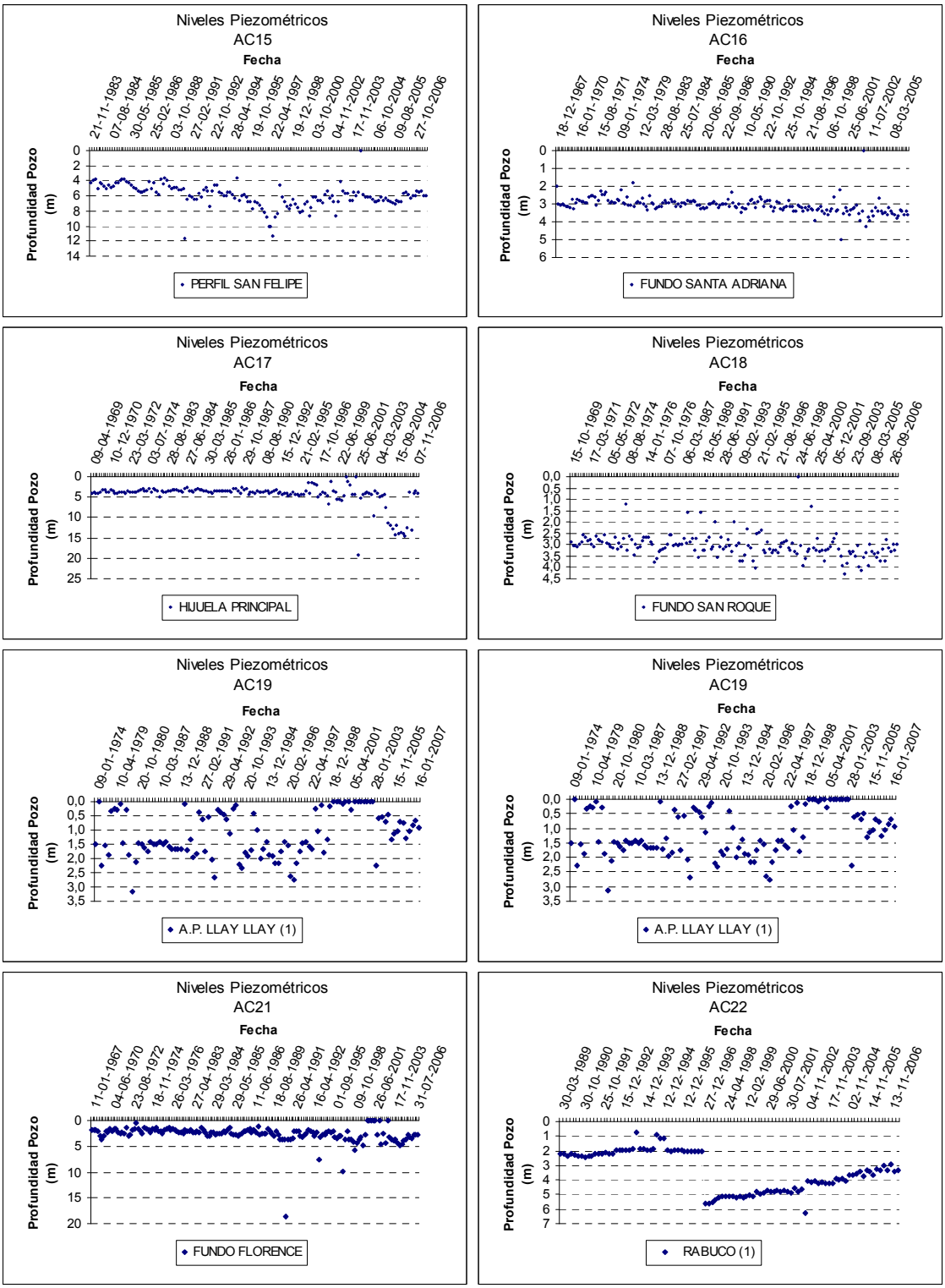


Figura 1.1: Evolución temporal del nivel piezométrico en sector acuífero Aconcagua. (Cont.)

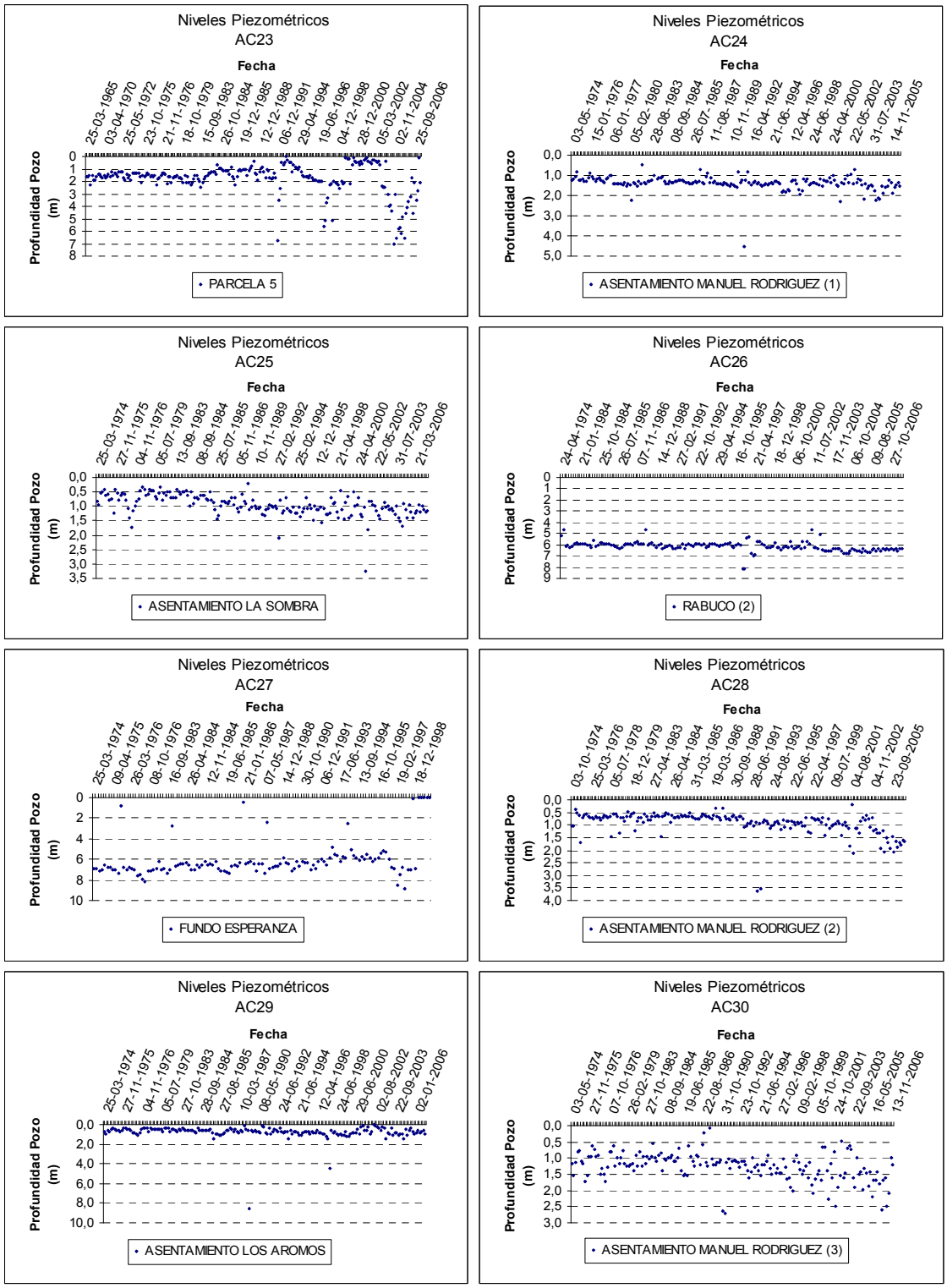


Figura 1.1: Evolución temporal del nivel piezométrico en sector acuífero Aconcagua. (Cont.)

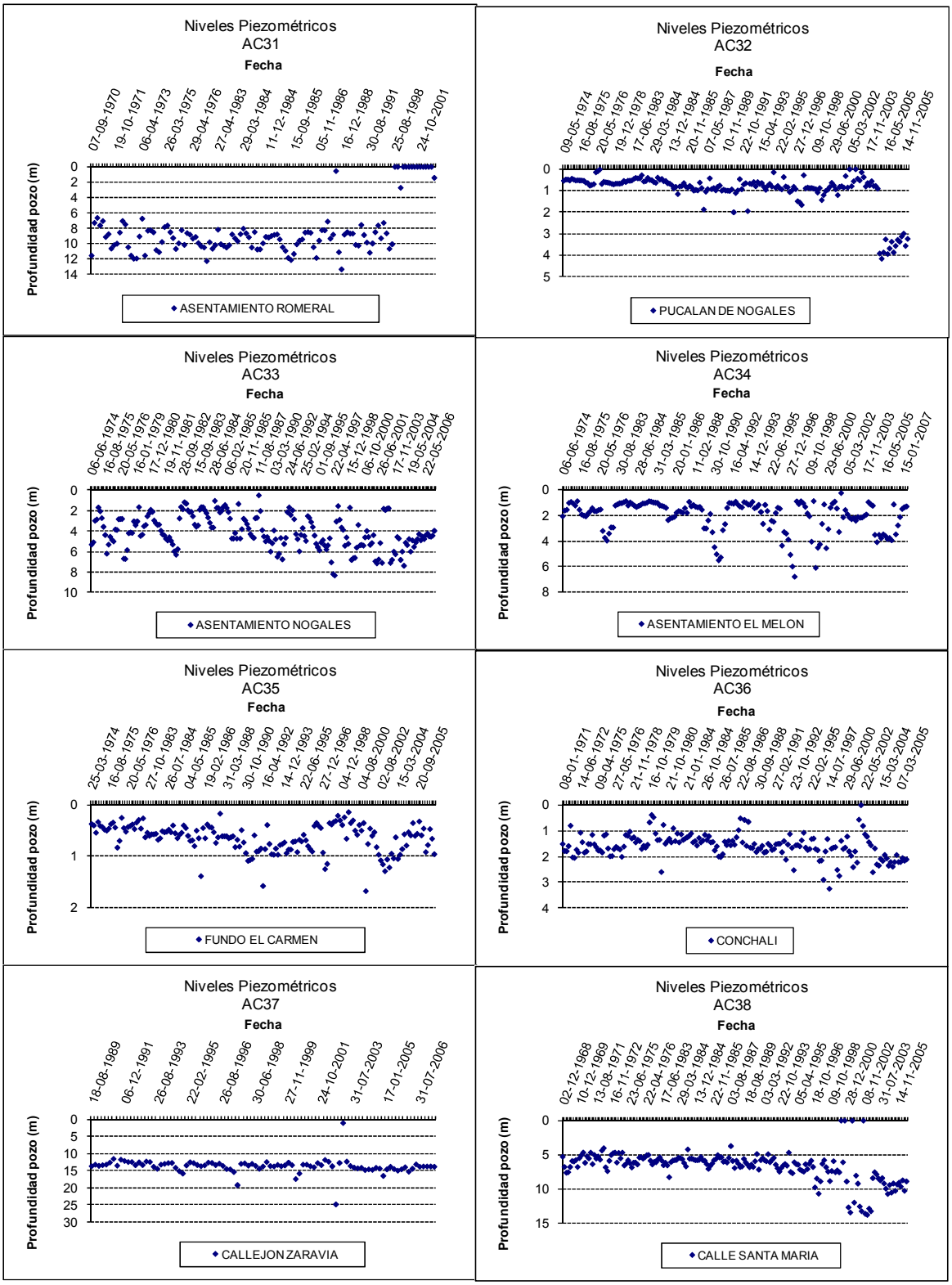


Figura 1.1: Evolución temporal del nivel piezométrico en sector acuífero Aconcagua. (Cont.)

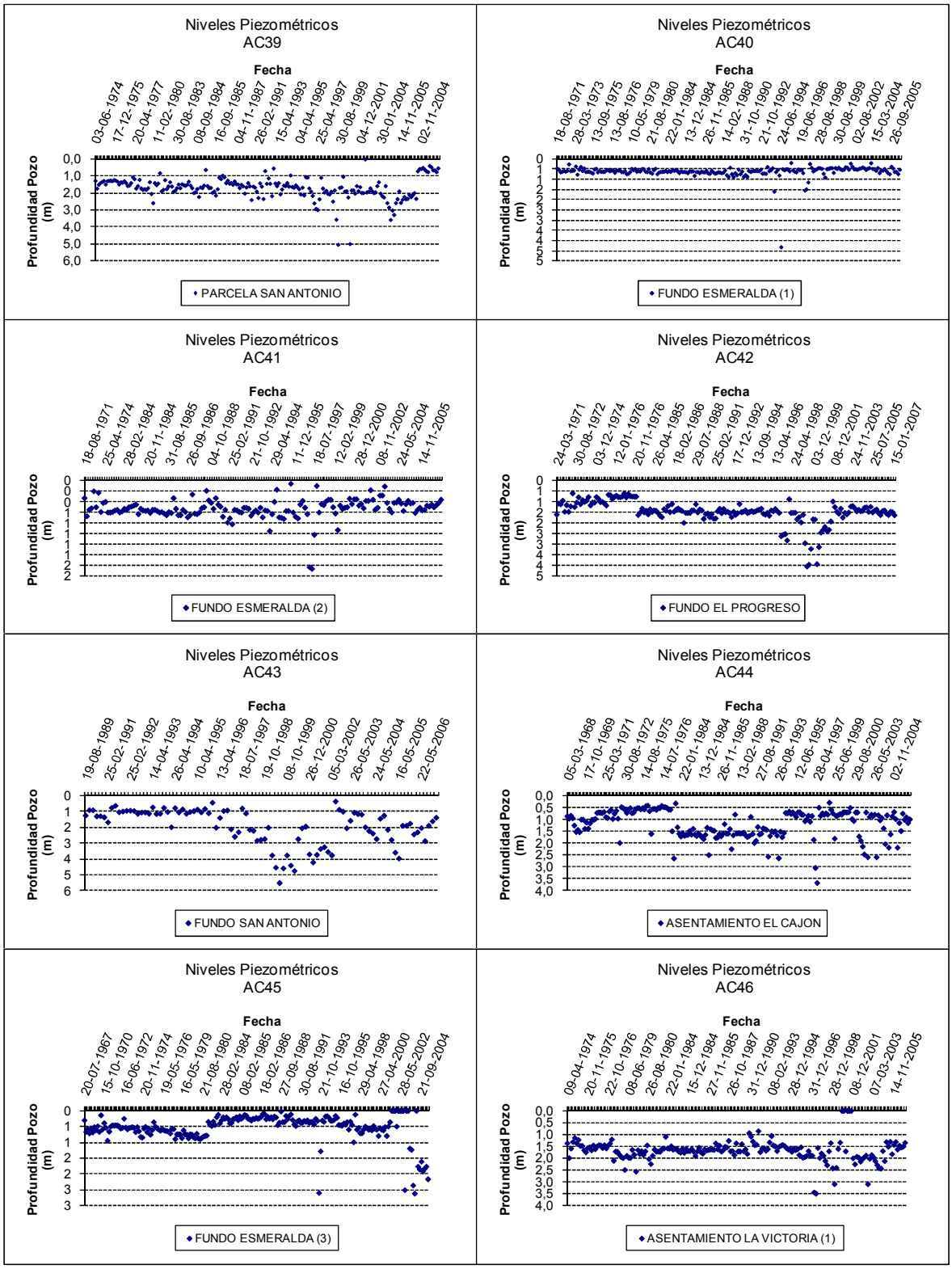


Figura 1.1: Evolución temporal del nivel piezométrico en sector acuífero Aconcagua. (Cont.)

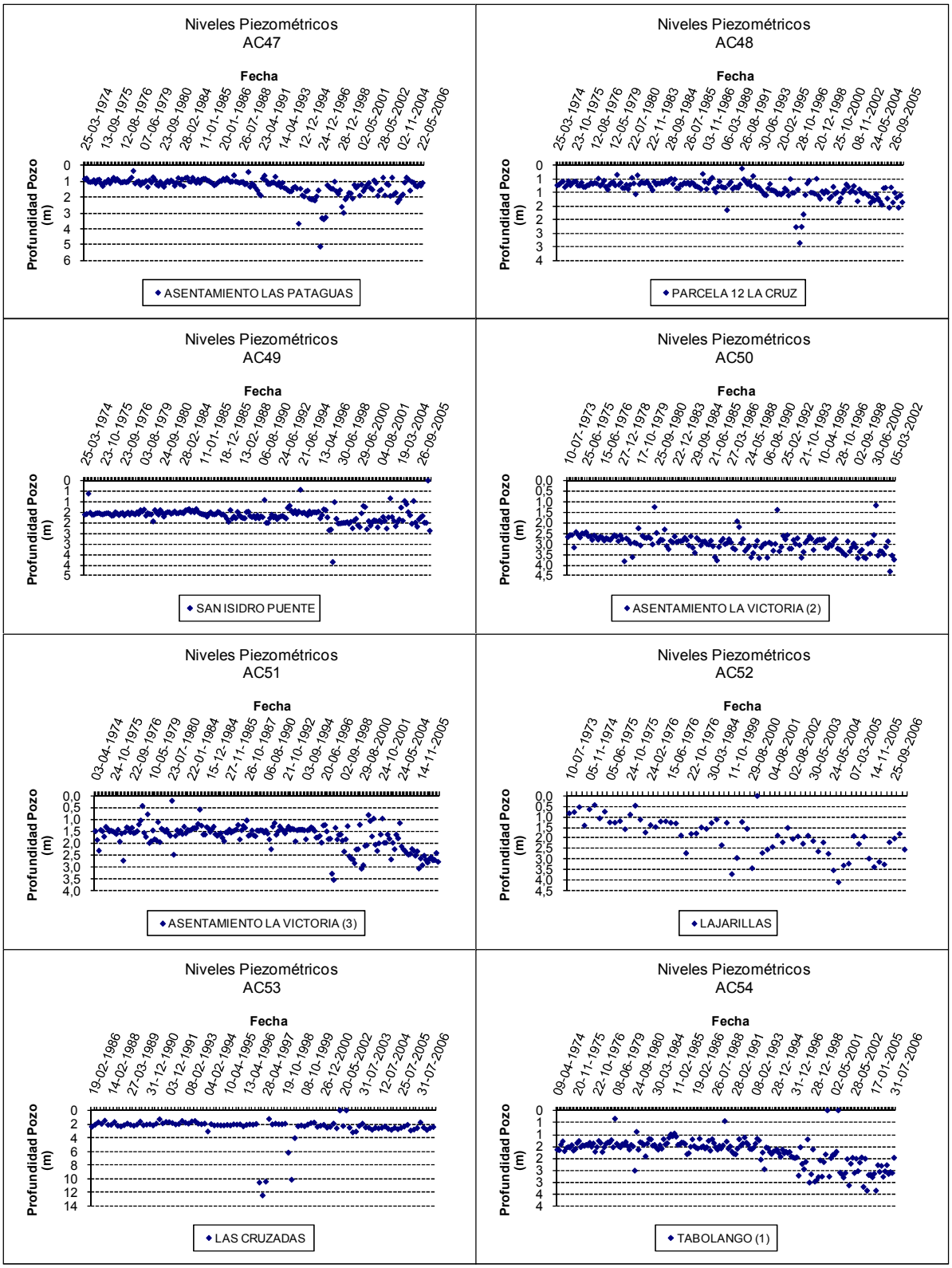


Figura 1.1: Evolución temporal del nivel piezométrico en sector acuífero Aconcagua. (Cont.)

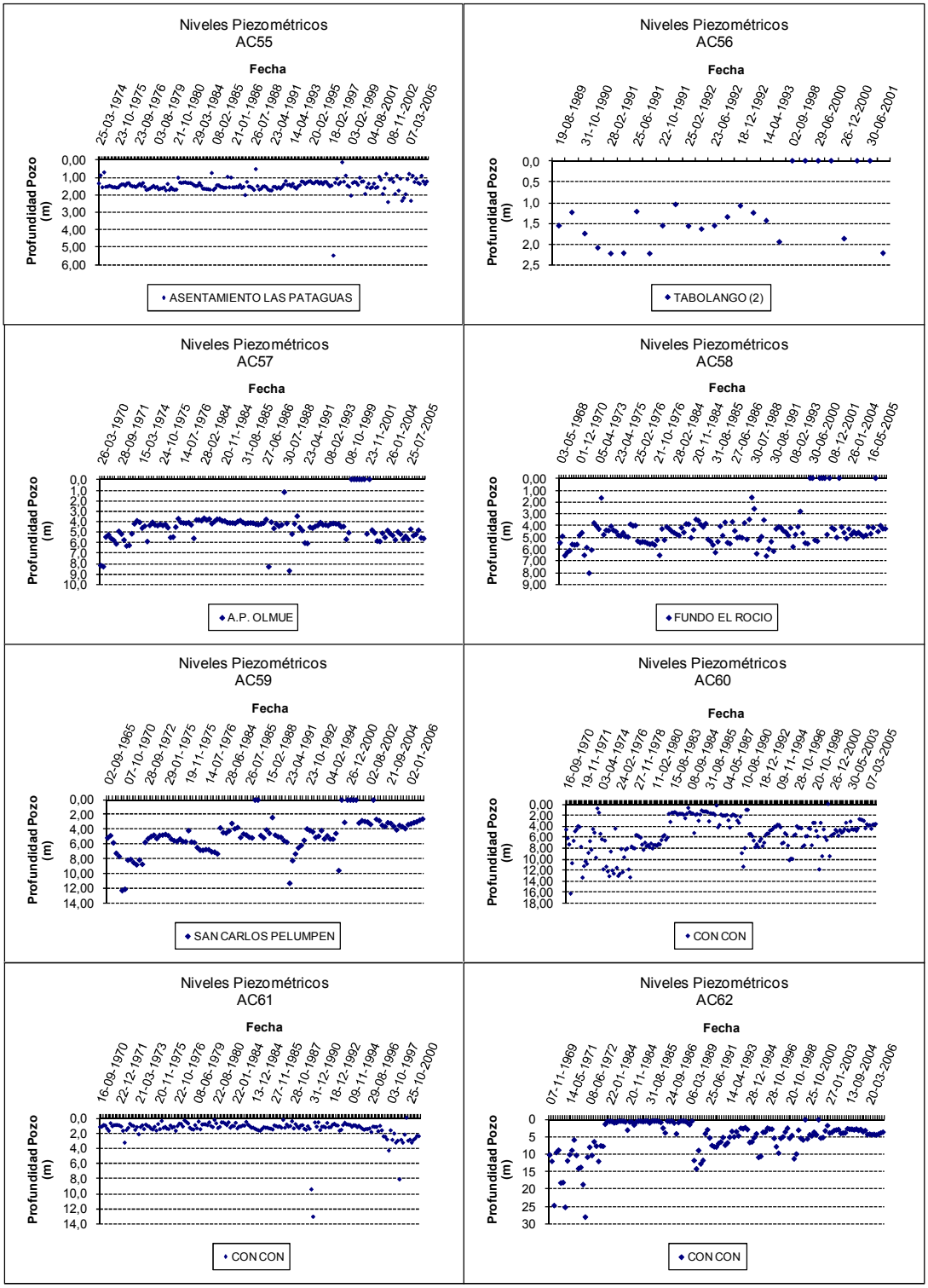


Figura 1.1: Evolución temporal del nivel piezométrico en sector acuífero Aconcagua. (Cont.)

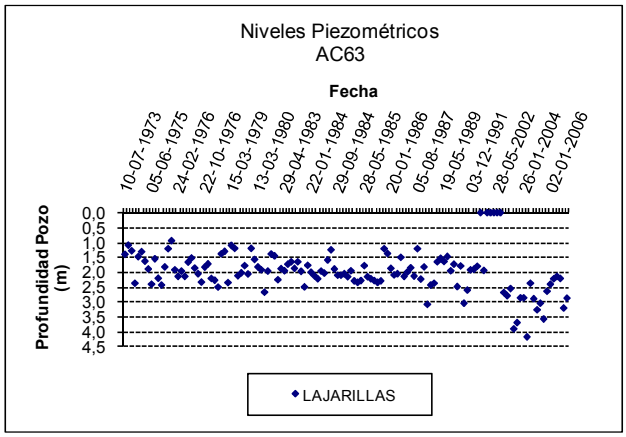


Figura 1.1: Evolución temporal del nivel piezométrico en sector acuífero Aconcagua. (Cont.)

1.2.2.9 Sector acuífero Mapocho Alto

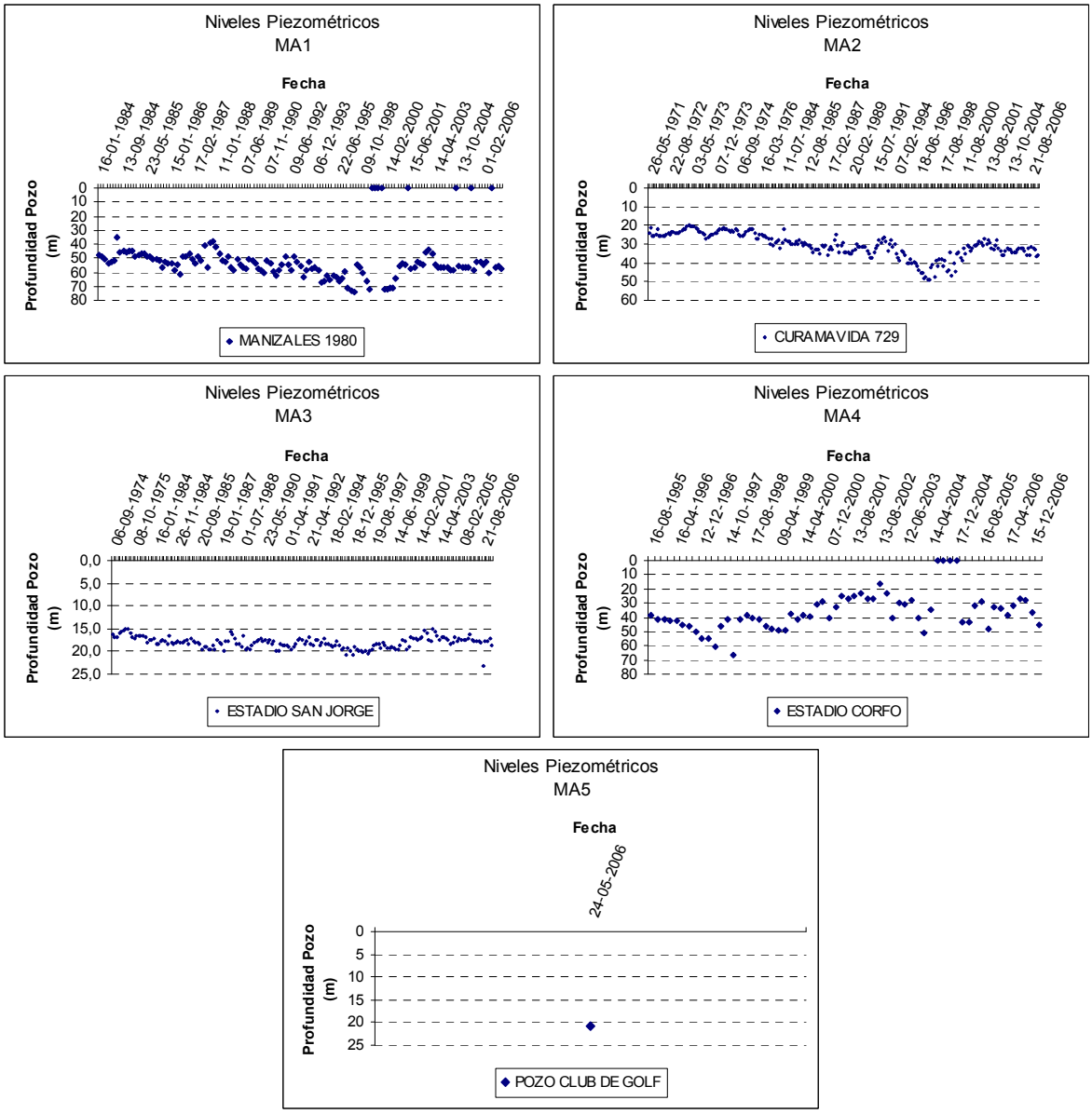


Figura 1.8: Evolución temporal del nivel piezométrico en sector acuífero Mapocho Alto.

1.2.2.10 Sector acuífero Maipo

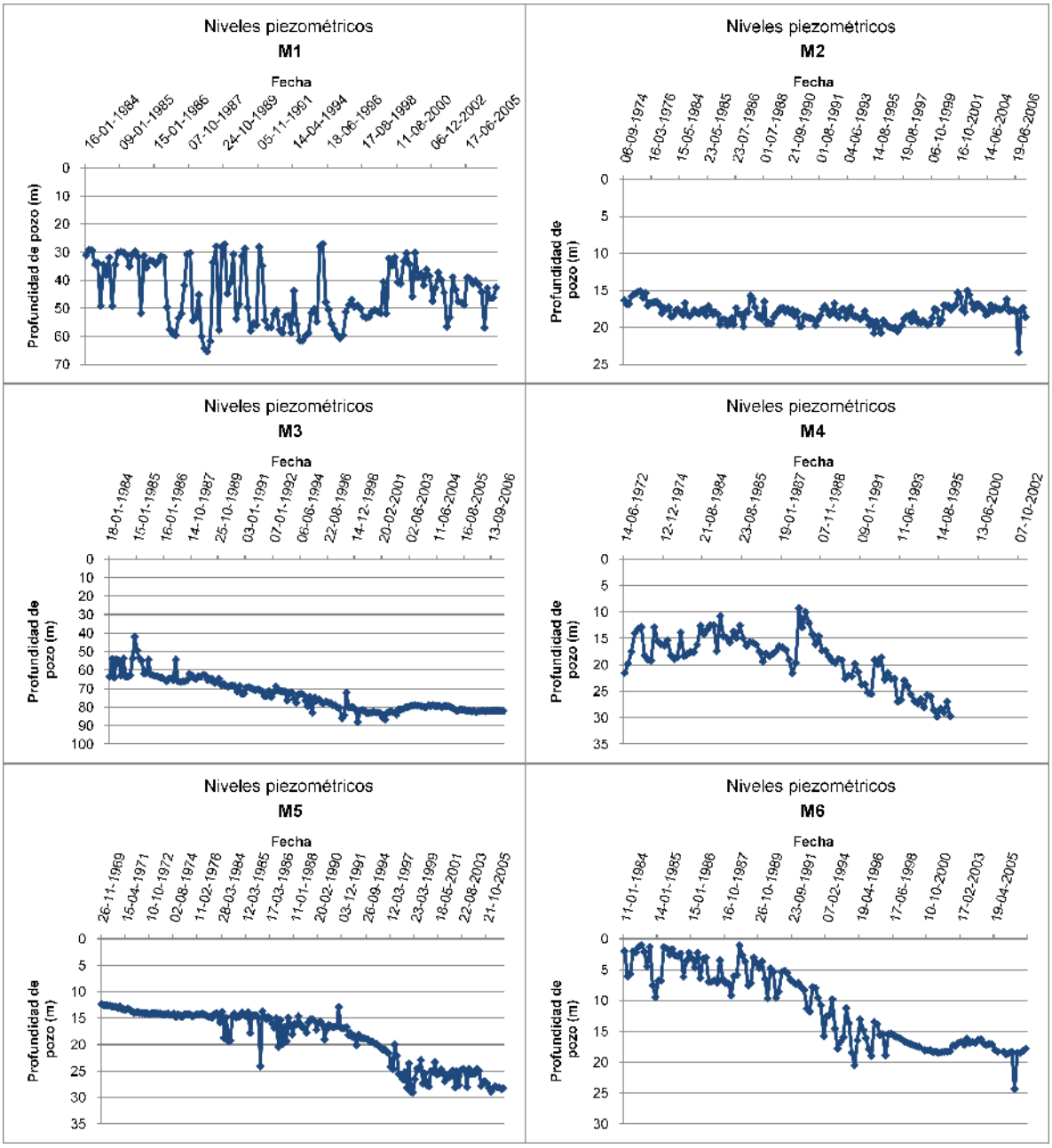


Figura 1.9: Evolución temporal del nivel piezométrico en sector acuífero Maipo.

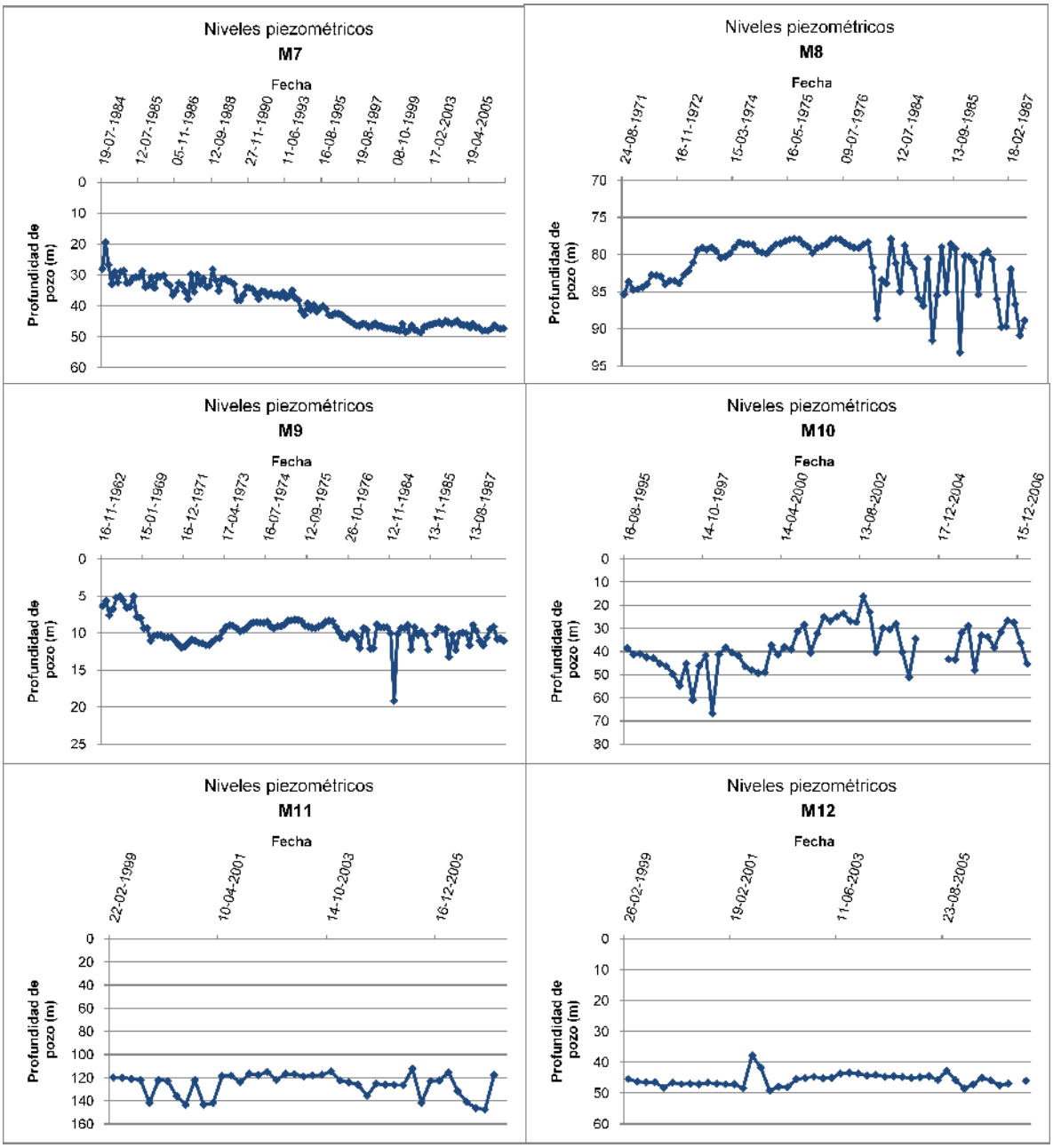


Figura 1.9: Evolución temporal del nivel piezométrico en sector acuífero Maipo. (Cont.)

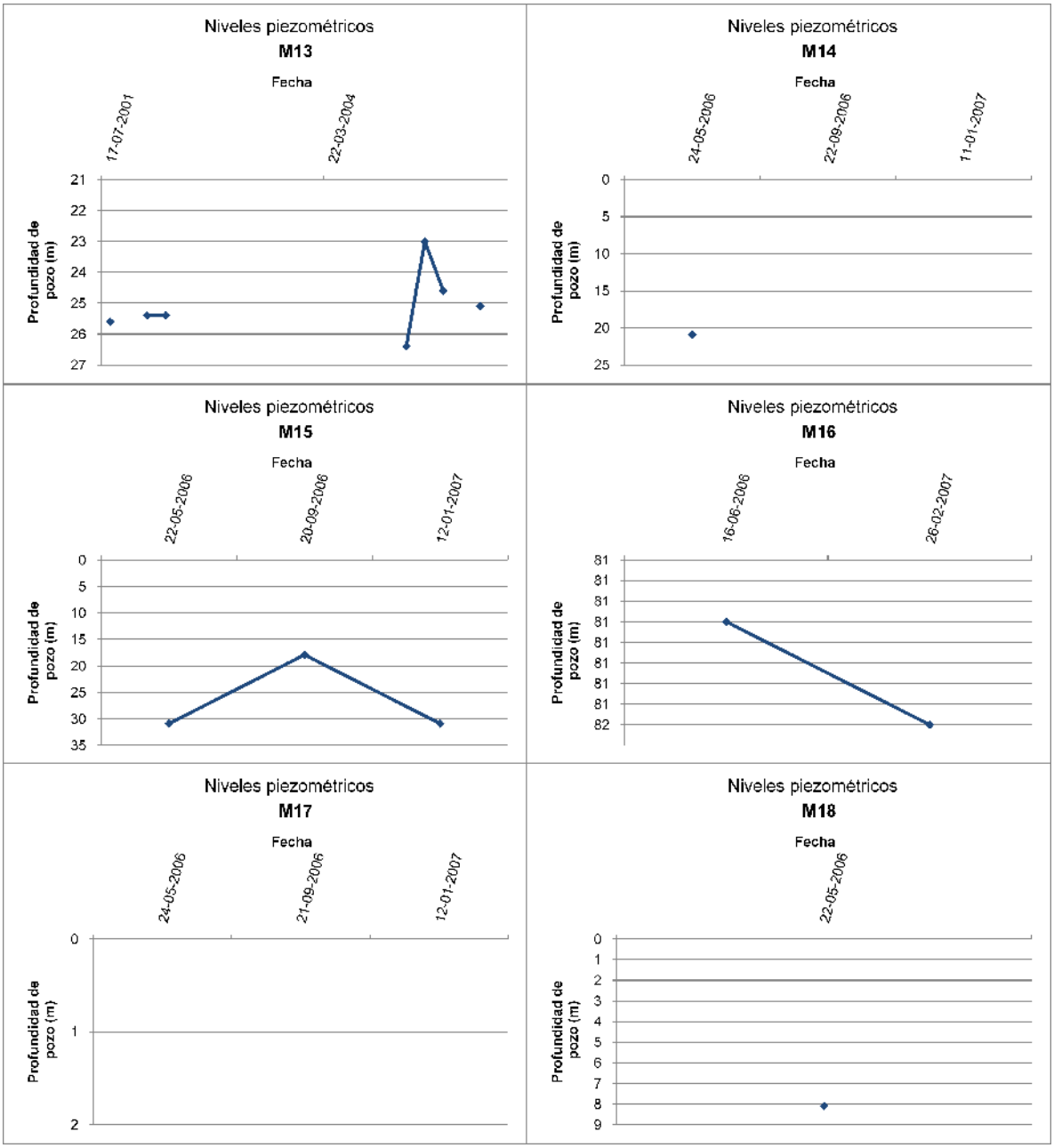


Figura 1.9: Evolución temporal del nivel piezométrico en sector acuífero Maipo. (Cont.)

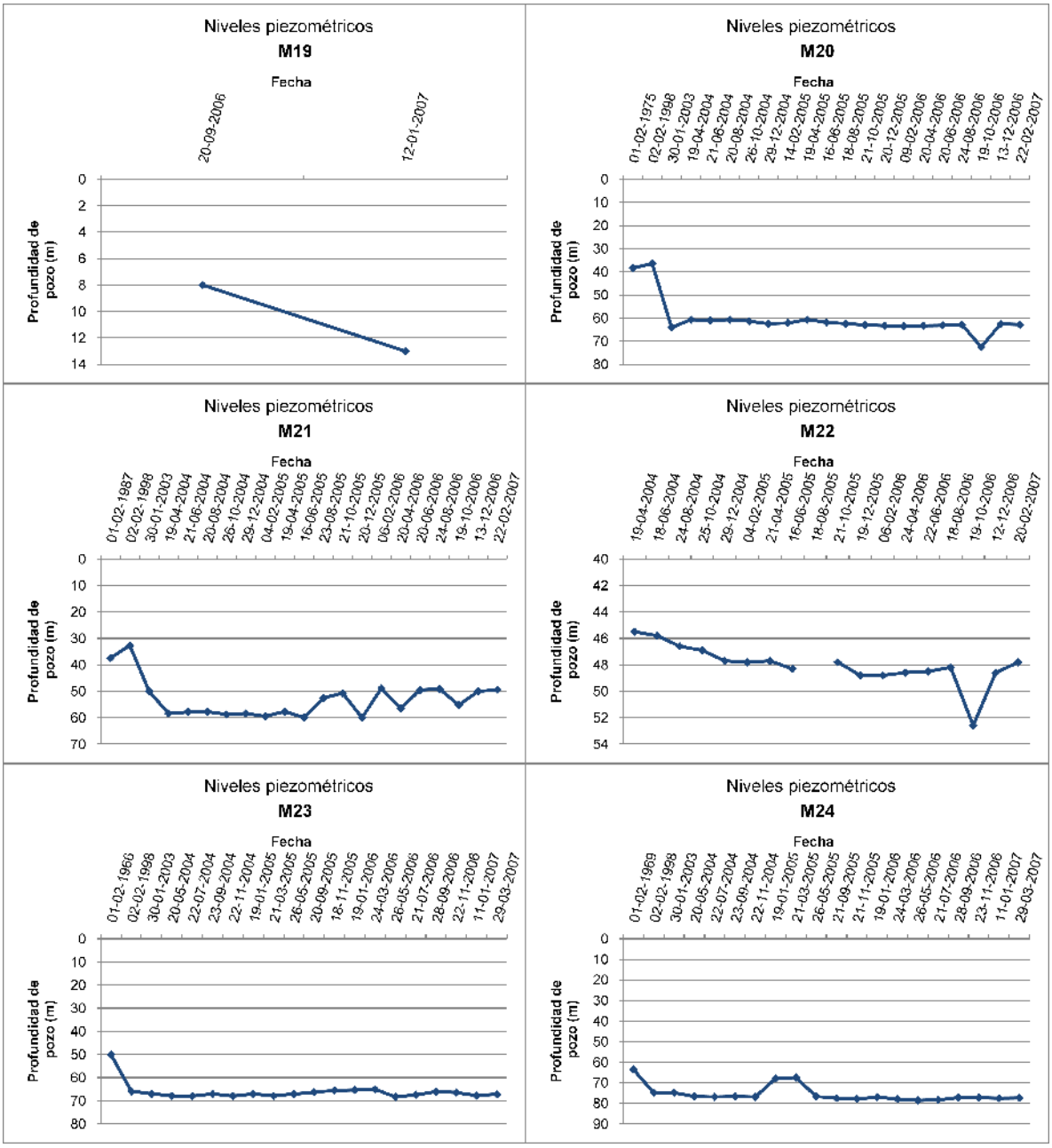


Figura 1.9: Evolución temporal del nivel piezométrico en sector acuífero Maipo. (Cont.)

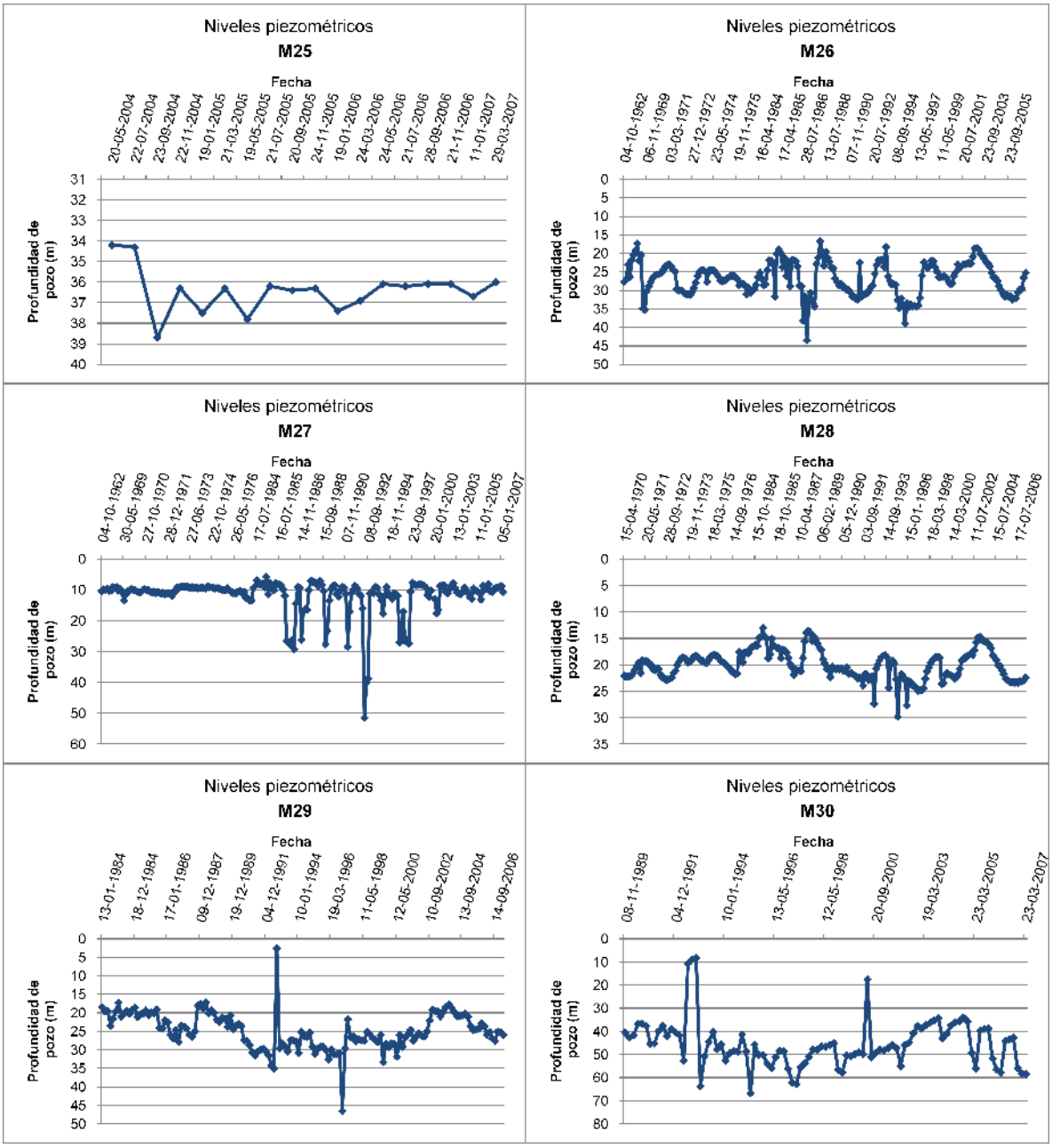


Figura 1.9: Evolución temporal del nivel piezométrico en sector acuífero Maipo. (Cont.)

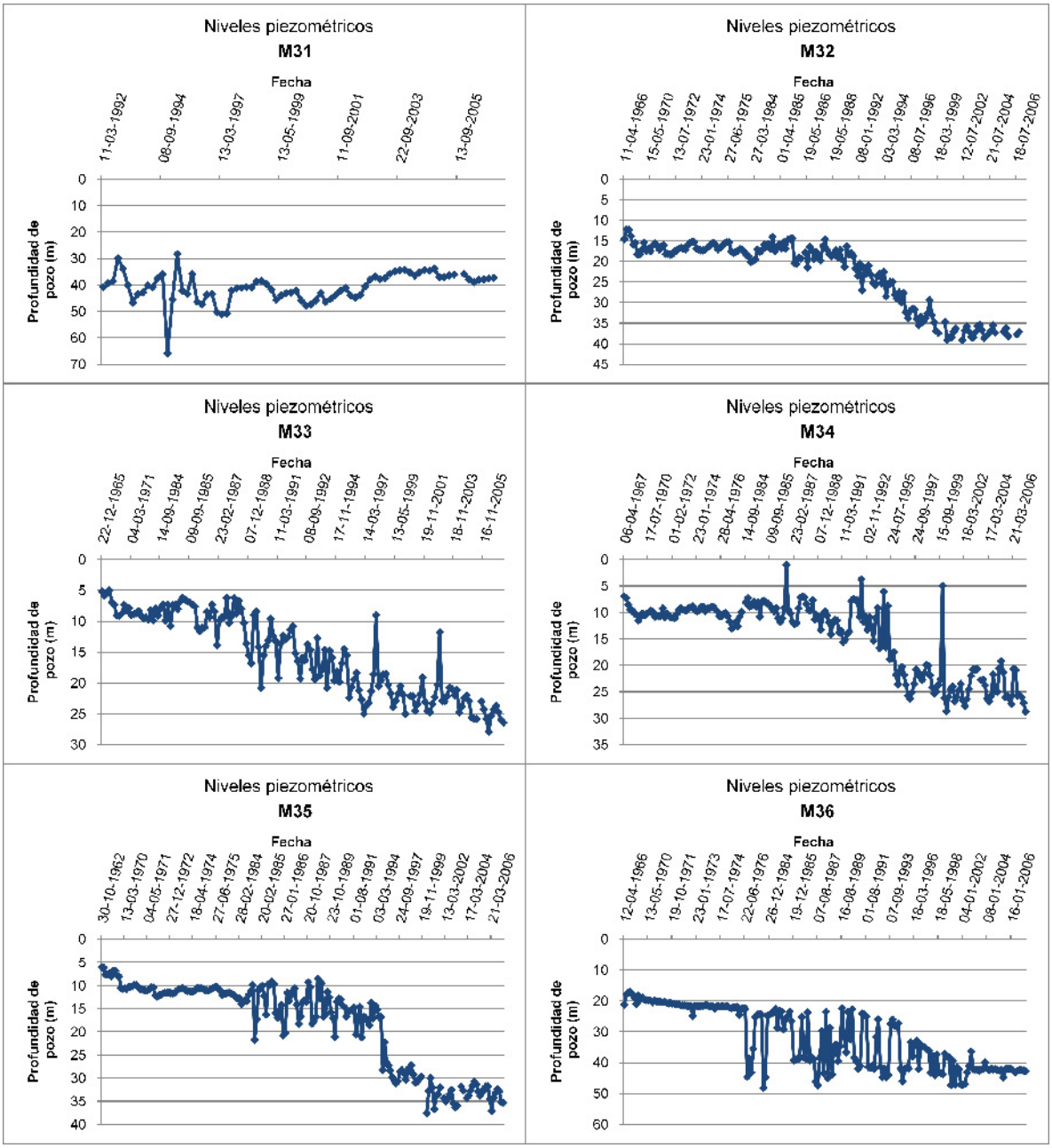


Figura 1.9: Evolución temporal del nivel piezométrico en sector acuífero Maipo. (Cont.)

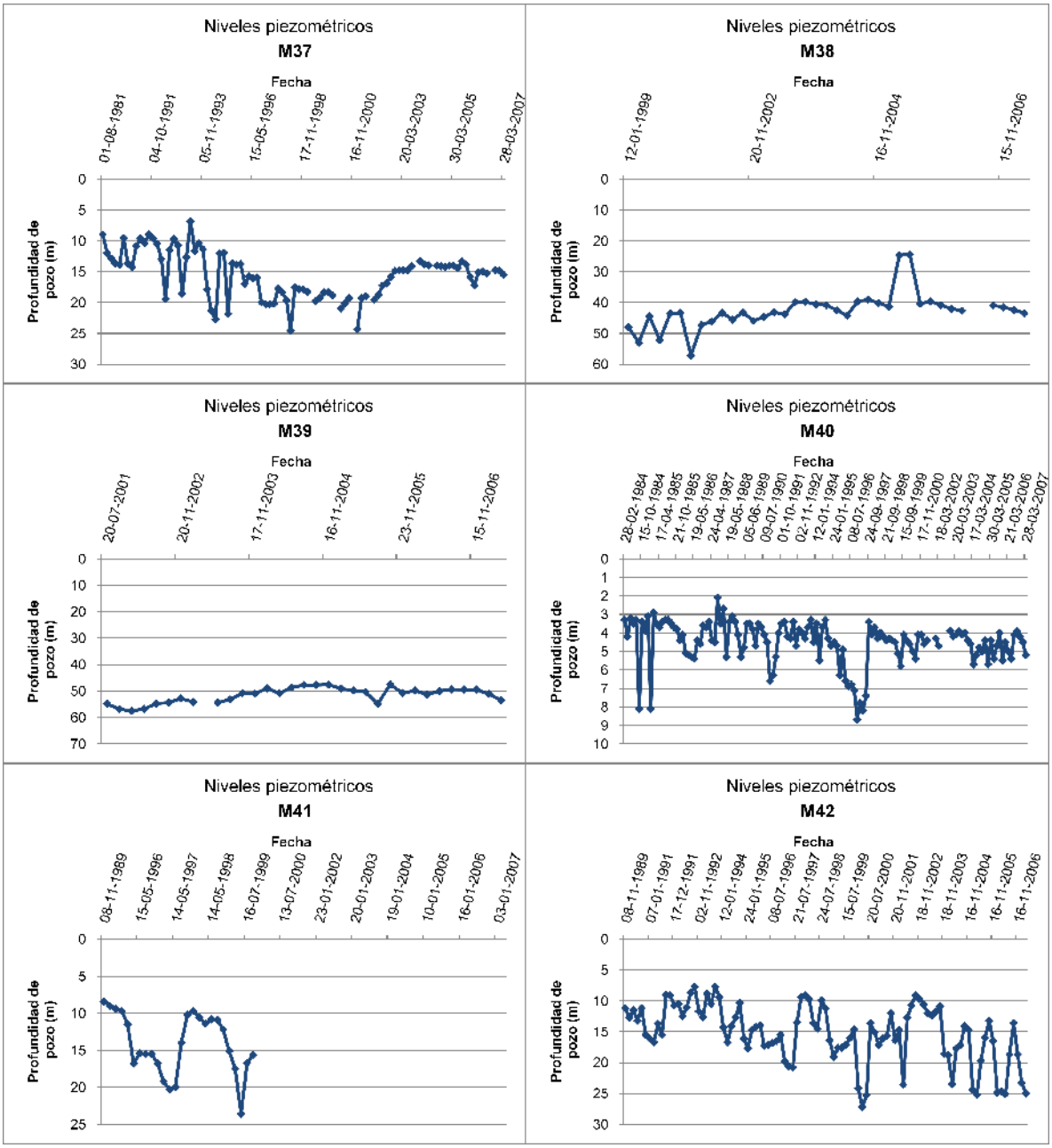


Figura 1.9: Evolución temporal del nivel piezométrico en sector acuífero Maipo. (Cont.)

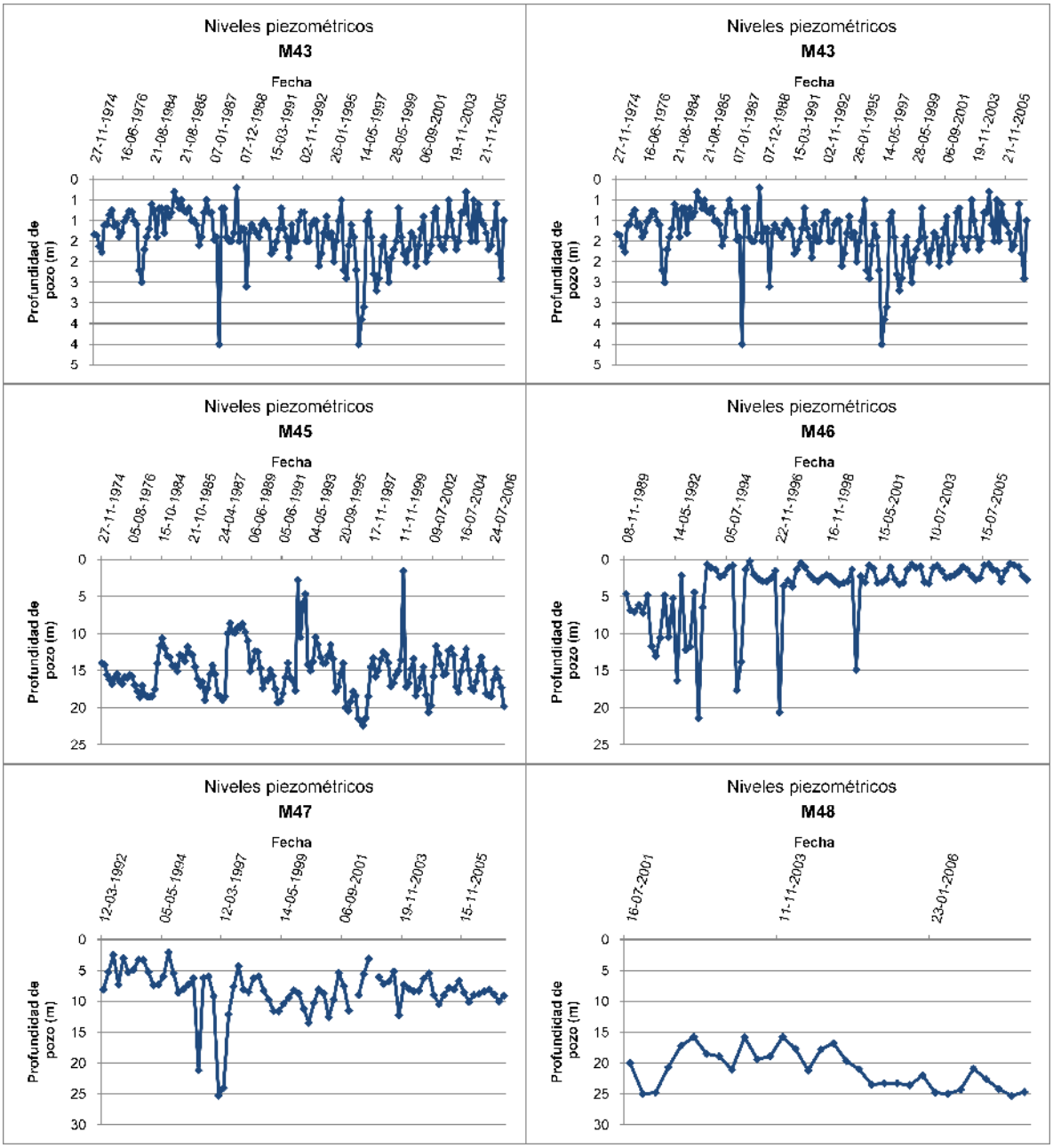


Figura 1.9: Evolución temporal del nivel piezométrico en sector acuífero Maipo. (Cont.)

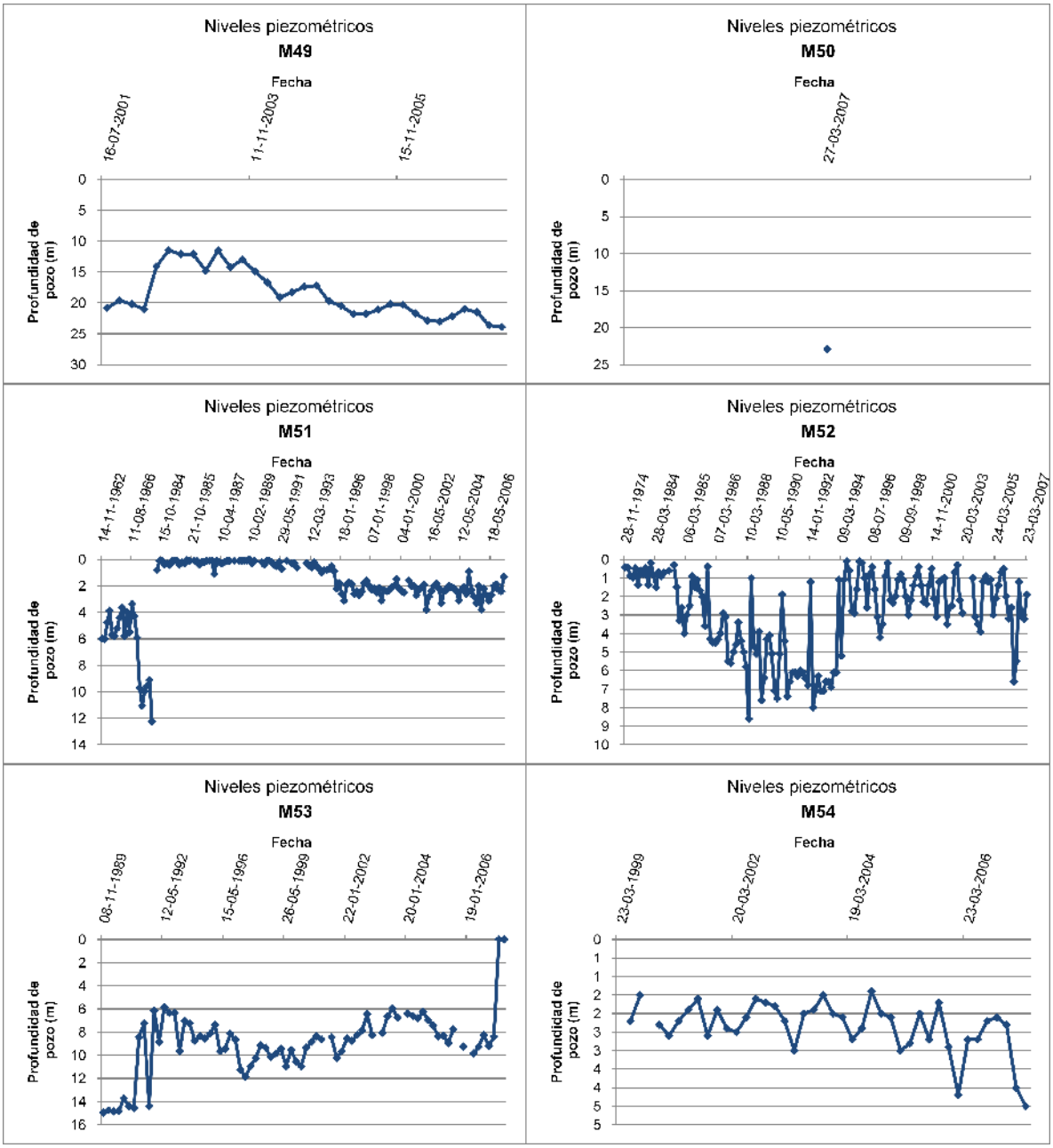


Figura 1.9: Evolución temporal del nivel piezométrico en sector acuífero Maipo. (Cont.)

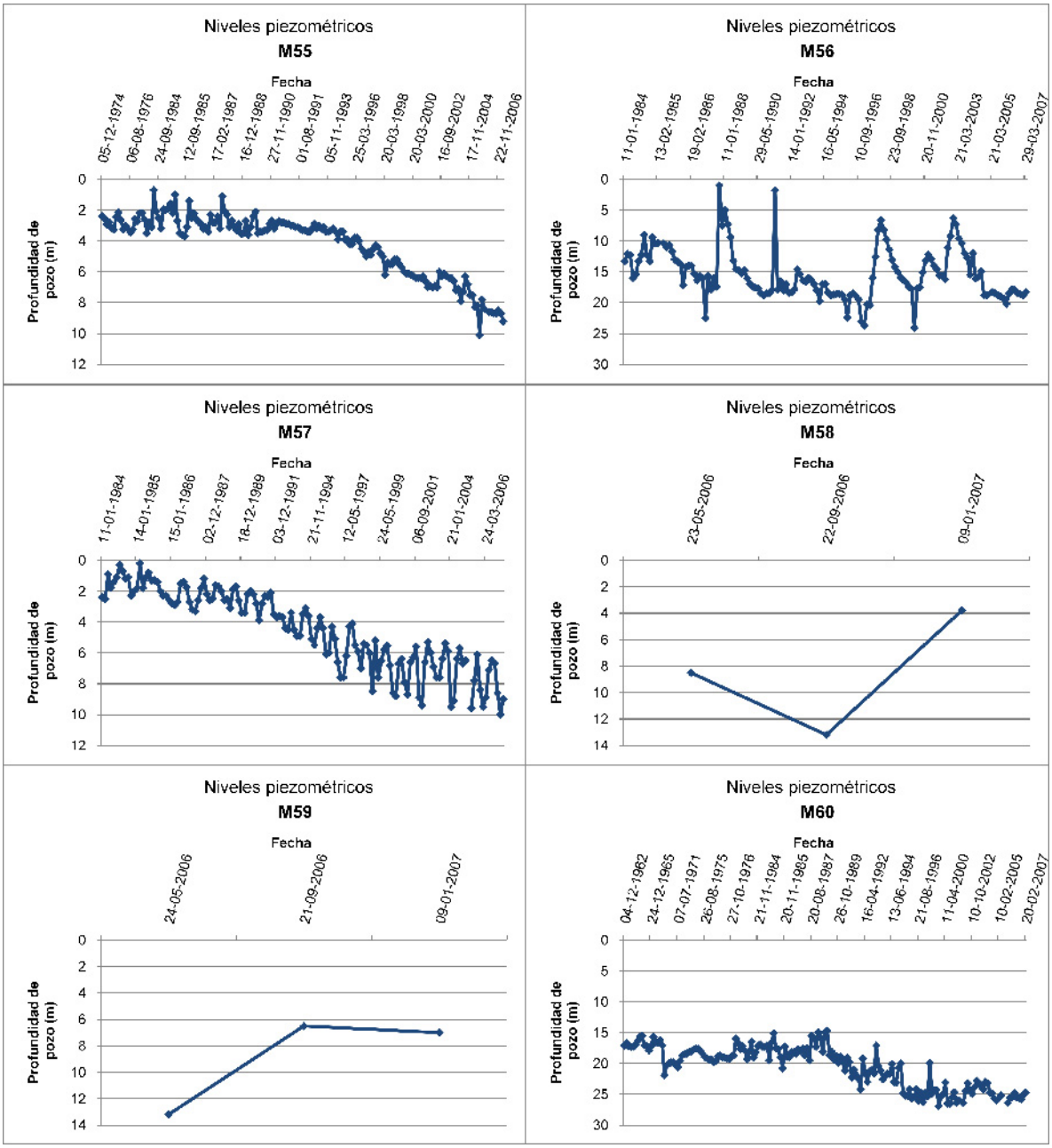


Figura 1.9: Evolución temporal del nivel piezométrico en sector acuífero Maipo. (Cont.)

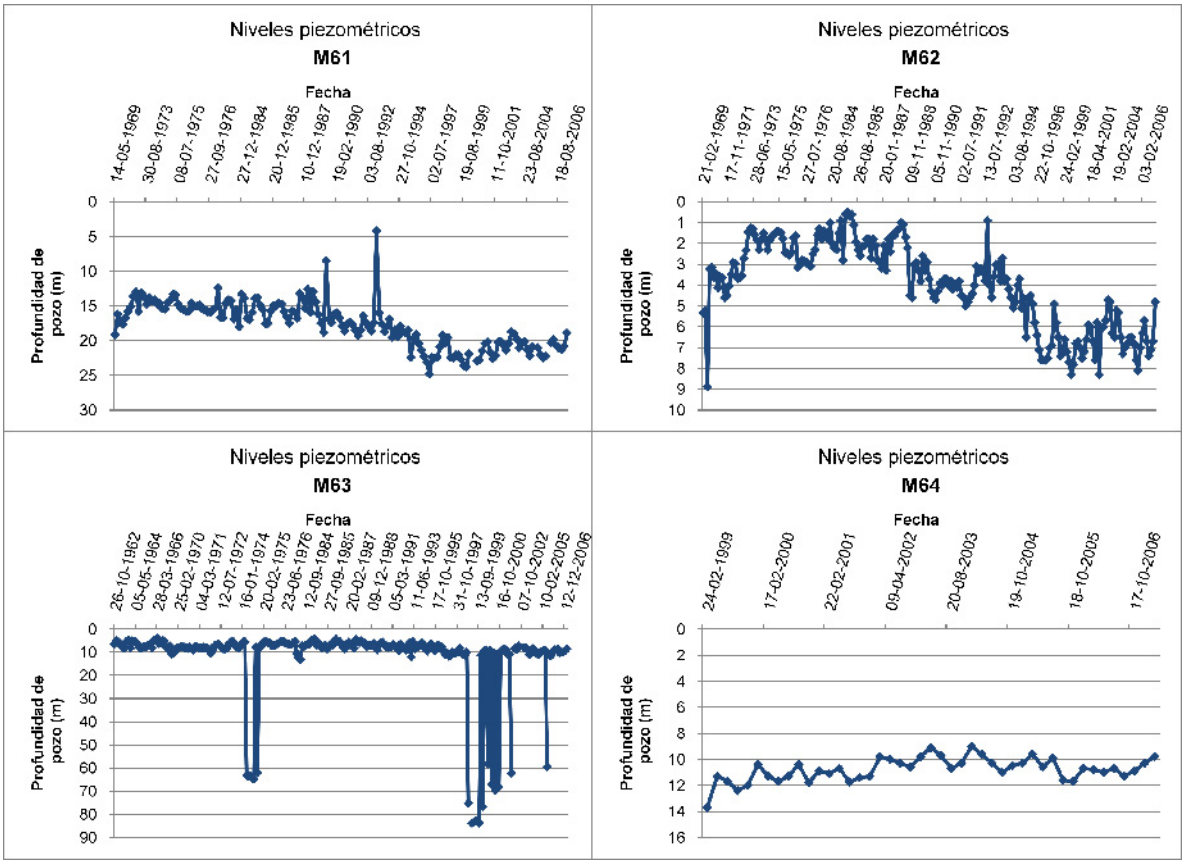


Figura 1.9: Evolución temporal del nivel piezométrico en sector acuífero Maipo. (Cont.)

1.2.2.11 Sector acuífero Maitenlahue

No existen estaciones de monitoreo de calidad de aguas subterráneas pertenecientes al Banco Nacional de Aguas.

1.2.2.12 Sector acuífero Estero Las Cadenas

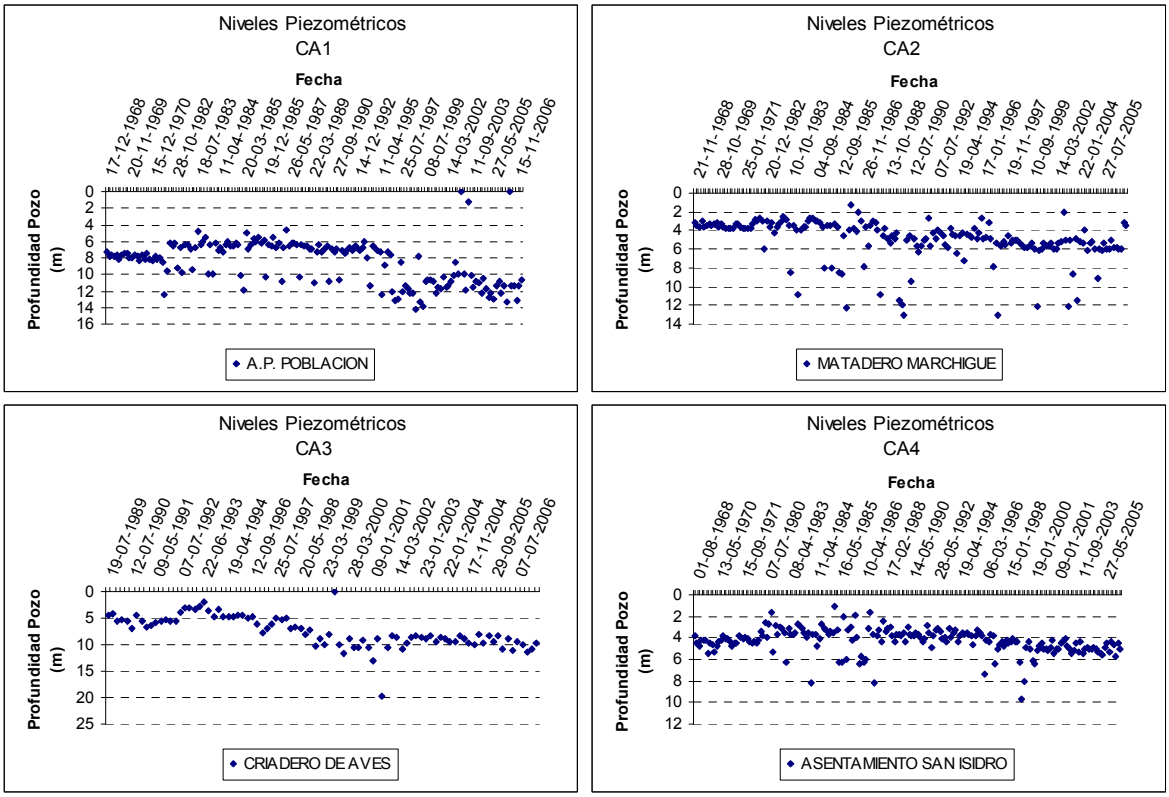


Figura 1.10: Evolución temporal del nivel piezométrico en sector acuífero Las Cadenas.

1.3 Calidad química de aguas subterráneas

1.3.1 Diagramas de Piper según datos químicos de sectores acuífero

1.3.1.1 Sector acuífero Lluta

Tabla 1.23: Estaciones de monitoreo calidad química sector acuífero Lluta.

Estación	Código BNA	Coordenadas UTM (PSDA-56)	
		Norte	Este
Pozo Gallinazos	01110013-9	7.964.296	361.596
Pozo JICA B	01110012-0	7.964.929	364.115

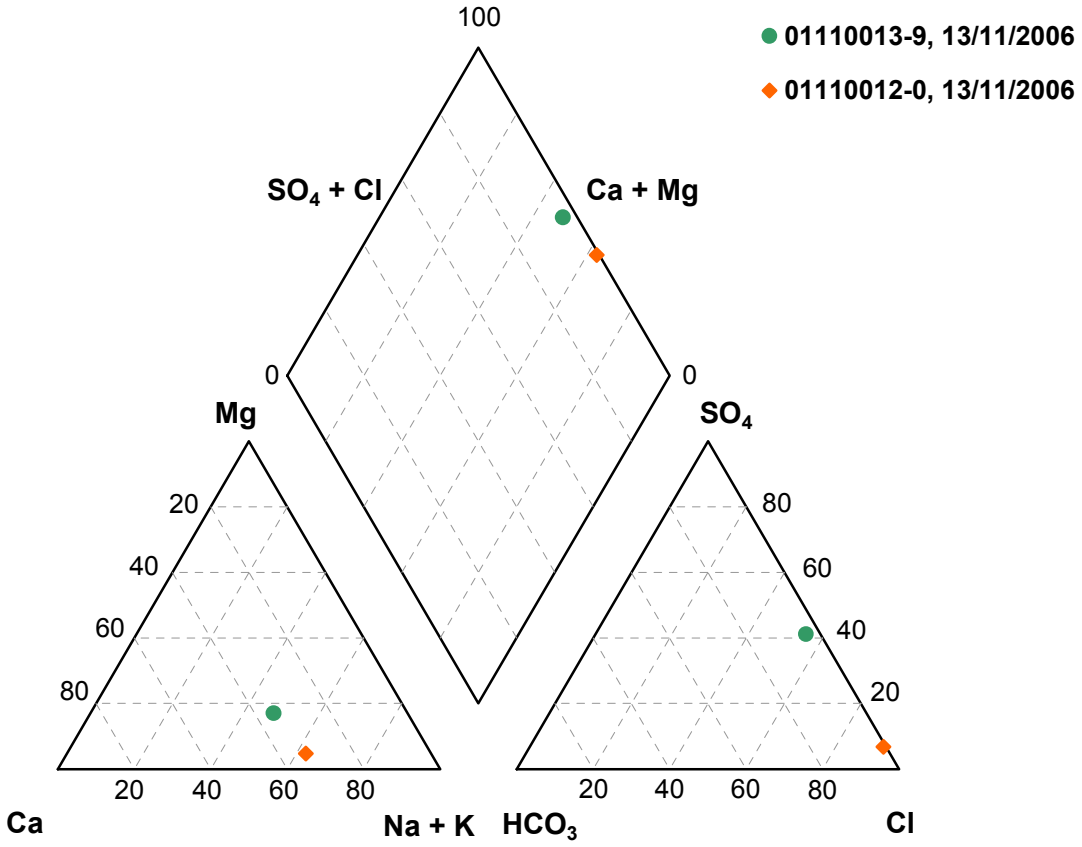


Figura 1.11: Diagrama de Piper con datos químicos de sector acuífero Lluta.

1.3.1.2 Sector acuífero Azapa

Tabla 1.24: Estaciones de monitoreo calidad química sector acuífero Azapa.

Estación	Código BNA	Coordenadas UTM (PSDA-56)	
		Norte	Este
Pozo Albarracines	01310075-6	7.953.175	371.502

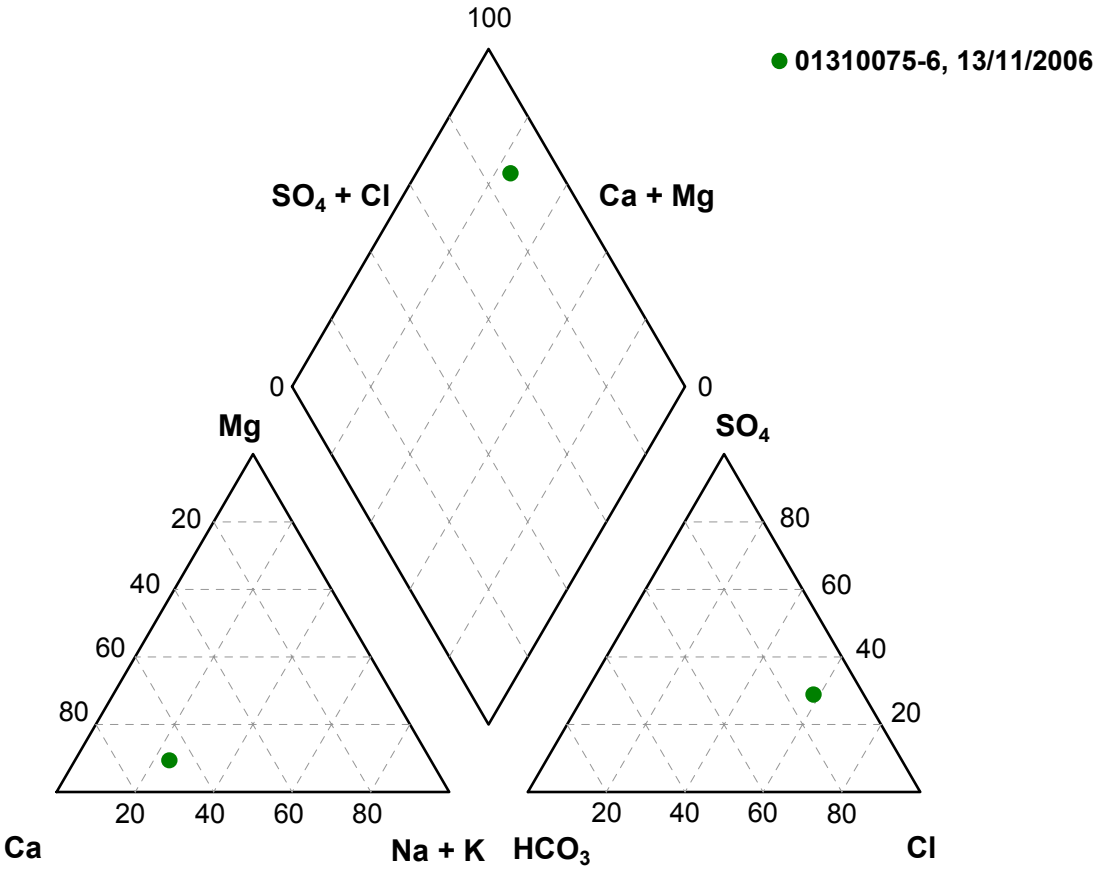


Figura 1.12: Diagrama de Piper con datos químicos de sector acuífero Azapa.

1.3.1.3 Sector acuífero Pampa del Tamarugal

Tabla 1.25: Estaciones de monitoreo calidad química sector acuífero Pampa del Tamarugal.

Estación	Código BNA	Coordenadas UTM (PSDA-56)	
		Norte	Este
Pozo JICA D	01700092-6	7.770.453	428.617
Pozo JICA E	01700093-4	7.750.777	428.438
Pozo JICA F	01700094-2	7.708.698	447.560
Pozo JICA G	01700095-0	7.774.621	412.252
P. Laonsana Q. Tarap.	01700091-8	7.802.418	454.632
Pozo Quebrada Aroma	01720005-4	7.807.960	429.192
P. Quebrada Chacarilla	01700096-9	7.717.351	464.839

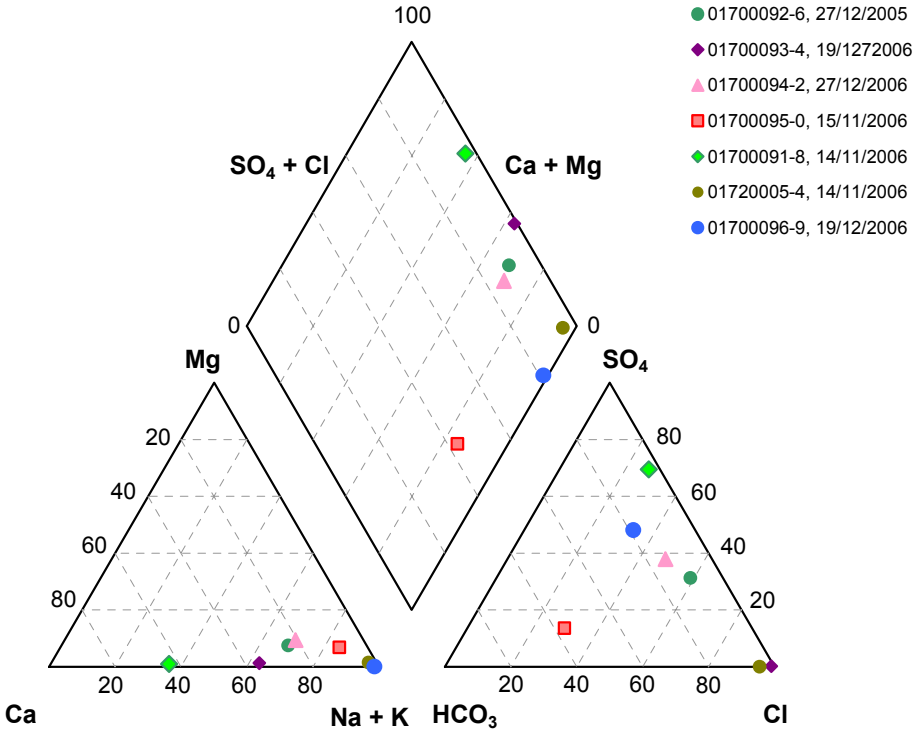


Figura 1.13: Diagrama de Piper con datos químicos de sector acuífero Pampa del Tamarugal.

1.3.1.4 Sector acuífero Salar de Coposa

No existen datos químicos disponibles

1.3.1.5 Sector acuífero El Loa

Tabla 1.26: Estaciones de monitoreo calidad química sector acuífero El Loa.

Estación	Código BNA	Coordenadas UTM (PSDA56)	
		Norte	Este
Pozo Chiu-Chiu	02104012-6	7.529.912	541.418

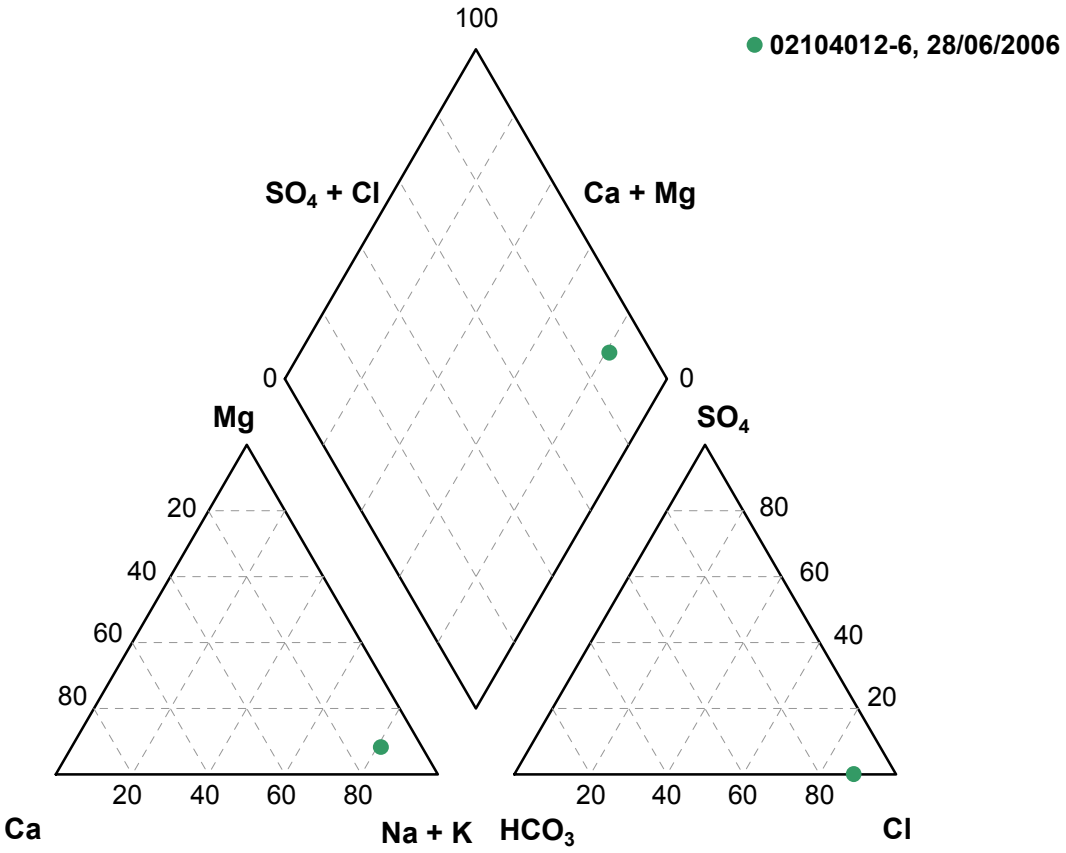


Figura 1.14: Diagrama de Piper con datos químicos de sector acuífero El Loa.

1.3.1.6 Sector acuífero Los Choros

Tabla 1.27: Estaciones de monitoreo calidad química sector acuífero Los Choros.

Estación	Código BNA	Coordenadas UTM (PSDA56)	
		Norte	Este
P. Los Choros N1 C3	04120018-9	6.757.704	276.566
P. Los Choros N4 B2	04120019-7	6.750.351	300.131

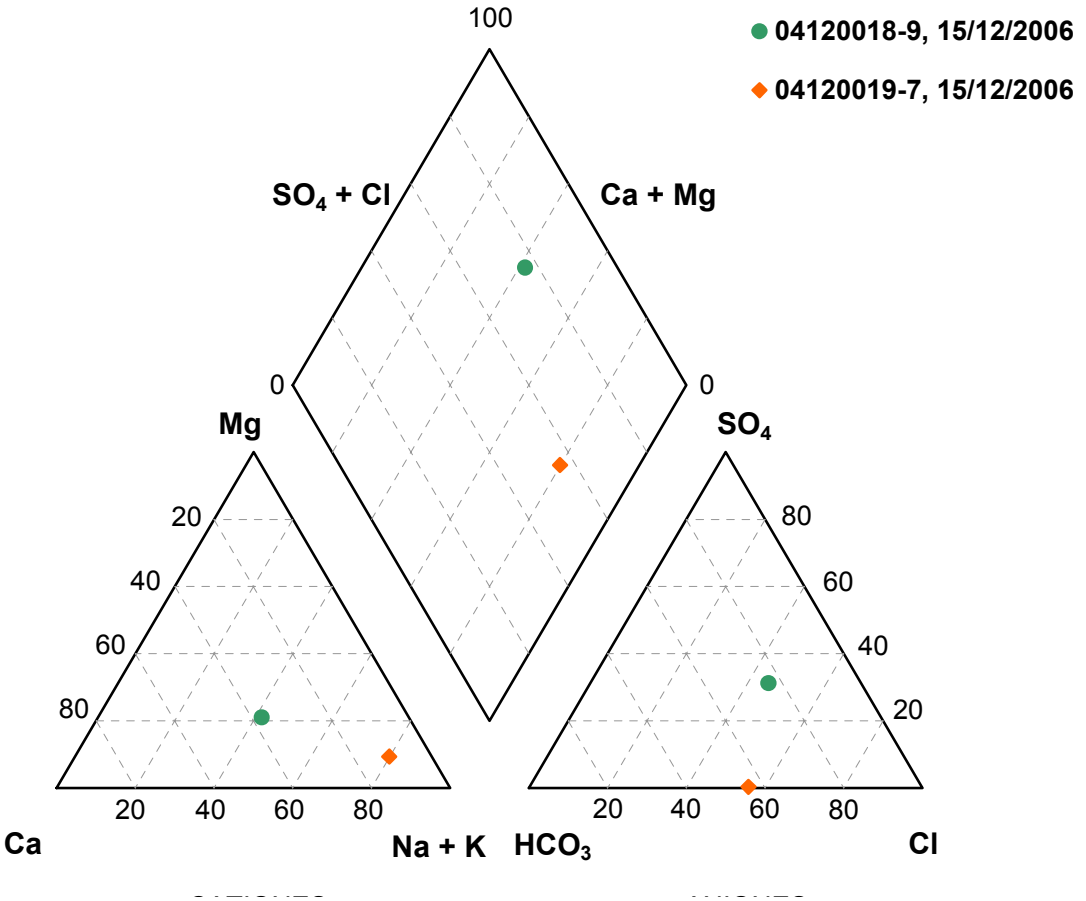


Figura 1.15: Diagrama de Piper con datos químicos de sector acuífero Los Choros.

1.3.1.7 Sector acuífero La Ligua

Tabla 1.28: Estaciones de monitoreo calidad química sector acuífero La Ligua.

Estación	Código BNA	Coordenadas UTM (PSDA56)	
		Norte	Este
P. Asent. Alicague	5200009-2	6.420.195	333.157

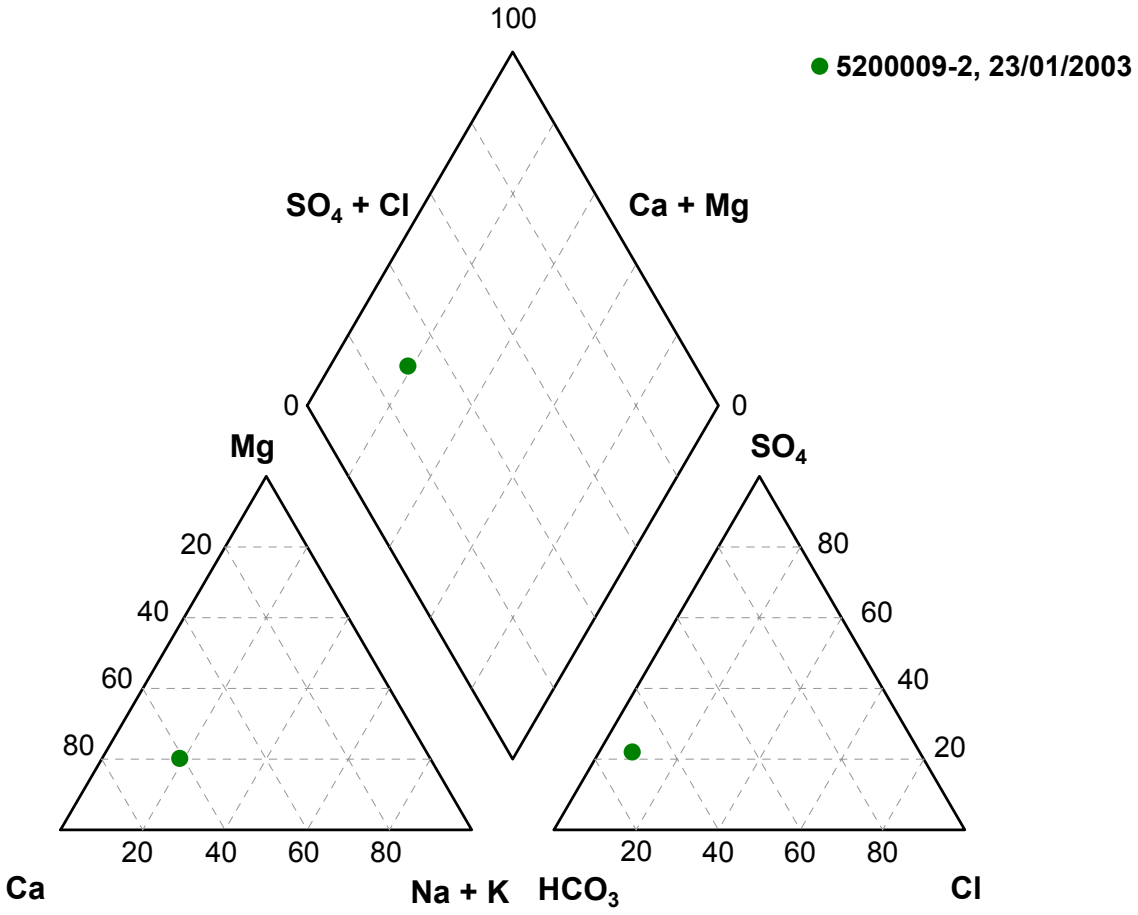


Figura 1.16: Diagrama de Piper con datos químicos de sector acuífero La Ligua.

1.3.1.8 Sector acuífero Aconcagua

Tabla 1.29: Estaciones de monitoreo calidad química sector acuífero Aconcagua.

Estación	Código BNA	Coordenadas UTM (PSDA56)	
		Norte	Este
Pozo CCU en Limache	05427017-8	6.347.952	287.074
Dren Los Caleos	5424013-9	6.385.363	294.245

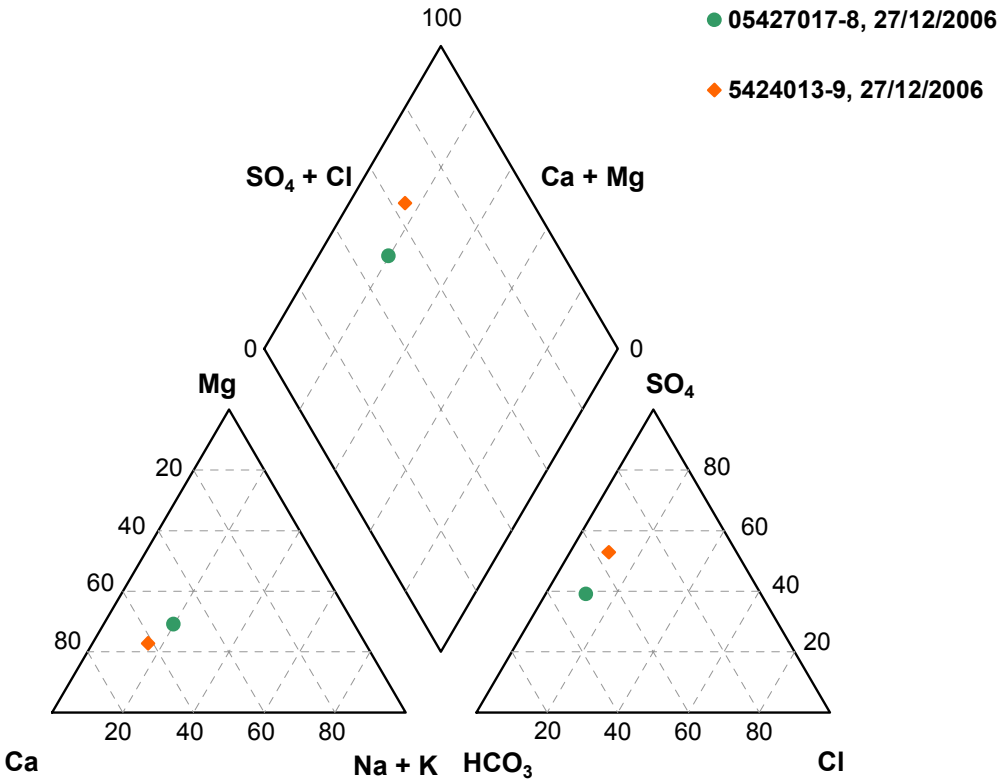


Figura 1.17: Diagrama de Piper con datos químicos de sector acuífero Aconcagua.

1.3.1.9 Sector acuífero Mapocho Alto

Tabla 1.30: Estaciones de monitoreo calidad química sector acuífero Mapocho Alto.

Estación	Código BNA	Coordenadas UTM (PSDA56)	
		Norte	Este
Pozo Club de Golf	05730040-k	6.302.373	352.344
P. Est. CORFO (L. C.)	05730042-6	6.305.784	358.493

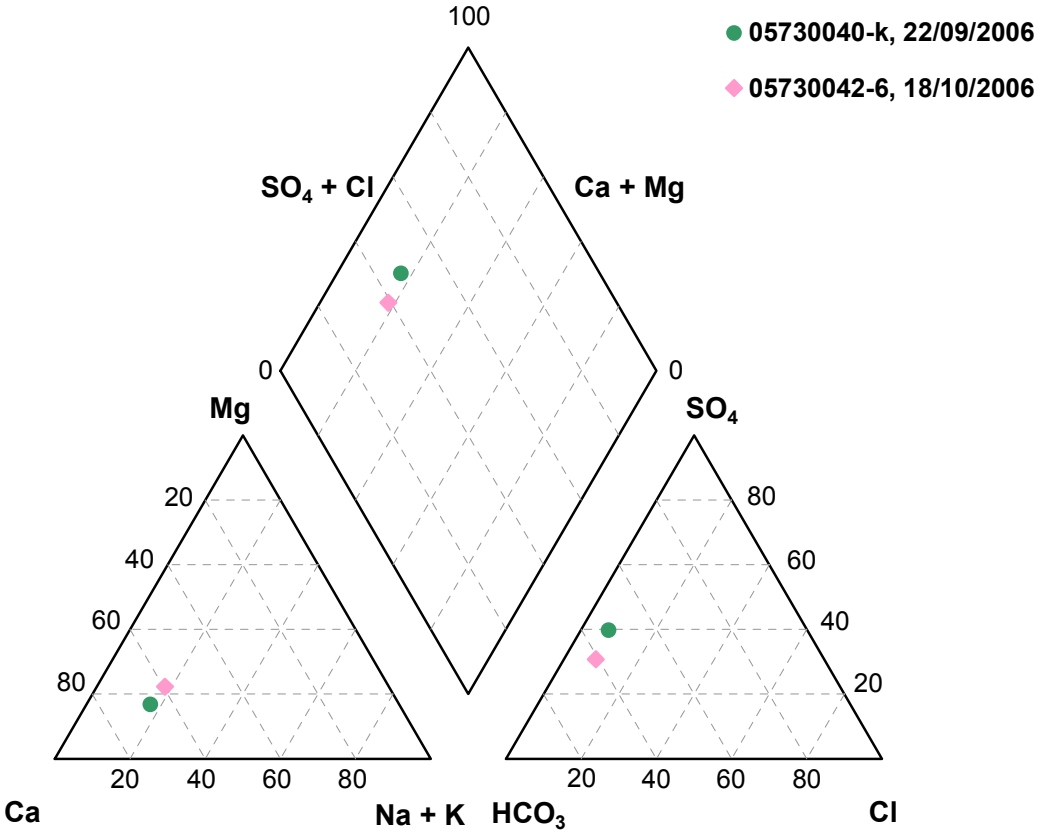


Figura 1.18: Diagrama de Piper con datos químicos de sector acuífero Mapocho Alto.

1.3.1.10 Sector acuífero Maipo

Tabla 1.31: Estaciones de monitoreo calidad química sector acuífero Maipo.

Estación	Código BNA	Coordenada UTM (PSAD56)	
		Norte	Este
P. Fundo Algarrobal	05736005-4	6.316.417	341.493
P. Asent. C. Lo Vargas	05736006-2	6.316.645	325.779
P. Club de Golf	05730040-k	6.302.373	352.344
P. Agr. Hnos. Poblete	05737017-3	6.284.250	331.088
P. Vert. C. de Renca	05730041-8	6.305.823	341.755
P. Est. CORFO (L.C.)	05730042-6	6.305.784	358.493
P. Cementerio Metr.	05730043-4	6.289.333	342.126
P. Parque O´Higgins	05730044-2	6.296.207	345.851
P. Asent. Malloco	05737018-1	6.281.969	329.188
Pozo INIA	05730045-0	6.284.500	349.251
P. Crucero Peralillo	05736007-0	6.306.062	328.170
P. Chacra El Olivo	05730046-9	6.295.432	335.939
A.P.R. Cas. de C. C.	05730048-5	6.307.448	335.965

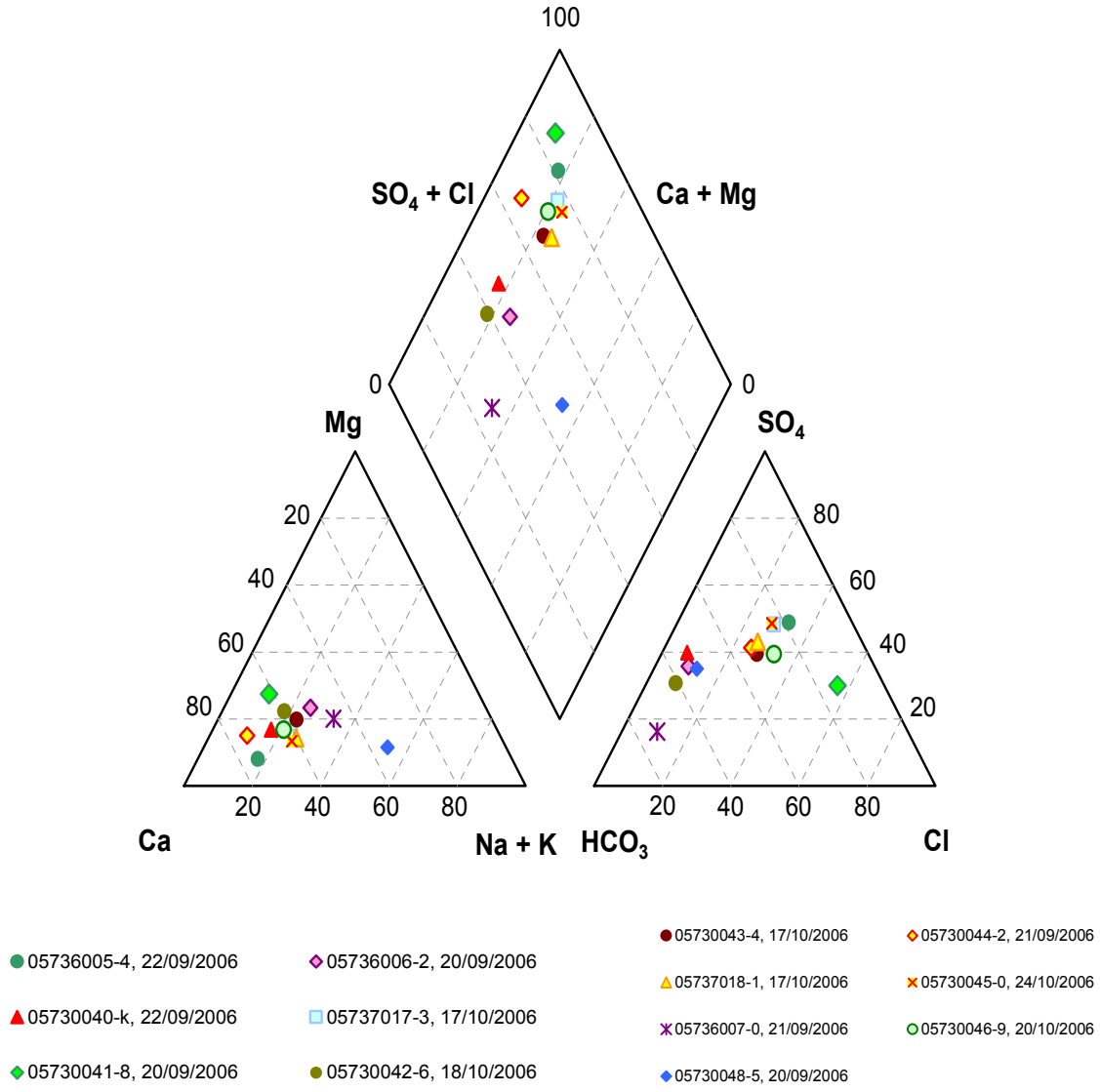


Figura 1.19: Diagrama de Piper con datos químicos de sector acuífero Maipo.

1.3.1.11 Sector acuífero Maitenlahue

No existen datos químicos disponibles

1.3.1.12 Sector acuífero Estero Las Cadenas

No existen datos químicos disponibles

1.4 Cartografías digitales complementarias

1.4.1 Uso de suelo

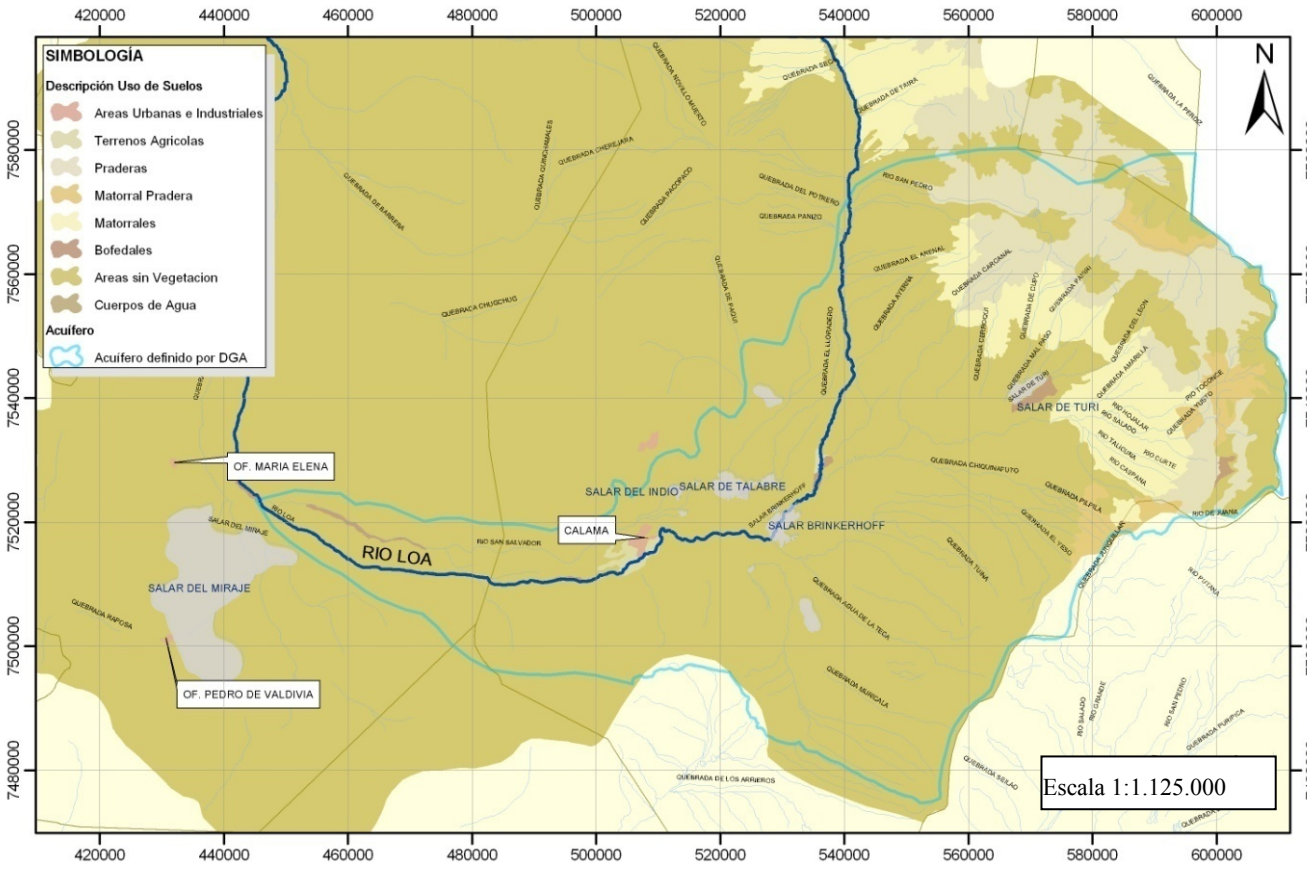


Figura 1.20: Mapa uso de suelos del sector acuífero El Loa.

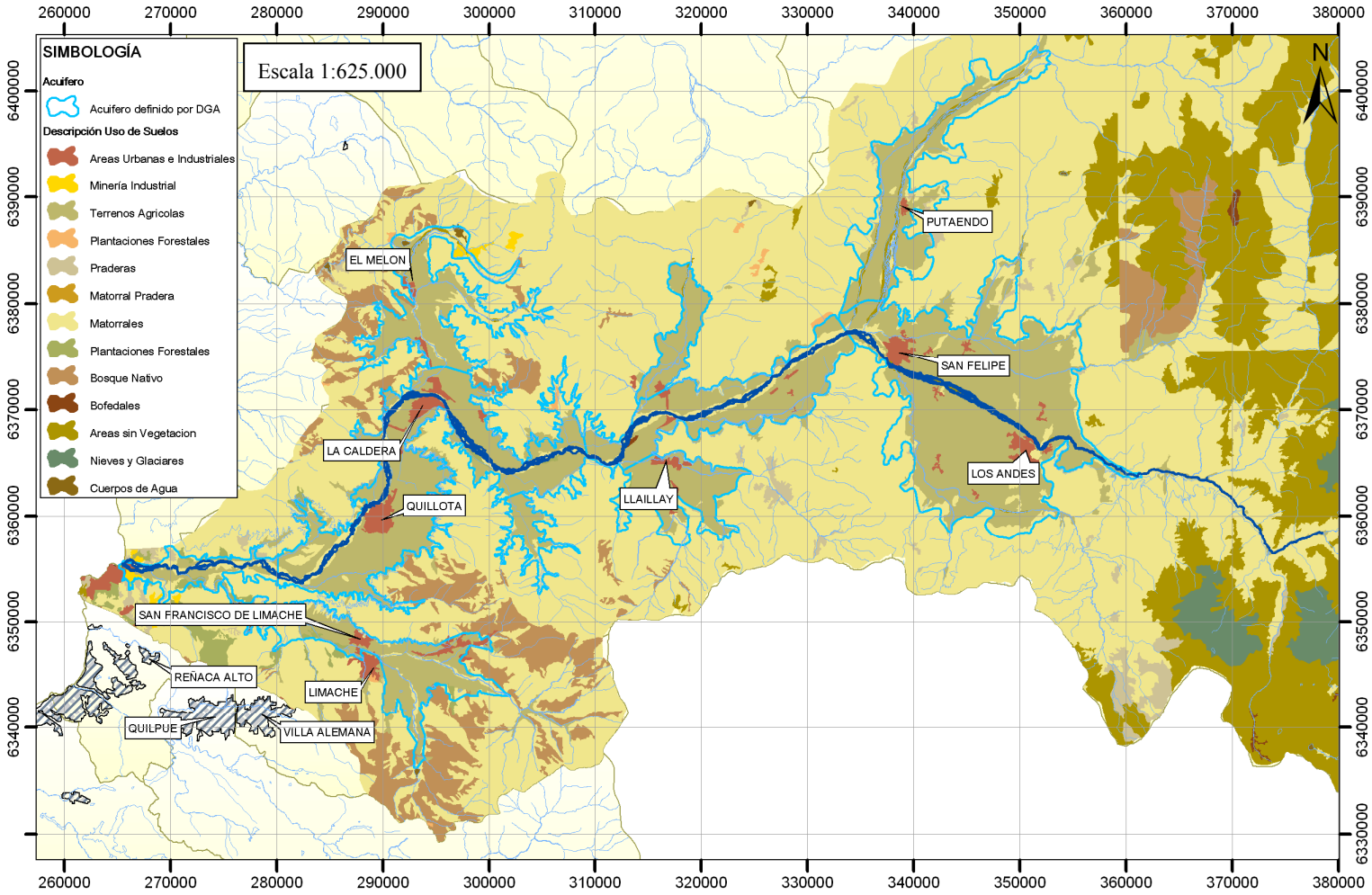


Figura 1.21: Mapa uso de suelos del sector acuífero Aconcagua.

1.4.2 Vulnerabilidad de acuífero

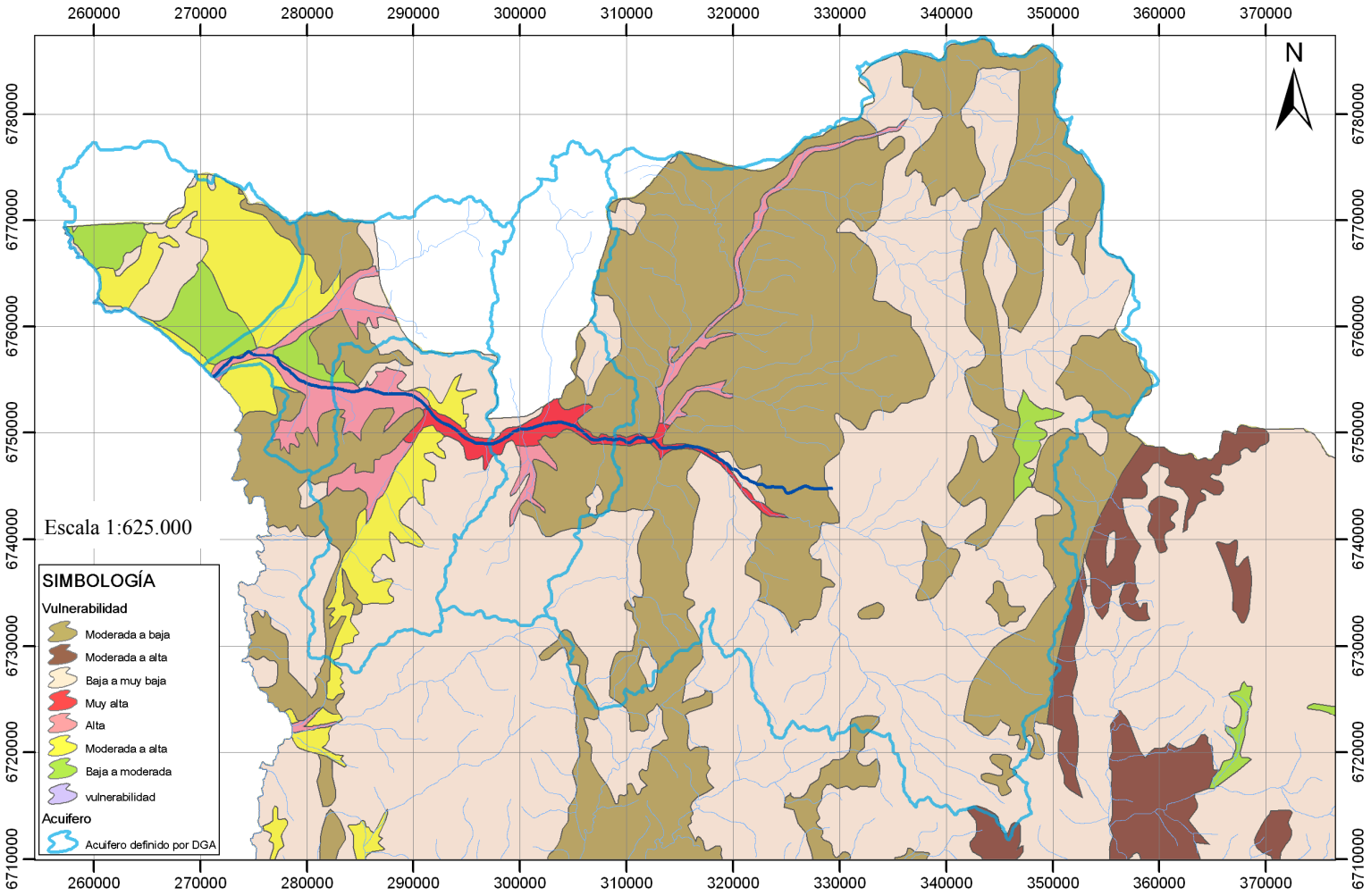


Figura 1.22: Mapa de vulnerabilidad a la contaminación (SERNAGEOMIN) del sector acuífero Los Choros.

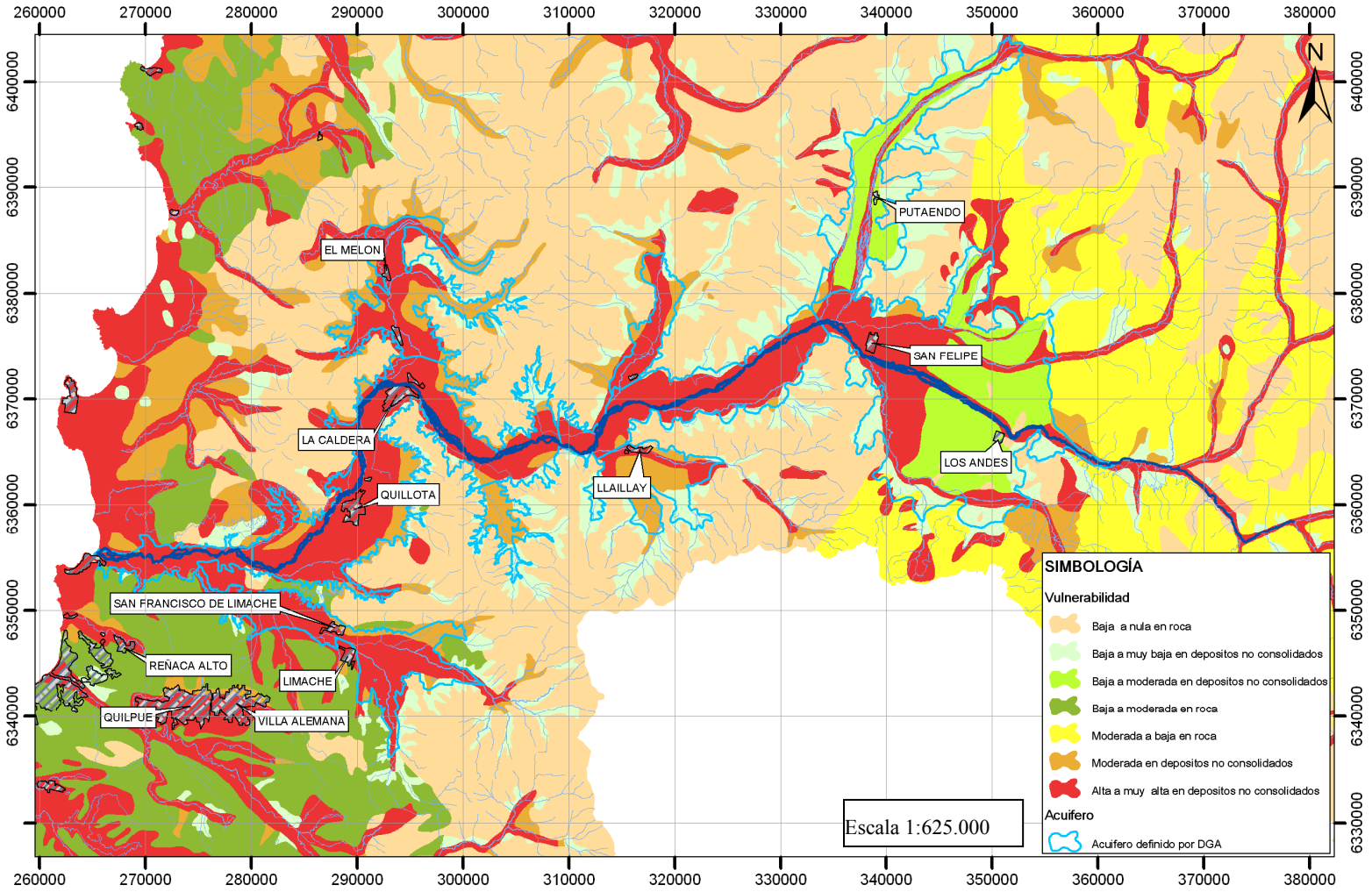


Figura 1.23: Mapa de vulnerabilidad a la contaminación del sector acuífero Aconcagua.

1.5 Fichas bibliográficas de estudios realizados por fuentes distintas a la DGA

1.5.1 Sector acuífero Lluta

SECTOR ACUÍFERO	Lluta
REGIÓN	XV Región de Arica y Parinacota
Titulo	**Estudio hidrogeológico y modelo de simulación del valle del río Lluta: Arica, I Región: informe final. Santiago, Chile.**
Fecha	Julio 1998
Autor	Ayala, Cabrera y Asociados Ingenieros Consultores
Mandante	ESSAT S.A. (filial CORFO)
Fuente	DGA Central (CIRH impreso)
Contexto	Proyecto de ESSAT de nuevas fuentes, fuera del valle del río San José y de Arica, a partir de nuevos sondajes para bombeo de agua subterránea en el valle del río Lluta, entre carretera Panamericana y km 26 del camino Arica-La Paz.
Resumen general	Caracterizar la hidrogeología del valle del río Lluta, como base para elaborar modelo de flujo subterráneo que represente la dinámica del escurrimiento subterráneo y sus interrelaciones con los componentes superficiales en
Contenidos relevantes	Pruebas de bombeo múltiples de larga duración en 11 pozos Medición de caudal (no constante), tiempo (no coincidentes), nivel freático Ubicación UTM de pozos Gráficos de nivel y caudal vs tiempo Determinación de conductividad, trasmisividad y coeficiente de almacenamiento Geología de la zona de estudio Descripción geológica de formaciones (Oxaya, El Diablo, Concordia), depósitos (fluviales, detríticos, Mapa geológico escala 1:100.000 (julio 1998) Geofísica en la zona de estudio 6 perfiles transversales con medición electromagnética para determinación de basamento rocoso 3 perfiles de medición geofísica 9 sondajes eléctricos verticales para definir estratos no explorados Plano con ubicación de perfiles, y perfiles longitudinales (base rocosa, base acuífero y nivel napa) Mapas de permeabilidad, coeficiente de almacenamiento y nivel freático (acuífero libre) Fluviometría de la zona de estudio Recopilación, relleno y corrección de estadísticas de caudales medio diarios en 7 estaciones. Datos Recopilación, relleno y corrección de estadísticas de caudales medio mensuales en 2 estaciones. Datos Determinación, con cierta probabilidad de excedencia, de caudales medio anual en Lluta y en Chapisca) Modelación de flujo Modelación de flujo superficial mediante sistema de 21 sectores de riego considerando río, canales, evapotranspiración, infiltración, derrames y embalse. Modelación de flujo subterráneo en acuífero en torno a río Lluta usando Modflow (Visual Modflow) Interacción entre modelos superficial y subterráneo de manera secuencial en cada sector de riego definido Estratigrafía de 19 sondajes con profundidades entre 60m y 395m
Falencias	Coordenadas UTM sin sistema de coordenadas mencionado No presenta ubicación exacta de perfiles de geofísica No presenta información de la calidad de agua subterráneas

SECTOR ACUÍFERO **REGIÓN**	Lluta XV Región de Arica y Parinacota
Titulo	**Evaluación de la disponibilidad del recurso hídrico subterráneo en el acuífero de la parte baja del río Lluta, Arica, I región: informe técnico No. 297. S.D.T. Nº114. Santiago, Chile.**
Fecha	Octubre 1998
Autor	Departamento de Administración de Recursos Hídricos
Mandante	Dirección General de Aguas (Ministerio de Obras Públicas)
Fuente	DGA Central (CIRH impreso)
Contexto	Constitución de nuevos derechos de aprovechamiento de aguas en acuífero de la parte baja del valle del río Lluta
Resumen general	A partir de informes y estudios anteriores se determina la disponibilidad del recurso hídrico subterráneo para constituir nuevos derechos, en particular para los derechos solicitados por ESSAT. Se asignan 401L/s de los 460L7s efectivos, considerando aporte de 10% desde el río y devolución del 20% en caso que caudal mensual baje de cierto valor indicado.
Contenidos relevantes	Delimitación del acuífero libre susceptible de nuevos derechos Descripción general del acuífero de la parte baja del valle del río Lluta y de la desembocadura Longitud, ancho espesor, permeabilidad, transmisividad, volumen almacenado Estimación de recarga Caudal disponible de 460L/s efectivos aguas abajo en Chapisca Detalle de solicitud de ESSAT Tres solicitudes (42, 210, 254) por 506L/s en 11 pozos simulación hidrogeológica) Caudal susceptible de 366L/s (37, 119, 210) Aporte desde río (según modelo) 10% Devolución al río en caso de bajo caudal mensual del 20% Caudal efectivo asignada 401L/s Caudal efectivo restante 59L/s
Falencias	Coordenadas UTM sin sistema claro No hay referencia a calidad del agua

SECTOR ACUÍFERO	Lluta
REGIÓN	XV Región de Arica y Parinacota
Titulo	**Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad Cuenca del Río Lluta, DGA - Cade-Idepe consultores.**
Fecha	Diciembre 2004
Autor	Cade-Idepe
Mandante	Dirección General de Aguas (Ministerio de Obras Públicas)
Fuente	DGA Central (DGA linea, impreso-digital)
Contexto	sin contexto
Resumen general	La cuenca del río Lluta es descrita y caracterizada a partir de información existente. Además se recopila, analiza y concluye respecto de la calidad de las aguas del río Lluta y de sus tributarios.
Contenidos relevantes	Recopilación y caracterización de la cuenca Antecedentes de Clima, precipitaciones, escorrentía superficial y evapotranspiración Antecedentes de geología (rocas), hidrogeología (formaciones y depósitos), geomorfología, suelos (textura, permeabilidad, escorrentía, riesgo de erosión) Antecedentes de flora (terrestre y acuática) y de fauna (acuática) Antecedentes de asentamientos humanos y actividad económica Antecedentes del uso de suelo (agrícola, urbano, SNASPE) Base de Datos Registros fluviométricos de 5 estaciones (1950 a 2001), cuyos datos están en Anexo 3.1, permiten Registros del Uso de suelo (in-situ y extractivos) según tramo de cauce Registro de descargas (domicilio, industrial) e identificación de fuentes potencialmente contaminantes Registro de análisis de calidad de agua del río existentes (4 fuentes, con datos 19821 a 2002) en Anexo 3.2 Análisis y Procesamiento de datos Caracterización hidrológica en base a curvas de variación estacional en cada estación fluviométrica (caudales medios mensuales con cierta probabilidad de excedencia y periodos de estiaje) Identificación de parámetros con datos, realización de nuevo programa de monitoreo complementario Análisis de tendencia central de los parámetros (no estacional) y por periodos estacionales Tabla con factores incidentes en la calidad del agua Calidad actual y natural de cursos superficiales Perfiles longitudinales de calidad según estación Parámetros químicos mencionados: Cond. Eléctrica, Oxigeno Disuelto., pH, manganeso, aluminio, Ras, cloruro, plomo, zinc, arsénico, sulfato, hierro, cobre, boro, color, DBO5, sólidos suspendidos, sólidos totales, nitrito, nitrato, cianuro, fluoruro, azufre, cromo, molibdeno, estaño, coliformes fecales, coliformes totales Calidad de agua es de regular a mala con incidencia principalmente de origen natural, reflejado en los siguientes parámetros: boro, arsénico, oxigeno disuelto, pH, cobre, aluminio, hierro, cromo, manganeso, cond. eléctrica, sulfato, zinc, cloruro, plomo, fluoruro, estaño, sólidos suspendidos sólidos totales. También
Falencias	No se dispone de Anexo 3.1 (datos fluviométricos) No se dispone de Anexo 3.2 (registros de calidad del agua)

SECTOR ACUÍFERO	Lluta
REGIÓN	XV Región de Arica y Parinacota
Titulo	**Compilación y evaluación de los antecedentes del valle del río Lluta. Santiago, Chile.**
Fecha	Julio 1980
Autor	Inderco Ltda. Ingenieria de Riego Consultores
Mandante	Departamento de Estudios y Racionalización (Dirección General de Aguas - Ministerio de Obras Públicas)
Fuente	DGA Central (CIRH)
Contexto	Estudio del desarrollo del Valle de Lluta desde perspectiva integral
Resumen general	Compila numerosos antecedentes (nacionales e internacionales) del Valle de Lluta, intentando evaluar y generar
Contenidos relevantes	Introducción Hacer referencia a estudios nacionales e internacionales disponibles Enfoque integral al problema de desarrollo del Valle de Lluta Factores geográficos Ubicación (principalmente altiplano), límites y vías de comunicación (más cercanas a Perú y Bolivia) Superficie total y de la zona de estudio Fisiografía (3 unidades principales: Cord. Costa, Pampa, Cord. de los Andes) Geología: Identificación y descripción de geología, estratigrafía y litología Descripción de 4 climas regionales, en base a precipitaciones (registro de 10años en las nacientes), temperatura, humedad relativa, radiación solar, vientos (1960 a 1971, parámetros obtenidos de estación en Ecología del lugar describiendo vegetación y animales. Se definen regiones ecológicas en base a Antecedentes de hidrografía Antecedentes de hidrología en base a 5 estaciones fluviométricas en río Lluta Antecedentes de la agricultura, en que destacan cultivos maíz, alfalfa y tomate. Se indica registro temporal Antecedentes demográficos Suelos descripción de suelos en zonas áridas, en que predominan suelos salinos Estudios actuales se enfocan a morfología y no a la físico-química Descripción (espesor, textura, color, ubicación, extensión) de series de suelos (7 unidades taxomónicas y 6 Análisis química del suelo. Parámetros mencionados: profundidad, pH, Materia Orgánica, CIC (capacidad de intercambio catiónico), Ca, Mg, Na, K, H, B, HCO3, Cl, SO4, %saturación Aguas Análisis de calidad del agua para riego (ríos, afluentes, relaves, dren, agua freática) antes y después de desvío río Azufre. Parámetros mencionados: C.Elec., pH, Sol Disueltos, Sol. Totales, B, M2O3 (sesquióxidos), Ca, Mg, Na, K, HCO3, SO4, Cl, %Na (sodio intercambiable), Coef. Alcalí, SAR, As. Existen Disponibilidad de recursos hídricos en base recarga desde escurrimientos (gastos medios mensuales 50% y 85%) y necesidades de los cultivos. Uso más crítico en meses de Abril, Mayo y Junio Existentes propuestas para mejorar disponibilidad (embalse en río Lluta y desvío de río Caquena al Lluta) Drenaje Describe construcción de red de drenaje artificial en el valle del Lluta (zanjas con tubos, extensión de Salinidad y Mejoramiento Acumulación de sales en el suelo generan problemas en el riego Clasificación de suelos según salinidad Descripción de técnicas de riego y de lavado de cultivo para reducir o eliminar efectos nocivos (baja de Cultivos Cultivos que destacan: maíz, alfalfa, tomate Mención de experiencia en uso de fertilizantes NPK y desinfección Estudio de insectos y aves que afectan a los cultivos Hombre en tierras áridas Datos poblacionales por comuna y año Misceláneos Descripción de temas que podrían incidir en mejorar condiciones en la zona de estudio Temas: i) desalinización del agua por congelación natural, ii) destilación solar, iii) crianza de conejos, iv) apicultura en el valle, v) contaminación fecal en el río Lluta Aspectos económicos Análisis de gastos y de ganancia implicarían pérdidas en el proyecto de consolidar desarrollo de zona de
Falencias	

SECTOR ACUÍFERO	Lluta
REGIÓN	XV region de Arica y Tarapacá
Titulo	**Hidrografía de las zonas desérticas de Chile, para proyecto CHI-35: "Investigaciones de los Recursos hidráulicos en el Norte Grande". Santiago, Chile**
Fecha	1972
Autor	Wulf Klohn (ed. por Jean Burz)
Mandante	Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo
Fuente	DGA Central (CIRH)
Contexto	
Resumen general	
Contenidos relevantes	No disponible
Falencias	

SECTOR ACUÍFERO	Lluta
REGIÓN	XV region de Arica y Tarapacá
Titulo	**Estudio de factibilidad de embalses para los valles de Lluta y Azapa I Región: informe final: resumen**
Fecha	2004
Autor	Ingendesa
Mandante	Dirección de Obras Hidráulicas (Ministerio de Obras Públicas)
Fuente	DGA Central (CIRH)
Contexto	
Resumen general	
Contenidos relevantes	No disponible
Falencias	

1.5.2 Sector acuífero Azapa

SECTOR ACUÍFERO **REGIÓN**	Azapa (Zona Prohibición) XV Región de Arica y Parinacota
Titulo	**Determinación de la disponibilidad de recursos hídricos para constituir nuevos derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en el sector del Valle de Azapa: minuta técnica. Ministerio de**
Fecha	Marzo 1996
Autor	Departamento de Administración de Recursos Hídricos
Mandante	Dirección General de Aguas (Ministerio de Obras Públicas)
Fuente	DGA Central (CIRH, impreso)
Contexto	Otorgamiento de nuevos derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en sector del valle de Azapa
Resumen general	Determina, en base a investigaciones anteriores, que el caudal de explotación efectiva disponible es 700L/s, lo cual la asignación de nuevos derechos de aprovechamiento de agua subterránea.
Contenidos relevantes	Investigaciones anteriores Estudio de modelación (Ayala, Cabrera y Asociados, marzo 1989) establece, respecto al acuífero, que: 800L/s son recarga, 1100L/s son explotación, por lo que 300L/s es el déficit con probabilidad de excedencia Estudio de JICA 1995 identifica el descenso sistemático del nivel de acuífero y de la calidad (SST sobre norma). Además establece que 1100L/s son recarga, 1447L/s son explotación, 149L/s son descarga al mar, por lo que el déficit es 495L/s, lo que implicaría disponibilidad del recurso sólo por 20 años. Estudio de CORFO 1995 reconoce la sobreexplotación del acuífero debido a aumento sistemático de caudal de explotación. Establece caudal sustentable de 567L/s (menor a lo explotado anualmente), en Define caudal efectivo de explotación sustentable en el largo plazo Q=700L/s Actuales derechos Derechos actualmente asignado implican 543L/s efectivos (según uso del agua) Se otorga derechos por 202L/s a regularizaciones de solicitudes pendientes No existen más recursos que asignar para solicitudes posteriores a 05/02/1992, aunque hay algunas en Anexos Existe tabla con derechos de agua concedidos Existe tabla con derechos de agua pendientes
Falencias	

SECTOR ACUÍFERO	Azapa (Zona Prohibición)
REGIÓN	XV Región de Arica y Parinacota
Titulo	**Declaración de zona de prohibición para nuevas explotaciones de agua subterránea en el acuífero del Valle de Azapa: minuta técnica. S.D.T. Nº 113. Santiago, Chile.**
Fecha	Marzo 1996
Autor	Departamento de Administración de Recursos Hídricos
Mandante	Dirección General de Aguas (Ministerio de Obras Públicas)
Fuente	DGA Central (CIRH, impreso)
Contexto	Otorgamiento de nuevos derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en sector del valle de Azapa
Resumen general	Declara zona de prohibición al acuífero del valle de Azapa, aclarando razones y polígono de prohibición
Contenidos relevantes	Antecedentes Estudio de modelación (Ayala, Cabrera y Asociados, marzo 1989) establece, respecto al acuífero, que: 800L/s son recarga, 1100L/s son explotación, por lo que 300L/s es el déficit con probabilidad de excedencia Estudio de JICA 1995 identifica el descenso sistemático del nivel de acuífero y de la calidad (SST sobre norma). Además establece que 1100L/s son recarga, 1447L/s son explotación, 149L/s son descarga al mar, por lo que el déficit es 495L/s, lo que implicaría disponibilidad del recurso sólo por 20 años. Estudio de CORFO 1995 reconoce la sobreexplotación del acuífero debido a aumento sistemático de caudal de explotación. Establece caudal sustentable de 567L/s (menor a lo explotado anualmente), en Descripción de limitaciones establecidas en Código de Aguas respecto a asignación de derechos de agua Reducción temporal Área de restricción Zona de prohibición Declara Zona de prohibición "por ocurrencia de perjuicios a derechos constituidos en zona de recuperación de cauc Delimitación del acuífero de recarga y zona de prohibición Acuífero entorno a río San José Zona de prohibición según criterio "franja entre el acuífero y los límites de la zona de recarga en la que se asegura que los efectos de una explotación en un punto inmediatamente fuera del límite trazado no se Coordenadas UTM (datum Provisorio Sudamericano La Canoa 1956 en Huso 19) de vértices de polígono Anexos Escrituras legales de los derechos de agua constituidos Declaración oficial de la zona de prohibición y publicación en Diario Oficial
Falencias	

SECTOR ACUÍFERO **REGIÓN**	Azapa (Zona Prohibición) XV Región de Arica y Parinacota
Titulo	**El agua subterránea en el valle de Azapa: informe preliminar. Santiago, Chile.**
Fecha	1960
Autor	Pablo Kleiman, Juan Torres
Mandante	Dirección de Riego (Ministerio de Obras Públicas)
Fuente	DGA Central (CIRH, impreso)
Contexto	
Resumen general	información existente y a generada. Además propone orientaciones para resolver las solicitudes de derechos de agua y formula plan para futuras investigaciones.
Contenidos relevantes	Hidrografía río San José nace en ríos Tignamar y río Seco a 4.000-4.500msnm, posee bajo caudal (100L/s) que comportamiento diferente a río Lluta (sin nieve) Pluviometría Aumenta hacia la cordillera desde 0 a 275mmm (4.000msnm) Geología 3 formaciones según la edad geológica (porfirítica, liparítica, relleno aluvial) y estimación de su capacidad Sondajes Existen 16 pozos con estratigrafía (5 en Las Riveras, 5 en Juan Noé, 6 en Cabuza) cotas, profundidad (23 a 55m), pero sin ubicación exacta Además existen numerosos pozos, sondajes, lumbreras y vertientes Perfiles longitudinales de nivel de terreno y del acuífero Origen de agua subterránea Agua proviene de infiltración desde cauce de río San José y por crecidas (en el lecho seco y en captaciones Nivel del orden de 39m de profundidad Descarga del acuífero hacia el mar , vegetación, aparte de la explotación humana Precipitaciones en estación Parinacota a 4.000msnm (años 1933 a 1959) tiene poca relación con régimen del río San José, debido a principalmente a orografía Calidad del agua subterránea 13 muestras (3 en agua superficial) de Feb 1960 que muestran SST 240 a 274ppm y sugiere mismo origen Parámetros mencionados: sodio, bicarbonato, cloruro, sulfato, calcio, conductividad, pH, dureza Bombeo de aguas subterráneas Pruebas de bombeo (tiempo, depresión, caudal) con pozos de observación (pozo 32, 120hrs, 20 a 56L/s; pozo 1-B, 30L/s) que permitieron estimar trasmisividad y radio de influencia, pero con baja confiabilidad Balance hídrico Explotación de 400L/s, Riego de 700Hás con tasa 15.000m3/(Hás-año), Escurrimiento subterráneo 230 a Evidencia de sobreexplotación y capacidad de almacenamiento agotada, por lo que no debieran asignarse Derechos de agua Existe gran desorden en los derechos de agua Orientación para enfrentar solicitudes antes y después de 1951 Desarrollos futuros Directrices para continuar investigación en la cuenca y para desarrollar obras para favorecer recarga del
Falencias	Coordenadas de pozos con estratigrafía no tiene ubicación exacta No incluye posibles efectos por proyecto de trasvases desde río Lauca en 1962

SECTOR ACUÍFERO	Azapa (Zona Prohibición)
REGIÓN	XV Región de Arica y Parinacota
Titulo	**Modelo de simulación de las aguas subterráneas del valle de Azapa. Santiago, Chile.**
Fecha	Enero 1989
Autor	Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. Ingenieros Consultores - asesoría de IPLA
Mandante	Departamento de Hidrología (Dirección General de Aguas - Ministerio de Obras Públicas)
Fuente	DGA Central (CIRH, impreso)
Contexto	Modelación de sistemas críticos de aguas subterráneas de la DGA (MOP)
Resumen general	Desarrolla un modelo numérico (simulación, calibración, validación, sensibilidad) de sistema de aguas superficiales y subterráneas del valle de Azapa, a partir de completo análisis de información existe de: infraestructura, recursos
Contenidos relevantes	Antecedentes Escurrimientos no permanentes de agua Demanda creciente Problema de intrusión salina Trasvase de aguas desde río Lauca a río San José. Infraestructura Red canal Azapa Pérdidas en canal Azapa Catastro de vertientes Catastro de pozos (cota, profundidad, caudal y nivel) Consumo (demanda) Estimaciones según uso Industrial, Agua Potable y Pérdidas en la red de distribución (catastros) Estimación según uso de riego considerando tipo suelos (individuales, mezcla, sin uso), patrones de cultivo (fotointerpretación) y evaporación (cultivos, técnicas de riego, evaporación potencial, tasas de riego, Recursos Hídricos (oferta) Disponibilidad agua superficial en base a fluviometría (en río San José) e hidrología Disponibilidad agua subterránea en base a hidrogeología, geología, geomorfología, clima, niveles y Información disponible disponibilidad de agua: estaciones fluviométricas (5 estaciones, registro 1961 a 1988, registro completados), formaciones acuíferas, perfiles estratigráficos (+30 pozos, hasta 390m), pruebas de bombeo (50 pozos), constantes elásticas (transmisividad), limnigramas (38 pozos, niveles de 0 a 30m, registro 1962 a 1986), estaciones pluviométricas (5 estaciones, registro 1965 a 1987, registro Calidad de aguas superficiales (Anexo E.5.1) y subterráneos (Anexo E.5.3) Parámetros mencionados agua subterránea (TSD, pH, Mg, Na, CO3, Cl, Li, Fe, As, Zn, NO3, PO4, C. Elec., Ca, K, HCO3, SO4, Cu, Mn, B, SiO2, Fe, Al) y superficial (C. Elec., TSD, HCO3, B, Cl, pH, RAS, RASO, As, Descripción problemas potenciales por zonas y uso (riego y agua potable) Descripción de estado y modificaciones a red de Control de Niveles Simulación Formulación de modelo (conexión agua superficial y subterránea, sectorización por información disponible, embalse lineal, bombeos y patrones de cultivos observados, balance a nivel superficial, balances y Calibración, por sectores, de parámetros Transmisividad y Coef. de almacenamiento en base a niveles y caudales, en período de 4 años (1976 a 1979) en intervalos de tres meses. Validación según dos esquemas (período de 8 años entre 1976 y 1984 intervalo trimestral, y período 4 años entre 1976 y 1979 en intervalo mensual) Análisis de Sensibilidad de 4 parámetros (caudal entrada, recarga por infiltración del río, recarga por infiltración del riego, recarga por infiltración de las pérdidas) en período de 4 años (1976 a 1979) en intervalo
Falencias	No se dispone de mapa geológico y geomorfológico No se dispone de Plano Nº3 con ubicación de pozos No se dispone de Plano Nº5 de isofreáticas, y Plano Nº6 de isoprofundidad

SECTOR ACUÍFERO	Azapa (Zona Prohibición)
REGIÓN	XV Región de Arica y Parinacota
Titulo	**Recursos de agua y su aprovechamiento en el valle de Azapa. Santiago, Chile**
Fecha	Diciembre 1972
Autor	Gerardo Díaz del Río, Agustín Hojas Bernal, Jorge Orellana Quiroga.
Mandante	Departamento de Recursos Hidráulicos (CORFO)
Fuente	DGA Central (CIRH)
Contexto	CORFO, a través de un convenio, se compromete a efectuar un estudio de los recursos de agua y su
Resumen general	Se presenta un completo estudio del recurso hídrico y superficial hasta la fecha del estudio 1972.
Contenidos relevantes	Introducción Realiza un análisis general de la situación en el valle de azada. Revisa los aspectos mas relevantes en cuanto al aprovechamiento del recurso hídrico subterráneo y Metodología A través de la información recopilada establece un estado actual y prevé posibles problemas con el abastecimiento del recurso hídrico en la zona. Utiliza pruebas de bombeos, análisis químicos y estudio espacial del comportamiento de la napa entre Conclusiones Se entregan distintos valores de caudales factibles a extraer desde fuentes superficiales y subterráneas. Presenta análisis de niveles estáticos y posibles problemas de intrusión salina. Principalmente propone la necesidad de nuevos organismos para dinamizar la gestión del recurso y plantea en ultimo lugar posibles soluciones a los problemas de abastecimiento de la fecha o factibles de ocurrir.
Falencias	

1.5.3 Sector acuífero Pampa del Tamarugal

SECTOR ACUÍFERO	Pampa del Tamarugal
REGIÓN	I Región de Tarapacá
Titulo	**Evaluación de recursos en zona sur Pampa del Tamarugal. Parte III hidrogeología. Santiago, Chile.**
Fecha	Abril 1994
Autor	Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental (Escuela de Ingeniería - P. Universidad Católica de Chile)
Mandante	SOQUIMICH
Fuente	DGA Central (CIRH)
Contexto	Caracterización hidrogeológica de acuíferos y evaluación de capacidad de explotación
Resumen general	
Contenidos relevantes	Antecedentes 6 documentos revisados ('66, '75, '82, '87, 88, '90) 300 sondajes en la Pampa de Tamarugal; 40 sondajes en Salar de Llamara 1800m2/día. No hay pruebas para estimar S Registro de niveles en 13 piezómetros y 21 sondajes 4 zonas Referencia a parte I (hidrología) y parte II (geología) Caracterización de Salares Pintados, Bellavista, Llamara, de Sur Viejo y Soronal Identificación de acuíferos, composición, espesor, estratigrafía tipo, ubicación Flujo, niveles, origen y calidad química del agua subterránea Funcionamiento hidráulico, características hidráulicas (tramisibilidad), balance hidrogeológico (recarga y Conclusiones Condiciones pesimista, razonable, optimista del balance en cada zona
Falencias	

SECTOR ACUÍFERO	Pampa del Tamarugal
REGIÓN	I Región de Tarapacá
Titulo	**Modelo de simulación hidrogeológico de la Pampa del Tamarugal. Santiago, Chile.**
Fecha	1988
Autor	Centro de Recursos Hídricos (Departamento de Ingeniería Civil - Facultad de Ciencias Física y Matemáticas - Univ.
Mandante	Departamento de Hidrología (Dirección General de Aguas - Ministerio de Obras Públicas)
Fuente	DGA Central (CIRH)
Contexto	El Departamento de Ingeniería Civil de la U.Chile analiza un modelo hidrogeológico en la zona.
Resumen general	Se desarrolla un modelo hidrogeológico que simula distintos escenarios de explotación del recurso.
Contenidos relevantes	Introducción Dada la importancia de los recursos subterráneos en la zona se justifica la elaboración de un modelo hidrogeológico que evalue la zona de estudio frente a diversas situaciones. Presenta una introducción general, descripción del modelo y campañas en terreno. Metodología Se realiza una revisión de estudios previos realizados sobre la zona y recopilación de antecedentes de Caracterización hidrogeológica de la zona. Incluye descripción de isopiezas, conductividad eléctrica y Desarrollo de un modelo matemático de simulación hidrogeológica para la zona de estudio y ala aplicación del modelo desarrollado a diversas situaciones. Conclusiones Al aplicar el modelo manteniendo las condiciones y ritmo de crecimiento de consumo se observa un riesgo potencial de una contaminación de los acuíferos por intrusión salina desde los salares Pintados y Bellavista, debido a la inversión del flujo debido al gran cono de depresión desde la planta Canchones.. Se propone la utilización del modelo para evaluar la entrega de solicitudes de aprovechamiento de recurso Revisar y mejorar las estimaciones de salida del sistema, tales como evaporación y evapotranspiración.
Falencias	Faltan Datos obtenidos en campaña de terreno: Nº de pozos muestreados, ubicación, Cond. Eléctrica. y temperatura

SECTOR ACUÍFERO	Pampa del Tamarugal
REGIÓN	I Región de Tarapacá
Titulo	**Recursos hídricos de la Pampa del Tamarugal en seminario "Desarrollo de Zonas Desérticas de Chile". Chile**
Fecha	Marzo 1983
Autor	Fernado Peralta Toro (Alamos y Peralta Ingenieros Consultores Ltda)
Mandante	CORFO
Fuente	DGA Central (CIRH, papel)
Contexto	Diagnóstico de la situación actual de los recursos hídricos y de las posibilidades de la ampliación futura
Resumen general	Describe en términos generales el acuífero de la Pampa del Tamarugal y su funcionamiento como embalse en base a variacióndne niveles y relación con reforestación de tamarugos
Contenidos relevantes	Decripcion general Ubicación (C. Costa, C. Andes, río Loa y Q. Tiliviche), procedencia (fósil y moderno-actual), escurrimiento (evaporación, lagunas, cuenca endorreica), salinidad (según ubicación pero menores a 30g/L) Cuantificación de recursos en embalse y como recarga en salares de Zapiga, de Pintados y de Bellavista Existe creciente uso de agua desde el acuífero para fines agrícolas y consumo Existencia de registro de niveles freáticos mensuales completos entre 1968 y 1973 (78 puntos), y puntuales en 1980 (66 puntos) y 1966 (110 puntos), que muestran tendencia moderada al descenso con una probable Reforestación de tamarugos en Zapiga (5000há), Pintados (18000há) y Bellavista (24000há) tiene influencia en descenso de niveles pero no marcada Propuesta de red de observacion y vigilancia con monitoreo períodico de niveles y química (Cl, y C. Electrica), para luego usar modelos hidrogeológicos que permitan simulaciones y planificaciones de Análisis de funcionamiento En Zapiga desciende en centro (0,25m) pero aumenta al oriente. Registro de 11 puntos (jul 1967 y jul 1982) y 6 puntos (may 1980 y may 1983) En Pintados desciende en centro (1,0m) pero aumenta al oriente. Registro de 28 puntos (ene 1966 y ene 1983) y 14 puntos (may 1980 y may 1983) En Bellavista desciende en centro (0,5m) pero aumenta al oriente. Registro de 18 puntos (mar 1966 y ene 1983) y 18 puntos (may 1980 y ene 1983) Recursos hídricos en Pica-Matilla Esmeralda Análisis de aumento de superficie regada en sector de Pica, a partir de información de 35 sondeos (prof. Nivel estático), 11 sondeos (0,5 a 3L/s), 4 vertientes y 9 socavones
Falencias	No presenta el total de registros de niveles mencionados en el texto

SECTOR ACUÍFERO	Pampa del Tamarugal
REGIÓN	I Región de Tarapacá
Titulo	**Las aguas subterráneas en la Pampa del Tamarugal: los recursos de agua y la reforestación: charla de**
Fecha	1981
Autor	Fernando Peralta Toro (Álamos y Peralta Ingenieros Civiles)
Mandante	CORFO
Fuente	DGA Central (CIRH, papel)
Contexto	
Resumen general	
Contenidos relevantes	No tiene contenidos relevantes
Falencias	

1.5.4 Sector acuífero Salar de Coposa

SECTOR ACUÍFERO **REGIÓN**	Salar de Coposa I Región de Tarapacá
Titulo	**Salar de Coposa. Geoquímica de aguas en cuencas cerradas: I, II y III Regiones-Chile. Volumen II: Estudio de Cuencas de la I Región. Informe Técnico S.I.T. Nº51.**
Fecha	Enero 1999
Autor	F Risacher, C Salazar, H Alonso
Mandante	Instituto de Investigación para el Desarrollo (IRD) Dirección General de Aguas (Ministerio de Obras Públicas) Universidad Católica del Norte (UCN)
Fuente	DGA Central (DGA linea, impreso-digital)
Contexto	Estudio de la geoquímica de las aguas en las cuencas cerradas de regiones I, II, y III de Chile
Resumen general	Describe parcialmente análisis químicos desde aguas del Salar de Coposa
Contenidos relevantes	Introducción Generalidades de superficie, hidrología, clima, altura, etc. Aportes Identifica origen de 14 muestras de agua (6 vertientes y 8 napas) y presenta composición en diagramas Reconoce tres vías evolutivas (neutra sulfatada, alcalina sulfatada, neutra cálcica), pero hay poca relación co Mapa geológico y de vías evolutivas de cada aporte Calidad del agua Análisis de 24 muestras de agua en 24 pozos (con coordenadas UTM) con los siguientes parámetros mencionados: C. Elec., Tº, O2, Dens., pH, Alc., Cl, Br, I, SO4, NO3, B, Si, As, Na, K, Li, Ca, Mg, Al, Fe, Análisis de 2 perfiles de concentración creciente Balances hídricos Estimación de balance en laguna Jachu Coposa y en el salar Salar de Coposa descarga lentamente al Salar de Empexa
Falencias	

1.5.5 Sector acuífero El Loa

SECTOR ACUÍFERO	El Loa
REGIÓN	II Región de Antofagasta
Titulo	**Informe Técnico: Evaluación de los recursos hídricos sectores Calama y Llalqui, cuenca Río Loa. S.I.T. N 85**
Fecha	Mayo 2003
Autor	Departamento de Estudios y Planificación
Mandante	Dirección General de Aguas (Ministerio de Obras Públicas)
Fuente	DGA Central (DGA linea, impreso-digital)
Contexto	de poder seguir explotando. Conveniencia de contar con un balance hídrico y analizar efectos de aumentos de explotación.
Resumen general	Integra información desde distintas fuentes Evalúa la disponibilidad de aguas subterráneas y los efectos de explotación en acuíferos calama y Llalqui, en base a: i) estudio hidrológico y balance hídrico; ii) modelación hidrogeológica en Calama, iii) interpretación
Contenidos relevantes	Antecedentes Descripción geología (4 formaciones y mapa) Descripción clima en base a relieve, ubicación geográfica y corriente de Humboldt (clima árido tipo B, con lluvias convectivas en parte alta de cuenca y con vientos desde SurOeste) ríos, vertientes y napas). Parámetros mencionados: STD, C. Elec., pH, T°, Alc., Cl, SO4, Ca, Mg, K, NO3, Na, Si, Li, B, As, $d^{18}O$, $d^{2}H$, $d^{3}H$. Balance hídrico en cuencas y subcuencas (Aportes) en base a expresión Aportes=Usos o bien Pp + EvapT = Esc.Sup + Esc.Subt.+ Evap. Pp en base a altura y exposición este. EvapT en base a temperatura (según Balance hídrico de escorrentía y usos (). Esc.Sup. en base derechos constituidos (antes de ene 2000, Tabla). Esc. Subt en base a derechos constituidos (antes de nov 2002, Tabla). Evap o In situ en base a bibliografía. Corrección por factores de uso (riego, agua potable, minería). Se genera Tabla y esquema de la Análisis Calama Corrección y refinamiento actual modelo hidrogeológico ((No hay sugerencias)) de Calama (4 estratos, 50 Hidrogeoquímica indicaría desconexión entre acuífero inferior Calama y acuífero inferior Llalqui, pero Modelo hidrogeológico calibrado a menos de 3% RMS (caudales, conductividad y coef. Almacenamiento) y con análisis de sensibilidad (conductividad en Loa, conductividad estrato 2) Simulaciones de varios escenarios según derechos solicitados Análisis de escenarios factibles según 4 criterios establecidos: i) estabilidad de niveles, ii)% de extracción desde almacenamiento, iii) efectos en escurrimiento superficiales y iv) vertientes y extensión de Análisis Llalqui Antecedentes de Nazca S.A. no son apropiados Hidrogeoquímica verifica relación entre acuífero superior e inferior en acuífero de Q. León y de Llaqui Estimación de volumen de almacenamiento en base a 12 pozos (coordenadas, altura, profundidad) Conclusiones Caudales efectivos disponibles por subcuenca y por origen Hidrología más clara de la cuenca
Falencias	Tabla 3.1 en formato digital solamente Ubicación de pozos no exacta

SECTOR ACUÍFERO	El Loa
REGIÓN	II Región de Antofagasta
Titulo	**Informe Técnico. Determinación de los derechos de aprovechamiento de agua subterránea factibles de constituir en los sectores de Calama, Llalqui, cuenca del río Loa, II Región. S.D.T. Nº 153. Santiago Chile.**
Fecha	Agosto 2003
Autor	Departamento de Administración de Recursos Hídricos
Mandante	Dirección General de Aguas (Ministerio de Obras Públicas)
Fuente	DGA Central (DGA linea, digital)
Contexto	Evaluación de recursos hídricos en la cuenca del río Loa para otorgación de derechos solicitados
Resumen general	
Contenidos relevantes	Introducción Existen solicitudes de derechos en la cuenca del río Loa Análisis con toda la información disponible (23 fuentes) permiten evaluación hidrogeológica preliminar en Geología Mención a 65 sondajes del total de estudios (Q León, pampa Llalqui, Pampa Talabre, Calama (ubicación en Reconocimiento y descripción de 7 unidades geológicas Descripción de historia geológica Hidroquímica En base a Informe técnico SIT 85 Análisis en base a muestras de aguas superficiales y subterráneas. En Calama existe muestreo en distintos Evidencia de cambio de conductividad eléctrica y vía evolutiva en el transcurso del río Loa Vías evolutivas se debería a disolución de evaporitas y dilución de salmueras residuales, más que Hidrología Se establece balance hidrológico global en base a promedios Existe disponibilidad de 400L/s globales en la cuenca Recursos Hídricos Disponibles Evaluación de Calama y Llalqui, En Q. León la situación queda pendiente hasta realizar estudios específicos En Calama se usa modelo Modflow (4 estratos, 50 años cada 5años, 130mx130m) para simular varios escenarios. Evaluación de los escenarios en base a 5 criterios de sustentabilidad. Escenario 1C de 460L7s En Llalqui modelo Modflow de particular se desestima y adopta modelo de la DGA. Evaluación de sustentabilidad de escenarios según 3 criterios. Se define escenario de 264L/s efectivos. Derechos Existen solicitudes de aprovechamiento de aguas en Calama (370L/s) y Q. león (550L/s), pero no en Llalqui Conclusiones Se otorgan derechos solicitados en Calama (370L/s). En Q. León quedan pendientes La extracción de agua desde Calama y Llalqui queda sujeta a cumplimiento de Plan de Alerta Temprana (monitoreo de puntos específicos). Además, en Llalqui se condiciona a extracción desde acuífero inferior
Falencias	Mala calidad de mapas

SECTOR ACUÍFERO	El Loa
REGIÓN	II Región de Antofagasta
Titulo	**Estudio de la hidrogeología del Alto Loa: contrato No. 218412-021.**
Fecha	1987
Autor	Agua Ingenieros Consultores.
Mandante	Corporación Nacional del Cobre - División Chuquicamata
Fuente	DGA Central (CIRH)
Contexto	La Corporación Nacional del Cobre, División Chuquicamata solicita a Agua Ingenieros Consultores realizar el
Resumen general	Se desarrolla un estudio hidrogeológico que contiene análisis de isótopos ambientales, pruebas de bombeo y
Contenidos relevantes	Introducción Se realiza una presentación de las unidades básicas que componen el sistema hidrogeológico en la zona. Metodología Para determinar la geometría acuífera se programo un levantamiento geológico de superficie, una prospección geofísica y la realización de un conjunto de sondajes estratigráficos. La definición de constantes elásticas se logro a través de una ejecución de pozos de bombeo con sondajes de observación, un levantamiento topográfico ayudo a realizar el trazado de las líneas equipotenciales del Se obtuvieron muestras de agua para realizar estudios isotópicos radioactivos naturales. Conclusiones Según el estudio realizado la transmisibilidad varia desde 3000 m2/d hasta valores tan elevados como 100000 m2/d. estos últimos se concentran en la zona central del área de estudio, mientras que los valores El almacenamiento instantáneo fluctúa entre 0,001 y 0,003, para el almacenamiento a largo plazo se han estimado valores entre 0,15 y 0,10 para los sedimentos no consolidados y 0,01 y 0,05 para los acuíferos en El sistema bajo las condiciones actuales del estudio se encuentra en equilibrio. El agua subterránea no presenta restricciones de calidad química para su uso con fines industriales Se recomienda mantener el control actual sobre la descarga de los drenes, mantener el control mensual del nivel estático sobre todos los pozos posteriormente evaluados en la primera etapa del estudio.
Falencias	Faltan Anexos en forma digital

SECTOR ACUÍFERO	El Loa
REGIÓN	II Región de Antofagasta
Titulo	**Estudio hidrogeológico del río Loa - Sector Yalquincha junta con río San Salvador: informe final. Santiago**
Fecha	2002
Autor	Fernando Peralta y Compañía Ltda
Mandante	Cía Minera Contractual Equatorial Resources
Fuente	DGA Central (CIRH)
Contexto	
Resumen general	
Contenidos relevantes	No entrega informacion relevante
Falencias	

1.5.6 Sector acuífero Los Choros

SECTOR ACUÍFERO	Los Choros
REGIÓN	IV Región de Coquimbo
Titulo	**Hidrogeología de la Quebrada de Los Choros: informe preliminar mayo 1971. Santiago, Chile.**
Fecha	Mayo 1971
Autor	Fernando Peralta Toro, Gerardo Díaz Del Río, Guillermo Wood Herrera
Mandante	Departamento de Recursos Hidráulicos (CORFO)
Fuente	DGA Central (CIRH, impreso)
Contexto	Aumentar comprensión hidrogeológica e identificar disponibilidad de recursos de agua subterráneo para uso
Resumen general	Estudio preliminar de la hidrogeología de la Quebrada Los Choros a partir de sondajes realizados por CORFO
Contenidos relevantes	Antecedentes 7 sondajes realizados por CORFO entre 1967 y 1969 con descripciones constructivas, geológicas y de Registros de temperatura (Vallenar, La Serena), lluvias (El Tofo 66-70, Incahuasi 19-70, Tres Cruces 40-42) Mapa geológico 1:1.000.000 e isoyetas 1968 con 50% probabilidad (1:500.000) Geomorfología Descripción breve de clima (desértico marginal bajo), precipitaciones (lluvias mediterráneas de carácter ciclónico), temperaturas (influencia marítima), presiones (anticiclón del Pacífico), vientos (mayores desde S, SO), vegetación (xeromórfica), relieve (curva hipsográfica) y red de drenaje. Hidrología Estimaciones gruesas respecto a precipitaciones, evaporación (ábaco Meyer en base a T°, Pp, vegetación, hoya), escurrimiento superficial (formula de Becerril en base a Pp) para determinar infiltración (Inf = Caído - Geología Descripción de estratigrafía (3 pozos) para indicar capacidad aportante de estratos. Destaca depósitos pleistocenos y recientes (sin arcilla, $K=10^{-4}$m/s) Determinación de tramisibilidad y conductividad en base a pruebas de bombeo sin pozo observación Identificación de pozos tipos según zona, para futuros sondajes Estimaciones gruesas para caudal pasante (en base a T, ancho, gradiente), volumen almacenado (en base a espesor, anch, largo, coef. almacenamiento), recarga y descarga (en base a derechos, 50% de la mina El Calidad del agua en base a 5 pozos refleja agua muy dura y aumento de SDT hacia la costa. Parámetros mencionados: SDT, Ca, Mg, Na, K, HCO3, SO4, Cl, NO3, SiO2, Dureza Total, Dureza No Cálcica, pH Recomendaciones Implementar estaciones pluviométricas, fluviométricas e hidrometereológicas en la Q. Los Choros Realizar catastro de existencia y usos de agua Realizar prospección geológica e hidrogeológica más detallada (estratigrafía, geofísica, pruebas de Otorgar derechos de agua para uso potable y minero, según disponibilidad reconocida por informe
Falencias	No se precisa ubicación exacta de sondajes

SECTOR ACUÍFERO **REGIÓN**	Los Choros IV Región de Coquimbo
Titulo	**Modelo de simulación Quebrada Los Choros: evaluación de los recursos hídricos en la Quebrada Los Choros, IV Región Coquimbo. S.I.T. Nº 96. Santiago, Chile.**
Fecha	Septiembre 2004
Autor	Departamento de Estudios y Planificación
Mandante	Dirección General de Aguas (Ministerio de Obras Públicas)
Fuente	DGA Central (DGA linea, impreso-digital)
Contexto	Evaluación del recurso hídrico subterráneo en la Cuenca Quebrada Los Choros para solicitud de derechos de
Resumen general	Refinamiento del modelo hidrológico planteado hasta el momento y evaluación de escenarios de explotación
Contenidos relevantes	Antecedentes Hidrología Descripción de pluviometría en base a 3 estaciones en la cuenca (Incahuasi 1966-1970, El Tofo 1919-1970, El Trapiche 1979-2003) y de fluviometría (no hay escurrimientos superficiales permanentes, sólo Geología y Geomorfología Descripción de geomorfología (3 unidades: Qa Qe Tega, clima), geología (3 unidades acuíferos, fallas de Atacama) y geofísica (6 fuentes identifican basamento rocoso) Hidrogeología Estratigrafía a partir de 9 perforaciones y 4 norias mencionadas en informes anteriores Niveles a partir de 17 estaciones de DGA (1976 a 2004) Parámetros elásticos a partir de 37 sondajes de informes anteriores Recarga (poca nieve, acuíferos libres, sólo lluvias) y Descarga (explotación) Explotación A partir de pozos y norias (no hay canales ni embalses), 66L/s para riego (2004) Derechos otorgados hasta 2002 son 1596L/s y solicitados hasta 2003 950L/s adicionales Modelación Análisis crítico de modelo planteado en informe anterior (GCF 2004) Modelo de balance en sectores de la cuenca en base a Caudales, conductividad, coef de almacenamiento, recarga, descarga y explotación, pero sin considerar evapotranspiración en riego. La estimación de recarga en base a modelo MPL de lluvia-escorrentía, ampliando registro de precipitaciones a partir de relacionar estaciones Junta El Carmen (1965 a 2004) con El Trepiche la estimación de infiltración en base a modelo Grenn-Ampt Modelo implementado en Excel en planillas de bien explicadas Análisis de tres escenarios de explotación: i) derechos constituidos hasta 2002, ii) derechos constituidos hasta 2002 más solicitados hasta 2003, y iii) explotación sustentable según criterios (niveles estables, factibilidad de caudales, no afectar derechos otorgados) = 3560L/s Recomendaciones Realizar aforos sistemáticos en la cuenca, Estimaciones de caudales máximos, Confección de modelo más
Falencias	

SECTOR ACUÍFERO	Los Choros
REGIÓN	IV Región de Coquimbo
Titulo	**Informe Técnico No. 170: Declara área de restricción acuífero Quebrada Los Choros: sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común de Choros Altos, Punta Colorada y Tres Cruces. S.D.T. Nº 207. Santiago, Chile.**
Fecha	Junio 2005
Autor	Departamento de Estudios y Planificación (Departamento da Administración de Recursos Hídricos)
Mandante	Dirección General de Aguas - (Ministerio de Obras Públicas)
Fuente	DGA Central (CIRH, impreso)
Contexto	Declaración de área de restricción al acuífero de Quebrada Los Choros
Resumen general	Balance hídrico establecido a partir de antecedentes permite establecer área de restricción a tres sectores de la
Contenidos relevantes	Antecedentes Generalidades de área, ubicación, precipitación anual y escurrimientos superficiales (escasos) Referencia a dos informes anteriores (SIT 96 y SDT 195) Identificar 3 de los 5 sectores (según criterios hidrológicos e interconectados) susceptibles de restricción Análisis técnicos Establece balance comparando demanda vigente y derechos factibles de explotar Demanda vigente hasta 6 junio 2005 según derechos solicitados (3,18m3/s) Oferta factible (2,86m3/s) según criterios sustentables (niveles estabilizados sobre 65% espesor promedio; bombeos factibles, sin perjuicios a terceros) Existencia riesgo de descenso generalizado por lo que corresponde definir área de restricción Conclusiones Se declara área de restricción en 3 sectores (Choros Altos, Punta Colorada y Tres Cruces) Se otorga derechos provisionales por 25% de los definitivos
Falencias	

SECTOR ACUÍFERO	Los Choros
REGIÓN	IV Región de Coquimbo
Titulo	**Informe Técnico. Determinación de la disponibilidad de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en la quebrada Los Choros IV Región. S.D.T. Nº 195. Santiago, Chile.**
Fecha	Marzo 2005
Autor	Departamento de Administración de Recursos Hídricos
Mandante	Dirección General de Aguas (Ministerio de Obras Públicas)
Fuente	DGA Central (DGA linea, impreso-digital)
Contexto	Evaluación del recurso hídrico subterráneo en la Cuenca Quebrada Los Choros para solicitud de derechos de
Resumen general	Balance hídrico establecido a partir de antecedentes permite establecer disponibilidad de derechos en la cuenca
Contenidos relevantes	Introducción Descripción general de área, ubicación y sectores Referencia a informe anterior SDT 184 (5 sectores y opciones de otorgar derechos) Metodología Comparación entre demanda vigente actualizada y el caudal máximo sustentable Caudal máximo sustentable de 3,56m3/s en base a 3 criterios (bombeos factibles, niveles estabilizados en el tiempo y mayores a límite inferior, no afectar derechos ya constituidos) en cada uno de los sectores Demanda vigente de 2,87m3/s considerando rebaja de caudales otorgados por infactibilidad, en cada uno Conclusiones Déficit en 3 sectores limitando otorgar derechos (Choros Altos hasta 30 Jun 2004, Punta Colorada hasta 31 Dic 2004, Tres Cruces hasta 31 Jul 2004) Disponibilidad en 2 sectores permitiendo otorgar derechos (Playa Los Choros hasta 31 Dic 2004, Choros
Falencias	Faltan los Anexos

SECTOR ACUÍFERO	Los Choros
REGIÓN	IV Región de Coquimbo
Titulo	**Modelación hidrogeológica en quebrada Los Choros: comuna La Higuera, IV Región Coquimbo. S.I.T. Nº 106. Santiago, Chile.**
Fecha	Febrero 2005
Autor	Departamento de Estudios y Planificación Departamento de Ingeniería Civil (Facultad de Ingeniería - Universidad de Concepción)
Mandante	Dirección General de Aguas (Ministerio de Obras Públicas)
Fuente	DGA Central (CIRH, impreso)
Contexto	Mejorar gestión de recursos hídricos en cuenca Quebrada Los Choros
Resumen general	Desarrollo de modelo numérico como herramienta de gestión
Contenidos relevantes	Fundamentos teóricos Conceptos generales respecto a ciclo hidrológico, flujo de agua subterránea, tipo de acuífero, captaciones, pruebas de bombeo, ecuaciones de flujo en pozos Conceptos generales de modelación de flujos en agua subterránea (definiciones, modelo conceptual, calibración, validación, sensibilidad) con modelo Visual Modflow Recopilación de Antecedentes Descripción general respecto a hidrología, geología, geomorfología, fitogeografia Precipitaciones con registro en 4 estaciones, El Trepiche única vigente DGA, resto particulares no vigentes) Evapotranspiración estimada por metodología de FAO (registro 1979-1996 en El Trepiche) y asumiendo Escurrimiento superficiales sólo por vertientes (2 aforos particulares puntual en el tiempo) Recarga estimada en base a modelo de lluvia-escorrentía (MQD) y escorrentía-flujos superficiales (MOS) por sectores. Estimación de parámetros (textura de sondaje en Putaendo) Descripciones geomorfología y geología (depósitos, rocas, formaciones, estructuras) 2004; 41 sondajes geoeléctricos con ubicación; 3 sondajes gravimétricos; 15 sondajes TEM con ubicación; 9 sondajes eléctricos verticales de Sernageomin) Estratigrafía a partir de 33 puntos (pozos y norias) de la DGA con ubicación Trasmisividad a partir de 24 pruebas de bombeo (gráficos descenso vs tiempo) y 18 estimaciones de otros Coeficiente de almacenamiento en base a otros estudios Niveles a partir de 18 estaciones de la DGA con registros desde 1976 a 2002 estructural de pozos, red de distribución Modelo Conceptual Recargas: lluvia, aporte desde río, aporte desde agua potable, aporte desde riego Descargas: bombeos, evapotranspiración, al mar Flujo: flujo subterránea entre subcuencas Almacenamiento subterráneo Construcción del modelo Definición de límites, discretización temporal (22 años mensual), discretización espacial (46000 celdas, 1 estrato, 200x200), recarga, descarga, condiciones iniciales y de borde Calibración del modelo Calibración de conductividad, coef. de almacenamiento y de recarga. RMS 3.54m y NRMS 1.1% Simulación de balance por sectores entre 1979 y 2000. Descargas > Recargas. Sensibilidad del modelo Variación porcentual de conductividad (mayor efecto en flujos al mar) y almacenamiento (mayor efecto en
Falencias	

SECTOR ACUÍFERO	Los Choros
REGIÓN	IV Región de Coquimbo
Titulo	**Estudio de intrusión salina en acuíferos costeros: sector costa Quebrada Los Choros, IV Región. S.I.T. 109. Santiago, Chile.**
Fecha	Diciembre 2005
Autor	Universidad de Chile (Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas - Departamento Ingeniería Civil)
Mandante	Dirección General de Aguas (Ministerio de Obras Públicas)
Fuente	DGA Central (CIRH, digital)
Contexto	Frente al uso del recurso hídrico subterráneo en Quebrada Los Choros se hace necesario el estudio.
Resumen general	Frente a la información en estudio se procede a declarar zona de protección el sector acuífero en estudio.
Contenidos relevantes	Introducción Describe la importancia de realizar el estudio de intrusión salina dado el uso del recurso hídrico en la zona. Entrega elementos teóricos y revisión bibliográfica sobre intrusión salina de distintos autores y congresos. Metodología Se realizan campañas de muestreos químicos en distintos pozos de captación en el sector costero de Se proceden a comparar los resultados de los muestreos en laboratorio con los valores de Conductividad eléctrica y SST que pueden demostrar existencia de intrusión salina. Conclusiones Mediante la revisión de las captaciones en la zona en estudio, se ha podido constatar la existencia de un aumento lento, pero sostenido de las construcciones principalmente en el sector del Llano Los Choros. Como consecuencia de la declaración de área de restricción se procede a cambio en la modalidad de entrega de derechos de aprovechamiento de agua subterránea mediante los denominados Derechos La evaluación de la situación actual de los recursos hídricos subterráneos en relación a la normativa vigente para usos de agua potable y riego, permite concluir que una gran porción de la zona costera del acuífero de Quebrada Los Choros presenta limitaciones para dichos usos.
Falencias	

SECTOR ACUÍFERO	Los Choros
REGIÓN	IV Región
Titulo	**Análisis y Evaluación de acuiferos de las cuencas de Los ríos Choros y Huatulame.**
Fecha	Febrero 2006
Autor	Ayala y Cabrera y Asociados Ltda. Ingenieros Consultores.
Mandante	Dirección General de Aguas (Ministerio de Obras Públicas)
Fuente	DGA Central (CIRH)
Contexto	La DGA solicita antecedentes hidrogeologicos que permitan complementar el trabajo de evaluacion de aguas
Resumen general	Realiza una modelación, validacion y calibracion del sistema acuifero de Los Choros y Huatulame mediante
Contenidos relevantes	Introducción Se busca estableces las características y volumen del acuífero, evaluar la recarga al sistema, conocer los parámetros elásticos y estimar los caudales de explotación sustentable. El estudio incluye el área que corresponde a la zona de l relleno sedimentario del sector costero de la Quebrada Los Choros y fue desarrollado con el objetivo de cuantificar la disponibilidad hídrica subterránea Metodología Se recopilan todos los antecedentes basicos para realizar la modelacion hidrogeologica: antecedentes pluviometricos y fluviometricos, caracterizacion geologica, perfiles obtenidos mediantes metodos geofisicos, antecedentes de captaciones y derechos solicitados de aprovechamiento de recurso hidrico. Se separan las zonas de estudio en diferentes areas y se definen los parametros de entrada y condiciones Se realiza modelo de flujo y de transporte, analizando el posible escenario de intrusion salina en el sector de Conclusiones Se definieron tres escenarios principales, con una total de extraccion de 217 lt/s, 181 lt/s y 160 lt/s. El primer escenario acusa un posible caso de intrusion salina, por lo que en los casos dos y tres, se procedieron a eliminar progresivamente los pozos mas cercanos a la costa, con lo que se obtuvieron menores riesgos de
Falencias	Faltan Datos obtenidos en campaña de terreno: Nº de pozos muestreados, ubicación, Cond. Eléctrica

1.5.7 Sector acuífero La Ligua

SECTOR ACUIFERO	La Ligua
REGIÓN	V Región de Valparaíso
Titulo	**Evaluación de los recursos hídricos, cuenca del Río Ligua, V Reg. Tomo I y II. S.I.T. Nº 80.**
Fecha	Mayo 2002.
Autor	Departamento de Estudios y Planificación.
Mandante	Dirección General de Aguas (Ministerio de Obras Públicas)
Fuente	DGA Central (CIRH, impreso-digital)
Contexto	Evaluación del Modelo MOS para el Acuífero del Río Ligua
Resumen general	Se realiza la revisión y recalibración del Modelo MOS (IPLA Ltda - AC Consultores)
Contenidos relevantes	Introducción Se explica la necesidad de realizar una revisión del Modelo MOS-Ligua, que la DGA utiliza para la evaluación de los recursos de la cuenca del Río Ligua. Metodología Se realiza una recalibracion de los parámetros del modelo (Coeficiente de almacenamiento, conductividad, volumen almacenamiento, Grad. Entrada y Grad. Salida. El modelo se calibra para el periodo analizado 1950-1998. Se divide en 13 zonas acuíferos y se definen dos escenarios: uno histórico y otro futuro, que tienen 1998 Conclusiones Se decide declarar Área de Restricción el sector acuífero solicitado, debido la disminución sostenida en el La contraparte que se opone a la declaración de Área de Restricción no presenta un estudio de niveles y concluye sin revisión de estadísticas. La declaración del Área de Restricción tiene como consecuencia la modalidad de otorgara Derechos
Falencias	

SECTOR ACUIFERO	La Ligua
REGIÓN	V Región de Valparaíso
Titulo	**Informe Técnico Nº 84: Área de Restricción para un sector del acuífero del Valle del río La Ligua.**
Fecha	Abril 2004
Autor	Departamento de Administración de Recursos Hídricos
Mandante	Dirección General de Aguas (Ministerio de Obras Públicas)
Fuente	DGA Central (CIRH, impreso-digital)
Contexto	Solicitud de Área de Restricción del sector acuífero Río La Ligua.
Resumen general	Solicitud presentada por Agrícola Los Corrales Ltda. Se presenta una oposición a la propuesta de solicitud por
Contenidos relevantes	Introducción Se presenta solicitud de declaración de área de restricción. En segundo lugar se presenta una oposición a la solicitud de declarar área de restricción. Metodología Se evalúan los antecedentes presentados por ambas entidades. En base a los argumentos y fundamentos de cada entidad se llega a una conclusión. Conclusiones Se decide declarar Área de Restricción el sector acuífero solicitado, debido la disminución sostenida en el La contraparte que se opone a la declaración de Área de Restricción no presenta un estudio de niveles y concluye sin revisión de estadísticas. La declaración del Área de Restricción tiene como consecuencia la modalidad de otorgara Derechos
Falencias	Faltan Anexos. La mayoría de la información se presenta en forma de figuras (gráficos y mapas).

SECTOR ACUÍFERO	La Ligua
REGIÓN	V Región de Valparaíso
Titulo	**Análisis y evaluación de los recursos hídricos de las cuencas de los ríos Petorca y Ligua. Informe Final.**
Fecha	Septiembre 1998
Autor	IPLA Ltda. - AC Ingenieros Consultores Ltda.
Mandante	Departamento de Estudios y Planificación (Dirección General de Aguas - Ministerio de Obras Públicas)
Fuente	DGA Central (CIRH, papel)
Contexto	evaluación de la disponibilidad de recursos hídricos en cuencas de Petorca y La Ligua
Resumen general	Realiza revisión completa de antecedentes para establecer balance hídricos, superficiales y subterráneos,
Contenidos relevantes	Antecedentes Revisión de 7 estudios (1968, 1982, 1987, 1993(2), 1995 , 1996) Oferta de recursos Geología y geomorfología: descripción clima, vegetación, relieve, red de drenaje, rocas, formaciones (5) Hidrología superficial: registro pluviométrico en 22 estaciones (rellenadas y corregidas) desde '50 a '94. registro fluviométrico en cabeceras de ríos Ligua y Petorca entre '50 y '94. otros registros fluviométricos Hidrogeología: basado en catastro (457 norias y 159 sondajes) y antecedentes, se reconoce dosacuiferos (libre y confinado), espesor, tipo relleno, trasmibilidad (100 a 2000m2/dia), coef.almacenamiento (8% a 15%) y rendimiento específico (0,5 a 8L/s/m). Perfiles geológicos y gravimétricos Derechos de agua Registro derechos de aguas superficiales en base antecedentes, DGA y nuevas visitas a terreno Registro derechos de aguas subterráneas en base a DGA y ESVAL a junio 1996 (3196L/s, 571L/s y 689L/s constituidos, penientes y por regularizar) Calidad de aguas Análisis de calidad a lo largo de ríos Ligua y Petorca. Parámetros mencionados: C.E., Cl, HCO3, CO3, SO4, Na, K, Ca, Mg, Fe (sobre norma riego), NO3, B Análisis de calidad de acuifero (16 análisis=6 temporales y 10 puntuales). Parámetros mencionados: C.E. (200 a 900uS/cm), Cl, HCO3, CO3, SO4, Na, K, Ca, Mg, Fe (sobre norma), NO3 (<17,4mg/L), B, Mn (sobre Uso actual de recursos Determinación de situación inicial ('76) y actual ('95) para cultivos (Kc, evapotranspiracion, eficiencias, Usos en riego y minería los recursos superficiales Usos en riego y agua potable (100L/s '94 Esval))los recursos subterráneos Balance hídrico Balance hídrico superficial (red de nodos, tramos río, embalse, sectores riego) que genera matriz de 20 Balance hídrico subterráneo (cada sector acoplado con superficial) que sólo cuantificac valor y variacion de almacenamiento y no de niveles directamente. Poca inercia Modelación plantea recomendaciones para la implementación de modelos para flujo superficial y subterráneo Anexos Registros de Precipitaciones, Caudales, Calidad de agua, demanda de riego. Mapas de ubiación, isofreáticas, perfiles estratigráficos (5), y perfiels gravimétricos (13)
Falencias	

SECTOR ACUÍFERO	La Ligua
REGIÓN	V Region de Valparaíso
Titulo	**Evaluación de los recursos hídricos superficiales de las cuencas de los ríos Petorca y La Ligua, V Región.**
Fecha	Abril 2006
Autor	Departamento de Administración de Recursos Hídricos
Mandante	Dirección General de Aguas (Ministerio de Obras Públicas)
Fuente	DGA Central (CIRH, digital)
Contexto	
Resumen general	
Contenidos relevantes	No entrega informacion relevante
Falencias	

1.5.8 Sector acuífero Aconcagua

SECTOR ACUÍFERO **REGIÓN**	Río Aconcagua V Región de Valparaíso
Titulo	**Evaluación de los recursos subterráneos de la cuenca del Río Aconcagua. S.D.T. Nº 141. Santiago, Chile.**
Fecha	Noviembre 2002
Autor	Departamento de Administración de Recursos Hídricos
Mandante	Dirección General de Aguas (Ministerio de Obras Públicas)
Fuente	DGA Central (DGA linea, impreso-digital)
Contexto	Factibilidad de constituir nuevos derechos en el Valle de Aconcagua
Resumen general	Se pueden constituir nuevos derechos luego de simulación de varios escenarios con modelos de la cuenca usados
Contenidos relevantes	Introducción Referencia a informes anteriores (SDT 101 y SDT 132) en los que se analizó la disponibilidad de caudales de explotación con el uso de modelos hidrogeológicos y MOS Actual informe actualiza la información de dichos modelos hasta 31 marzo 2002 Metodología En los modelos MOS e hidrogeológicos implementados en la cuenca se incrementan los caudales de bombeo desde el escenario base actual (2000) Modelación Generación de 7 escenarios en que se considera: i) situación actual y futura del riego (mayor área, más efectiva, menos recarga); ii) escenarios de explotación y combinación entre sectores o modelos Incorpora interacción entre sistema superficial y subterránea Resultados En base a los 5 escenarios simulados es posible incrementar los caudales disponibles de ser explotados Demanda de aprovechamiento Detalle de demandas por sector, considerando factores de uso reales (Demanda) Conclusiones Resulta factible constituir nuevos derechos de aprovechamiento de agua de carácter permanente en Solicitudes hasta 31 marzo 2002, excepto en Aconcagua-desembocadura (31 Oct 1997) y Catemu (31 Dic
Falencias	Faltan Anexos y mayor descripción de derechos y modelos.

SECTOR ACUÍFERO	Río Aconcagua
REGIÓN	V Región de Valparaíso
Titulo	**Evaluación de los recursos hídricos subterráneos del valle del río Aconcagua escenario incremental sectores Quillota y Nogales. S.D.T. Nº208. Santiago, Chile.**
Fecha	Octubre 2005
Autor	Departamento de Estudios y Planificación
Mandante	Dirección General de Aguas (Ministerio de Obras Públicas)
Fuente	DGA Central (CIRH, impreso)
Contexto	Evaluar disponibilidad de recursos hídricos en sección 3 del Valle de Aconcagua
Resumen general	Simulación con modelos en el valle del Aconcagua reflejan imposibilidad de aumentar explotación en 30% en la
Contenidos relevantes	Introducción A partir de Informe SDT 132 y los modelos implementados se plantea aumentar 30% la explotación en Metodología Modelos se actualizan según catastro al 31 Dic 2004 Incrementación de caudales en modelos MOS y Modflow 50 años desde 1990, incluyendo dos períodos de sequía Considera factores de uso reales Análisis de los resultados en 25 pozos de observación Desarrollo Aumento desde 3815L/s (2489L/s aprob. y 1326L/suspendidas)+30%=4960L/s en MOS y Modflow Resultados Balances en cada uno de las secciones Niveles modelados y observados en 25 pozos, y descensos Afecciones del río (cantidad neta que pasa desde acuífero al río) Análisis de resultados Afecciones superan 12% Algunas celdas del modelo Modflow se secaron, provocando aumento de nivel al inactivar bombeos Conclusiones El acuífero no presenta un solo comportamiento, se observan descensos que van desde 5 m hasta 20 m en Respuesta heterogénea Se observa una importante interacción río acuífero en este sector del Valle del Aconcagua. En ocasiones el aporte del acuífero al Río supera el 50%. Escenario modelado no resulta sustentable a largo plazo, excepto entre La Calera y Las Vegas
Falencias	Faltan Anexos de niveles de acuíferos.

SECTOR ACUÍFERO	Río Aconcagua
REGIÓN	V Región de Valparaíso
Titulo	**Evaluación de los recursos subterráneos de la cuenca del río Aconcagua. Informe de actualización al 15 de septiembre de 2004. S.D.T. Nº182. Santiago, Chile.**
Fecha	Septiembre 2004
Autor	Departamento de Administración de Recursos Hídricos (Departamento de Administración de Recursos Hídricos V
Mandante	Dirección General de Aguas (Ministerio de Obras Públicas)
Fuente	DGA Central (CIRH, digital)
Contexto	Factibilidad de constituir nuevos derechos en el Valle de Aconcagua
Resumen general	Existe factibilidad de constituir nuevos derechos luego de simulación de varios escenarios con modelos de la
Contenidos relevantes	Introducción Informe SDT 101 definió 10 sectores en la cuenca del valle de Aconcagua Incorporar al análisis las solicitudes hasta 15 Sep 2004 La situación ase de simulación es el escenario 5 definida en Informe SDT 132 Antecedentes Informes SDT 101, SDT 132, SDT 141 han constituidos derechos sobre la cuenca Desarrollo (Oferta) estimación de caudales de explotación sustentable (Demanda) derechos solicitados hasta 15 Sep 2004 Balance entre oferta y demanda Conclusiones Se otorga nuevos derechos para cada sector, pero con fecha anterior o igual a 15 de Sep 2004
Falencias	

SECTOR ACUÍFERO	Río Aconcagua
REGIÓN	V Región de Valparaíso
Titulo	**Informe Técnico. Evaluación de los recursos subterráneos de la cuenca del río Aconcagua. S.D.T. Nº 101.**
Fecha	Julio 2001
Autor	Departamento de Estudios y Planificación (Departamento de Administración de Recursos Hídricos)
Mandante	Dirección General de Aguas (Ministerio de Obras Públicas)
Fuente	DGA Central (CIRH, digital)
Contexto	Evaluar disponibilidad de recursos hídricos en la cuenca del río Aconcagua
Resumen general	
Contenidos relevantes	Introducción Descripción general de la zona (ubicación, extensión, hidrología, usos de agua) Se consideran solicitudes de aprovechamiento de aguas hasta 31 Dic 2000 Caracterización hidrogeológica Descripción geológica general Sectorización de la cuenca en 10 sectores Descripción de cuatro unidades hidrogeológicas de la cuenca (textura, granulometría, espesor) y de los 10 sectores (20 perfiles longitudinales, transversales y de basamento) Modelación Combinación de dos modelos: MOS (Modelo de Operación del Sistema) para flujo superficiales, subterráneos, embalses pero que no entrega niveles. MODFLOW para flujos subterráneos pero que En modelo MOS se constituyen una red del sistema (20 sectores de riego, 14 cuencas de entrada, 10 acuíferos, 8 embalses, 38 nodos) en el que se establecen correlaciones entre los elementos Se describe el funcionamiento del modelo MOS (archivos, nombres, entradas) En modelo MODFLOW se establecen 5 submodelos, interconenectados, de 2 a 5 estratos, con valores de conductividad y almacenamiento de acuerdo a estudios anteriores y calibración. Se incorporan todas las Se lleva a cabo una recalibración de parámetros (conductancias, porosidad) del conjunto MOS-MODFLOW Resultados Para cada modelo y sector se presenta componentes de flujo y flujos Derechos Oferta: A partir de modelos ajustado por factores de uso reales (catastro) Demanda: Solicitudes al 31 Dic 2000 Balance positivo permite asignar casi todos los derechos solicitados hasta 31 Dic 2000, excepto en sector Se otorgan derechos provisionales por 25% de lo solicitado
Falencias	No se dispone de los Anexos

SECTOR ACUÍFERO	Río Aconcagua
REGIÓN	V Región de Valparaíso
Titulo	**Análisis crítico de la red de medición de niveles de agua subterránea: región V Santiago, Chile**
Fecha	1987
Autor	Álamos y Peralta Ingenieros Consultores.
Mandante	Departamento de Hidrología (Dirección General de Aguas - Ministerio de Obras Públicas)
Fuente	DGA Cenral (CIRH)
Contexto	
Resumen general	
Contenidos relevantes	No disponible para revisión
Falencias	

SECTOR ACUÍFERO	Río Aconcagua
REGIÓN	V Región de Valparaíso
Titulo	**Estudio a nivel de diagnóstico del proyecto Aconcagua: V región. Santiago, Chile.**
Fecha	1995
Autor	EDIC Ingenieros Ltda.
Mandante	Comisión Nacional de Riego (Dirección de Riego)
Fuente	DGA Cenral (CIRH, papel)
Contexto	
Resumen general	
Contenidos relevantes	No entrega información relevante
Falencias	

1.5.9 Sector acuífero Mapocho Alto

SECTOR ACUÍFERO **REGIÓN**	Mapocho Alto XIII Región Metropolitana
Titulo	**Informe Técnico Nº 236. Área de restricción para el sector acuífero denominado Mapocho Alto.**
Fecha	Julio 2004
Autor	Departamento de Administración de Recursos Hídricos
Mandante	Dirección General de Aguas (Ministerio de Obras Públicas)
Fuente	DGA Central (CIRH, impreso)
Contexto	Solicitud de área de restricción para sector acuífero Mapocho Alto por parte de usuario
Resumen general	Declaración de área de restricción de sector acuífero Mapocho Alto en vista de evidencia de informes anteriores
Contenidos relevantes	Antecedentes Usuario solicita declarar área de restricción al sector acuífero por evidente riesgo de grave disminución de niveles, afectando los derechos permanentes ya constituidos (4500L/s) Análisis técnico Polígono solicitado dentro de sector acuífero definido en Informe SDT133 que define tres subsectores Derechos permanentes constituidos en tres subsectores (Las Gualtatas 447L/s hasta Junio 2004, Lo Barnechea 1635L/s hasta 1 Feb 1994, Vitacura 2096L/s hasta 1 Dic 1993) suman 4178L/s Niveles en dos estaciones DGA (Manizales 1980 y Curamavida 729) muestran descenso sostenido desde Demanda vigente (1 Mar 2004) solicitada suma 5497 (Las Gualtatas 786L/s, Lo Barnechea 2253L/s, Balance hídrico revela que no pueden asignarse nuevos derechos permanentes sin afectar productividad Conclusiones Declaración de área de restricción a la luz de antecedentes Se otorgan derechos provisionales del 25% de los derechos permanentes ya constituidos (Las Gualtatas 112L/s, Lo Barnechea 409L/s, Vitacura 524L/s)
Falencias	

SECTOR ACUÍFERO	Mapocho Alto
REGIÓN	XIII Región Metropolitana
Titulo	**Recarga artificial de acuíferos en el sector alto de la cuenca del río Mapocho / Walter Wilmans, Carlos Espinoza, Leonel Barra. Santiago.**
Fecha	Octubre 2001
Autor	Walter Wilmans - Carlos Espinoza - Leonel Barra
Mandante	-
Fuente	DGA Central (CIRH, impreso)
Contexto	Análisis de efectos de recarga artificial de acuíferos en el sector alto de la cuenca del río Mapocho
Resumen general	Descripción general de la estrategia de recarga artificial de acuíferos. Modelación del sistema y simulación de escenarios para evaluar efectos beneficiosos de la recarga artificial
Contenidos relevantes	Introducción Identificación de necesidad de asegurar abastecimiento de agua debido a escasez de agua, estimaciones de crecimiento de demanda y posibilidades de sequías Descripción general de sistema acuífero Mapocho Alto Ventajas y desventajas generales de uso de recarga artificial Factores relevantes Consideraciones del tipo geológico (materiales, niveles, profundidad roca, permeabilidad, almacenamiento, Consideraciones respecto de la ubicación (disponibilidad de agua, disponibilidad de terreno y/o pozos, demanda creciente, densidad de población Consideraciones de diseño respecto a criterios físicos, disponibilidad de agua, calidad de agua, reglamentación estatal y aspectos económicos Consideraciones respecto a tipo de recarga, colmatación, calidad del agua y pretratamiento Zona de estudio Descripción general de la zona (precipitación, área, clima, T°, ubicación, geología) Descripción de hidrología, recargas y descargas Determinación de Caudales eventuales de inyección según probabilidad de excedencia Modelación hidrogeológico (V. Modflow, 100x100, 14400celdas, 1 capa, 48años, mensual) con parámetros de informe de DICTUC (K, S, n, niveles, pozos) Modelo superficial ARIMA (estocástico) para caudales Resultados Simulación de escenario de explotación sin recarga es óptima al 59,6% Simulación de escenarios con recarga artificial, en general aumenta 17,7m la napa y mejora en 13% el Simulaciones con trazadores entregan tiempo de retención de 70 a 100años
Falencias	No entrega detalles de los pozos considerados y química observada

1.5.10 Sector acuífero Maipo

SECTOR ACUÍFERO	Maipo (Área de Restricción)
REGIÓN	XIII Región Metropolitana
Titulo	**Caracterización de la contaminación del acuífero del Gran Santiago. Aplicaciones de técnicas isotópicas y convencionales. Santiago, Chile.**
Fecha	Octubre 1993
Autor	Ángel Silva P. - Alberto Merino G.
Mandante	-
Fuente	DGA Central (CIRH, impreso)
Contexto	Constitución de red básica de calidad de aguas subterráneas nacional
Resumen general	Presentación en congreso de avance de proyecto de caracterización de contaminación en acuífero del Gran
Contenidos relevantes	Introducción Informe constituye primer trabajo integral ambiental en Chile Descripción del uso intensivo del agua subterránea (1800 pozos) para distintos usos (agua potable, regadío, recreación, estética, industrial, otros) Objetivo Favorecer a establecer red básica de calidad de agua subterránea para control de la contaminación (identificación procesos incidentes, diagnóstico actual, priorización de problemas) Área de estudio Descripción general de la ubicación, extensión (15000km2), precipitaciones (80% en invierno) de la zona de estudio (Acuífero del gran Santiago) Geología Descripción de unidades fisiográficas (C Costa, D. Intermedia, C Los Andes) Identificación del tipo de acuífero (libre) Agua subterránea Profundidad de pozos entre 30m y 110m, con promedio 70m Niveles estacionales o anuales (Lampa 2m, Colina 60m, Las Condes 20 a 40m, Talagante <10m 80% de extracción desde pozos profundos (44% riego, 21% agua potable, 19% industria) Uso de suelos 85% no apto para agrícola, 12% apto para agrícola, 3% urbano Caracterización ambiental Establece condiciones de riesgo de un acuífero (existencia contaminantes., característica contaminante., Identificación general de problemas (fuentes, receptor, impacto al uso) y clasificación de las fuentes (locales y difusas) y del receptor (procesos de retardo, dilución, transformación) Uso de Aguas servidas en el riego Calidad Parámetros mencionados: carbonato, bicarbonato, Cl, SO4, Ca, Mg, K, Na, Cu, fe, nitrato, nitrito, OD, pH, Tº, C.Elec., d^2H, $d^{18}O$. Entrega rangos de valores de algunos parámetros (Tº, pH, C. Elec., SO4, nitratos, carbonatos, Cl, Mg)
Falencias	No presenta figuras ni tablas en la versión impresa No hay versión digital Constituye una publicación para Congreso, por lo que no tiene mucho detalle y es versión preliminar Fotocopia en papel omitió últimas líneas de cada hoja

SECTOR ACUÍFERO	Río Maipo
REGIÓN	XIII Región Metropolitana
Titulo	**Informe Técnico Nº 166. Declaración área de restricción sector hidrogeológicos de aprovechamiento común en parte de la cuenca del Maipo. Santiago.**
Fecha	Junio 2005
Autor	Departamento de Administración de Recursos Hídricos
Mandante	Dirección General de Aguas (Ministerio de Obras Públicas)
Fuente	DGA Central (CIRH, digital)
Contexto	Este estudio se realiza frente al descenso mantenido del nivel freático en una zona del sector acuífero Maipo-
Resumen general	Frente a la información en estudio se procede a declarar zona de protección el sector acuífero en estudio.
Contenidos relevantes	Introducción Se presentan los antecedentes de derechos constituidos y comprometidas hasta 31/12/2004 Se presentan extractos del código de aguas que da a la DGA las atribuciones para declara un área de Metodología En base al estudio "Determinación de la Disponibilidad de Derechos de Aprovechamiento de Aguas Subterráneas en la Cuenca del Río Maipo hasta la Confluencia con el Estero Puangue" se definieron los Se realiza un análisis temporal del descenso sostenido de los pozos que están dentro del área delimitada. Conclusiones En base a los antecedentes analizados la DGA Central decide declarar área de restricción la delimitada por Como consecuencia de la declaración de área de restricción se procede a cambio en la modalidad de entrega de derechos de aprovechamiento de agua subterránea mediante los denominados Derechos
Falencias	

SECTOR ACUÍFERO	Río Maipo
REGIÓN	XIII Región Metropolitana
Titulo	**Bases para la Formulacion de un Plan Director para la Cuenca del Maipo Etapa I.**
Fecha	Marzo 2007
Autor	CONIC BF Consultores Ltda.
Mandante	Dirección General de Aguas (Ministerio de Obras Públicas)
Fuente	DGA Central (CIRH, digital)
Contexto	Se recopila toda la informacion disponible para generar un Plan Director en la Cuenca del Maipo.
Resumen general	A traves de un analisis integral del recurso hidrico en la cuenca en cuanto a gestion, administracion y catastro
Contenidos relevantes	Introducción Con el fin de conocer el estado completo de la Cuenca del Maipo se realiza un estudio integro de todos los Se presentan antecedentes publicos, como tambien se procede a generar informacion en forma particular que al quedar registrada en este estudio se califica como pública. Metodología Se analiza la calidad de la informacion pluvio y fluviometrica. Se realizan los rellenos correspondientes y se realiza analisis de consistencia. Se utiliza el modelo Realiza muestreos de 20 pozos, de calidad quimica subterranea, adicional a los estudios de calidad presentados por las estaciones del BNA. Conclusiones Una vez recopilada la informacion se sientan las bases para la Formulacion de un Plan director Quedan en descubierto las falencias y las virtudes de la informacion disponible. Queda a disposicion la informacion recopilada mediante un completo anexo. Realiza conclusiones con respecto a cada capitulo, red de monitoreo, estado de las obras de captacion y proyectos de inversion entre otros.
Falencias	Faltan Anexos impresos. Referencias Bibliograficas.

SECTOR ACUÍFERO	Maipo (Área de Restricción)
REGIÓN	XIII Región Metropolitana
Titulo	**Estudio Hidrológico e Hidrogeológico vol. V.**
Fecha	1984
Autor	IPLA Ingenieros Consultores Ltda.
Mandante	Comision nacional de Riego
Fuente	DGA Central (CIRH)
Contexto	Se desea conocer la situación de la calidad de aguas superficiales y subterráneas para distintos usos.
Resumen general	Se evalúan la calidad de las aguas superficial y subterránea en la Hoya Maipo y se analizan las distintas
Contenidos relevantes	Introducción Se analiza el escenario en que se encuentran las aguas superficiales y subterráneas de la Hoya del Maipo. Frente a este escenario se evalúan mediante distintas normativas y valores predeterminados la calidad según el uso a que se destine cada captación. Metodología Se analizan criterios de clasificación de las aguas , parámetros de diagnósticos y normas. Por separado se analizan las aguas superficiales y las aguas subterráneas, verificando cual de ellas cumple con los requisitos estipulados en las normas vigentes. En cuanto a aguas subterráneas se analiza elementos nocivos: Boro, Cobre y Fierro. Conclusiones Se registran variaciones del sistema al doble o similares. Los aumentos mayores se encuentran en Nota un cambio en pozos, en cuanto a los distintos niveles que acusan un cambio en la calidad. Se deduce como conclusión el riesgo que significa la instalación de basurales en áreas que pueden recargar las napas, como también el transporte y riego con aguas servidas en áreas que recojan esa
Falencias	Faltan

SECTOR ACUÍFERO	Maipo (Área de Restricción)
REGIÓN	XIII Región Metropolitana
Titulo	**Modelo de simulación hidrológico operacional cuencas de los ríos Maipo y Mapocho.**
Fecha	Mayo 2000
Autor	Ayala Cabrera y Asociados Ltda.
Mandante	
Fuente	DGA Central (CIRH, papel)
Contexto	Existe la necesidad de revisar y evaluar la situación de los recursos hídricos de forma integral.
Resumen general	Se desarrolla un completo modelo de simulación Hidrogeológica para la zona de estudio del Maipo-Mapocho
Contenidos relevantes	Introducción Frente al objetivo de evaluar distintas situaciones alternativas , y de contar con un apoyo en la toma de dediciones relacionadas con el aprovechamiento multisectorial de los recursos hídricos, se propone abordar la problemática a través de la modelación integral de los recursos hídricos de la cuenca. Objetivos principales fueron: disponer de una herramienta confiable, flexible y oportuna. Permitir la simulación y evaluación de las diferentes modalidades de operación y uso. Disponer de instrumentos que Metodología Se desarrolla el estudio en varias etapas. Los modelos desarrollados fueron: un modelo de simulación de la operación del sistema, modelos hidrogeológicos (incluidos intrusión salina y modelo de calidad de agua subterránea), modelo de calidad de agua superficial y de pronostico. Se divide en capítulos desde la A-K, en los que se realiza levantamiento de la información pluvial-pluviométrica, demanda, desarrollo del modelo de simulación, modelo de calidad de aguas superficiales y Posee información de cotas del nivel freático, de isoconcentracion distintos elementos. Conclusiones Para la modelación del sistema acuífero Maipo-Mapocho, resulta satisfactoria. La principal recarga que alimenta a los acuiferos del valle de santiago la constituyen las aguas superficiales destinadas a riego (58 m3/s) y en segundo lugar la infiltración desde los cauces (10 m3/s) Con respecto a la modelación de calidad de aguas se puede observar que: las concentraciones de sulfatos en el río maipo presentan una leve tendencia al descenso hacia aguas abajo y se advierten variaciones Las concentraciones de nitratos en el río Maipo no muestran una tendencia definida, ni espacial ni temporal, por lo tanto, se ha establecido un valor intermedio en la concentración de nitratos del agua de riego
Falencias	Faltan

1.5.11 Sector acuífero Maitenlahue

SECTOR ACUÍFERO	Maitenlahue
REGIÓN	V Región de Valparaíso
Titulo	**Informe Técnico Nº 421. Área de restricción sector hidrogeológicos de aprovechamiento común del Yali**
Fecha	Diciembre 2005
Autor	Departamento de Administración de Recursos Hídricos
Mandante	Dirección General de Aguas (Ministerio de Obras Públicas)
Fuente	DGA Central (CIRH, papel-digital)
Contexto	disponibilidad de recursos explotables en sector de aprovechamiento comun de Yali Bajo El Prado
Resumen general	Existen recursos disponibles para explotación (en base a derechos solicitados al 31 Dic 2004 y recarga media anual), pero por proximidad al humedal del Yali procede declarar área de restricción
Contenidos relevantes	Antecedentes Zona de Yali bajo El Prado es adyacente a sector acuífero de Maitenlahue Regimen espluvial con 90% de lluvias entre May y Sep Aporte superficial escaso y ya comprometido, exige uso de recursos subterráneos Proximidad a Humedal del Yali (Reserva Nacional May '96, RAMSAR Dic '96) implica incorporar criterio de Antecedentes técnicos Delimitación de zona a aprtir de informe APR Ingenieria 2001 (Área=041,6km2) Descripción hidrológica breve (red de drenaje natural) Descripción hidrogeológica en base a estudios anteriores. T=1000 a 2000m2/dia; S=0,1. Existen formaciones con buenas condiciones de acuífero, y condiciones levantamiento de basamento y la cuña Pluviometría con 1 estacion (Fundo Las Dos Puertas) con registros desde 1990 (PP media anual=468mm) Recarga media anual = Ppmedia anual x coef. Infilt. (5%) x área aportante = 298L/s. Análisis Demanda vigente al 31 Dic 2004 = 467L/s. Considerando factores de uso según peticionaro = 121,5L/s Balance hídrico positivo Influencia en base a caudal acumulado, trasmisividad, descenso permitido, tiempo a largo plazo y coef. Existe influencia en el humedal por descenso de la napa más de recomendable (30cm) producto de Conclusiones Se declara área de restricción por la influencia negativa en el humedal de El Yali
Falencias	

1.5.12 Sector acuífero Estero Las Cadenas

SECTOR ACUÍFERO	Estero Las Cadenas (Área de Restricción)
REGIÓN	VI Región del L. B. O'Higgins
Titulo	**Evaluación de los recursos hídricos subterráneos de la VI Región "Modelación hidrogeológica de los Valles de Alhué, Cachapoal y Tinguiririca". Informe Técnico S.D.T. Nº 209.**
Fecha	Octubre 2005
Autor	Departamento de Administración y Recursos Hídricos.
Mandante	Dirección General de Aguas (Ministerio de Obras Públicas)
Fuente	DGA Central (DGA linea, digital)
Contexto	Cachapoal, Tinguiririca (Contiene Estero Las Cadenas) y Alhué se realiza una actualización de la demanda
Resumen general	Mediante el uso del software MODFLOW se modelan tres principales acuíferos de la VI Región.
Contenidos relevantes	Introducción Se desea conocer los potenciales descensos en el escenario de los derechos ya otorgados y El modelo MODFLOW se utiliza para llevar a cabo la modelación considerando estratigrafía y pruebas de Metodología Se analiza y rellena la información pluviométrica para obtener las isoyetas medias anuales en la zona de Se definen las zonas acuíferos mediante información hidrogeológica. Se define y separan en tres zonas principales Cachapoal, Tinguiririca (contiene Estero Las Cadenas) y Alhué. Una vez que se posee la información de la demanda de derechos otorgados y comprometidos se obtienen los descensos pronosticados para cada acuífero. Conclusiones Con respecto a la modelación en el sector Las Cadenas Marchigue se concluye: Este sector presenta recarga superficial insuficiente para satisfacer la demanda de agua subterráneas. Los descensos en este sector según la simulación del escenario de la demanda total varían entre 10 m y 20 no existe estabilización de niveles de aguas subterráneas para la simulación del escenario de la demanda
Falencias	Faltan Estratigrafías de los pozos no están en el informe ni en el anexo.

SECTOR ACUÍFERO	Estero Las Cadenas (Área de Restricción)
REGIÓN	VI Región del L. B. O'Higgins
Titulo	**Proyecto construcción de la obra denominada Embalse El Ciruelo**
Fecha	2005
Autor	
Mandante	Sociedad Agrícola, Ganadera y Forestal S.A.
Fuente	DGA Central (CIRH, papel)
Contexto	
Resumen general	
Contenidos relevantes	No entrega información relevante
Falencias	

SECTOR ACUÍFERO **REGIÓN**	Estero Las Cadenas (Área de restricción) VI Región L. Bernardo O'Higgins
Titulo	**Informe Técnico Nº 351. Área de restricción para el sector hidrogeológico o acuífero que afecta a la cuenca del valle de Marchigüe.**
Fecha	Noviembre 2005
Autor	Departamento de Administración de Recursos Hídricos
Mandante	Dirección General de Aguas (Ministerio de Obras Públicas)
Fuente	DGA Central (DGA linea, impreso-digital)
Contexto	Solicitud de área de restricción para sector acuífero Estero Las Cadenas-Marchigüe por parte de dos usuarios
Resumen general	Declaración de área de restricción de sector acuífero Estero Las Cadenas-Marchigüe en vista de evidencia de
Contenidos relevantes	Antecedentes 2 usuario solicitan declarar área de restricción al sector acuífero por evidente riesgo de grave disminución de niveles Análisis técnico Polígono solicitado dentro de sector acuífero definido en Informe SDT209 que define cuatro subsectores, entre ellos Estero Las Cadena-Marchigüe Informe SDT 209 establece 800L/s como caudal neto explotable sustentable Derechos permanentes constituidos en subsector suman 1146,7L/s. Niveles en cuatro estaciones DGA muestran descenso sostenido desde 1990 Demanda vigente (30 Jun 2005) solicitada suma 5305L/s Balance hídrico revela que no pueden asignarse nuevos derechos permanentes sin afectar productividad Aclaración y rechazo a todas las oposiciones Conclusiones Declaración de área de restricción a la luz de antecedentes Se otorgan derechos provisionales del 25% de los derechos permanentes ya constituidos, es decir 958L/s
Falencias	

2 ANTECEDENTES DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE CALIDAD DE ACUÍFEROS

Esta sección presenta los antecedentes usados para elaborar la metodología de clasificación de acuíferos, tanto consultados como aquéllos considerados más relevantes. En primer caso se menciona los documentos consultados, en segundo caso se detalla los casos más relevantes para el proyecto, y por último se realiza un análisis crítico de cada una de ellas.

2.1 Referencias usadas como antecedentes de la metodología

2.1.1 Títulos leídos, resumidos y sistematizados respecto a metodologías de clasificación de acuíferos

Passarella, G and Caputo, MC (2006). A methodology for space-time classification of groundwater quality. *Environmental Monitoring and Assessment*, **115** (1-3), 95-117.

Babiker, IS; Mohamed, MAA and Hiyama, T (2007). Assessing groundwater quality using GIS. Water Resources Management, **21** (4), 699-715.

Stigter, TY; Ribeiro, L and Dill, AMMC (2006). Application of a groundwater quality index as an assessment and communication tool in agro-environmental policies - Two Portuguese case studies. *Journal of Hydrology*, **327** (3-4), 578-591.

Melloul, A and Azmon, B (1997). A graphic expression of salinization and pollution of groundwater - The case of Israel's groundwater. *Environmental Geology*, **30**, (1-2), 126-136.

González, L; Mardones, M; Silva, A y Campos, E (1999) Hidrogeoquímica y comportamiento del agua subterránea en la cuenca del río Claro, Región del Biobío, Chile. *Revista Geológica de Chile,* **26**, (2), 145-157

2.1.2 Títulos leídos y consultados respecto a metodologías de clasificación de acuíferos

Roseta-Palma, C (2002). Groundwater management when water quality is endogenous. *Journal of Environmental Economics and Management*, **44** (1), 93-105.

Nieto, P; Custodio, E and Manzano, M (2005). Baseline groundwater quality: a European approach. *Environmental Science & Policy*, **8** (4), 399-409.

Love, D; Hallbauer, D; Amos, A and Hranova, R (2004). Factor analysis as a tool in groundwater quality management: two southern African case studies. *Physics and Chemistry of the Earth*, **29**, 1135-1143.

Rosenbaum, MS; McMillan, AA; Powell, JH; Cooper, AH; Culshaw, MG and Northmore, KJ (2003). Classification of artificial (man-made) ground. *Engineering Geology*, **69** (3-4), 399-409.

Marsden, MW and Mackay, DW (2001). Water quality in Scotland: the view of the regulator. *Science of the Total Environment*, **265** (1-3), 369-386.

Chadha, DK (1999). A proposed new diagram for geochemical classification of natural waters and interpretation of chemical data. *Hydrogeology Journal*, **7** (5), 431-439.

Hernández-Garcia, ME and Custodio, E (2004) Natural baseline quality of Madrid Tertiary Detrital Aquifer groundwater (Spain): a basis for aquifer management. *Environmental Geology*, **46** (2), 173-188.

Roseta-Palma, C (2003). Joint quantity/quality management of groundwater. *Environmental & Resource Economics*, **26** (1), 89-106.

2.2 Resumen de metodologías evaluadas

La revisión bibliográfica realizada durante el proyecto respecto a metodologías de clasificación de acuíferos en cuanto a su calidad, arrojó resultados de publicaciones y trabajos que hacen referencia más bien a clasificaciones de la calidad de las aguas subterráneas, basándose en cálculos de índices y elaboración mapas de distribución espacial de éstos valores o parámetros evaluados. De este modo un acuífero puede recibir más de una clasificación de calidad, si es que presenta una variabilidad espacial en la calidad de sus aguas.

Se evaluaron cinco metodologías distintas, denominadas de aquí en adelante como: Italia, Japón, Portugal, Israel y clásica. Las cuatro primeras evalúan la calidad de las aguas de un acuífero, todas ellas desde un punto de vista espacial y algunas también analizando la evolución temporal de los parámetros involucrados. La última metodología, clásica, corresponde más bien a la aplicación de las técnicas hidrogeoquímica tradicionales para estudiar la composición y calidad de las aguas de un acuífero dentro de los estudios hidrogeológicos generales.

Las cinco metodologías evaluadas consideran parámetros químicos que normalmente se analizan en los monitoreos clásicos de aguas subterráneas. Las concentraciones de éstos parámetros son comparados con los valores máximos permitidos para aguas potables ya sea utilizando normativas o legislaciones de cada país, o utilizando los valores recomendados por la Organización Mundial de la Salud. En algunos casos se utilizan otros valores de concentración para diferenciar más rangos de clasificación desde “buena” a “mala” para cada parámetro, por ejemplo el Valor o Nivel Guía de la antigua legislación europea 80/778/EEC, o porcentajes de los valores máximos permitidos.

La Tabla 2.1 resume, para las metodologías evaluadas, los parámetros utilizados, los valores de referencia usados, y otras características como índices, espacialidad y temporalidad.

Tabla 2.1. Cuadro comparativo de las características de las metodologías evaluadas.

Metodología	**Italia**	**Japón**	**Portugal**	**Israel**	**Clásica**
Parámetros que considera	fijos	libres	libres	libres	fijos
Parámetros utilizados					
pH					X
Cond. eléctrica	X				X
Temperatura					X
Dureza	X				X
SDT					X
Cl	X	X	X	X	X
SO_4	X	X	X		X
NO_3	X	X	X	X	X
HCO_3					X
Na		X			X
Mg					X
K					X
Ca		X	X		X
Fe	X				
Mn	X				
NH4	X				
Valores de Referencia					
Normativa OMS		X			
Legislación 80/778/EEC	X		X		
Propios				X	X
Trabaja con mapas	X	X	X		X
Trabaja con índices		X	X		X
Trabaja con temporalidad	X	X		X	
Nº de Rangos de calidad	5	9	9	5	
Nº de Rangos de variabilidad temporal	-	3	-	5	
Nº Rangos de Calidad +Temporalidad	5	-	-	9	

Esta tabla muestra que los estudios clásicos de hidrogeoquímica utilizan un mayor número de parámetros para las representaciones gráficas de la composición de las aguas y de seguimiento de la contaminación. Por el contrario las otras cuatro metodologías estudiadas utilizan un

número inferior de parámetros (entre 2 y 9), todos ellos comúnmente analizados en los monitoreos de calidad química de las aguas subterráneas (esencialmente elementos mayoritarios, incluyendo el Nitratos)

Para realizar los cálculos de los índices y mapas, siempre considerando el tipo de acuífero y contaminación que se esté estudiando, la metodología de Italia propone utilizar siempre los mismos parámetros, mientras que las metodologías de Japón, Portugal e Israel permiten la libre elección de parámetros.

Es importante destacar en este sentido, que solamente la metodología de Italia, así como las técnicas clásicas de hidrogeoquímica están pensadas para su aplicación en distintos sectores acuíferos, con distintas realidades y afectaciones, de modo que los resultados pueden ser utilizados para hacer comparaciones entre cuencas. Al contrario, las metodologías de Japón, Portugal e Israel son utilizadas para el estudio de unas áreas en particular, si bien las metodologías propuestas permitirían, eligiendo unos parámetros fijos, su aplicación para el estudio y comparación de contaminaciones entre cuencas distintas.

Las metodologías de Italia, Japón e Israel, realizan una evaluación de la evolución temporal de la calidad de las aguas. Este aspecto se considera fundamental como herramienta de gestión y fiscalización de la calidad química de un acuífero, ya que permite ver si una situación de calidad de un momento dado es producto de una contaminación que está en aumento o detrimento. Es decir si esta contaminación es presente y continúa en un determinado momento, o si las medidas de protección aplicadas a un sector acuífero están surgiendo efecto en la calidad de las aguas, o ver si existe remediación natural del acuífero, etc.

Los rangos de calidad o de evaluación de la variabilidad fluctúan entre 3 y 9 niveles. Sin embargo en el trabajo de Italia se presenta la discusión de que las clasificaciones con un gran número de rangos de calidad resultan en mapas difíciles de evaluar y que un número inferior de rangos puede permitir una mejor visualización de los resultados obtenidos. Es importante destacar en este sentido, que la metodología de Italia en su forma inicial contemplaba 9 clases de calidad de las aguas las cuales fueron reducidas finalmente a sólo 5 rangos.

Todas las metodologías, excepto la de Israel, resultan en mapas finales elaborados mediante una herramienta SIG de representación de los resultados de calidad de las aguas subterráneas. En algunos casos también la gran parte del tratamiento de datos se hace con esta herramienta lo que permite ir generando mapas temáticos de los distintos parámetros o índices calculados durante la aplicación de la metodología, los que pueden ayudar a una mejor gestión e identificación de la contaminación en un acuífero.

2.2.1 Metodología de Italia

Esta metodología ha sido revisada a partir de la publicación "A methodology for space-time classification of groundwater quality" de Passarella and Caputo (2006) donde se presenta un método para la clasificación de calidad de aguas subterráneas basada en las concentraciones de ocho parámetros considerados como los más significativos o representativos de las condiciones de calidad química natural y de sus modificaciones potencialmente inducidas por el hombre en las aguas subterráneas. Este método trabaja considerando las concentraciones máximas permitidas para las aguas de uso potable y con los mapas y herramientas de un Sistema de Información Geográfica. Así, los objetivos de este estudio fueron:

- Elaborar una herramienta capaz de determinar rápidamente la calidad química de las aguas subterráneas, clasificándolas en cinco categorías que representan las condiciones de un momento determinado (condición puntual) del acuífero. Los datos que se utilizan para ello proceden de una sola campaña de terreno y se representan y trabajan en una herramienta SIG.
- Diseñar una segunda herramienta para la metodología, que permita evaluar, mediante tres índices, el comportamiento de la calidad química del acuífero en los últimos años (evolución temporal), trabajando también los datos en un SIG.

La metodología propuesta, en este estudio, se aplicó en la planicie de Módena en el centro de Italia, que cubre un área de 580 km^2. Además esta metodología, y su forma original no modificada y corregida en esta publicación, también ha sido ampliamente aplicada en toda Italia.

Los ocho parámetros considerados por esta metodología como representativos de la calidad química de las aguas y de sus posibles afecciones antrópicas son parámetros habitualmente medidos en los monitoreos de la calidad química de las aguas, y que son de fácil determinación. Estos ocho parámetros son los siguientes, los cuales se clasifican en dos grupos:

- **Grupo 1, Parámetros físicos y químicos**: Dureza, conductividad eléctrica, y concentraciones de sulfatos y de cloruros.
- **Grupo 2, Sustancias indeseadas**: Concentraciones de nitratos, hierro, manganeso y amonio.

Otro parámetro considerado en el análisis de temporalidad de la calidad química de las aguas es la altura piezométrica como indicador del comportamiento hidrodinámico

Los distintos pasos que considera la metodología para la obtención de los mapas de calidad a partir del análisis de estos parámetros son los siguientes:

1) Limpieza y análisis de la base de datos:

Paso 1: Filtrar, organizar y analizar estadísticamente los datos:

Este paso busca eliminar anomalías macroscópicas y describir el comportamiento medio de cada uno de los ocho parámetros.

Para ello, los valores anómalos son ajustados si se reconoce alguna explicación para la anomalía (error en la medida, error en trascripción, medición fuera de escala, etc.) y en caso contrario el valor anómalo permanece en los sets de datos, esperando la fase del análisis espacial (puede deberse probablemente a perturbaciones de pequeña escala).

Paso 2: Implementación de técnicas variográficas para la extrapolación de los datos.

Para evaluar el comportamiento espacial de cada uno de los parámetros se utilizan técnicas de variografía. Éstas son herramientas geoestadísticas que, utilizando un acercamiento probabilístico permite obtener una estimación de la variabilidad espacial, usando como supuesto la continuidad espacial para cada una de las variables.

En esta aplicación la variografía evalúa, en su conjunto, cómo varía la concentración de un contaminante en dos locaciones cualesquiera como función de la distancia que las separa, ponderando por un factor la relevancia que se le da a una muestra dada. Numéricamente una función variográfica es calculada con unidades de distancia y es graficada con respecto a ésta.

En este estudio, el área fue discretizada (rasterizada) en celdas regulares de 200×200 m, y en cada uno de los nodos sin información, se utilizó el método de *Kriging* ordinario para estimar los valores de cada uno de los parámetros considerados en el estudio.

2) Clasificación de calidad de las aguas subterráneas:

Una vez que todos los datos han sido ordenados, cada punto de muestreo es clasificado según su calidad del agua. Para ello, se consideran los ocho parámetros evaluados, cuyas concentraciones se comparan con los valores de las concentraciones máximas permitidas (MAC) y los valores guía (GV) para el agua de uso potable fijados por la antigua normativa europea (80/778/EEC). La concentración de los valores guía (GV), no considerada en la legislación actual, indicaba una concentración máxima deseable para cada parámetro considerado.

El análisis para clasificar un agua se realiza en un primer momento clasificando la calidad de de los dos grupos de parámetros anteriormente descritos (Grupo 1 y Grupo 2), en las tres clases que se describen a continuación:

- **Clase A (óptimo)**: este es el caso en que el parámetro con una peor calidad presenta una concentración menor que el GV. Las aguas subterráneas son adecuadas para fines de consumo sin ningún tratamiento, y es aceptable para la mayoría de los usos industriales y agrícolas.
- **Clase B (aceptable)**: este es el caso donde en que el parámetro con una peor calidad presenta una concentración menor que el MAC pero mayor que el GV. Las aguas subterráneas son adecuadas para fines de consumo sin ningún tratamiento, con algunas limitaciones para el uso industrial y agrícola.
- **Clase C (pobre)**: este es el caso en que el parámetro con una peor calidad presenta una concentración mayor que el MAC. Las aguas subterráneas no son adecuadas para

fines de consumo, y presentan limitaciones para otros usos. En el caso del Grupo 1, las aguas requieren un tratamiento específico, y en el caso que sea el Grupo 2 el que es clasificado como pobre, las aguas requerirán un tratamiento simple o avanzado de oxidación.

Así, la clasificación que obtiene cada grupo de parámetros es aquella que le otorga el parámetro con una peor calidad, considerando los valores MAC y GV para cada uno de ellos, según se presenta en la Tabla 2.2.

Posterior a la clasificación de cada uno de los dos grupos de parámetros, se realiza una clasificación general de la muestra, en la que se pondera de mayor manera las sustancias indeseadas (Grupo 2), ya que, en general, la presencia de tales sustancias en las aguas requiere una intervención más costosa, tanto desde un punto de vista estructural y como de gestión, a fin de que sea potable.

Tabla 2.2: Criterio de clasificación de la calidad de las aguas subterráneas

Classification criteria for groundwater quality

	Group 1 (chemical and physical parameters)				Group 2 (undesirable substances)			
	TH (°F)	El.Cond. (mS/cm)	SO_4 (mg/l)	Cl (mg/l)	NO_3 (mg/l)	Fe (μg/l)	Mn (μg/l)	NH_4 (μg/l)
	Parameters							
Class A Optimal	15[a] ÷ 30[+]	<1[+]	<50[++]	<50	<10[+]	<50	<20	<50
Class B Acceptable	30[a] ÷ 50	1[+] ÷ 2	50[++] ÷ 250	50 ÷ 200	10[+] ÷ 50	50 ÷ 200	20 ÷ 50	50 ÷ 500
Class C Poor	>50	>2	>250	>200	>50	>200	>50	>500

[a]Minimum recommended value.
[+]Intermediate value between the Maximum Allowable Concentration (MAC) and the Guideline Value (GV) (DPR 236/88).
[++]GV doubled.

La combinación de las tres categorías de clasificación de cada grupo, se obtienen nueve combinaciones, las cuales se dividen de modo de obtener cinco categorías de calidad posibles

para cada muestra. Estas combinaciones y clasificación general final, se muestra en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3: Esquema de clasificación general simplificado.

Scheme of simplified general classification

Original*	Simplified
General classification	
A1 A2	Optimal
B1 A2	
C1 A2	Good
A1 B2	Acceptable
B1 B2	
C1 B2	
A1 C2	Poor
B1 C2	Very poor
C1 C2	

*Civita *et al.*, 1993.

3) Representación de los datos:

Una vez clasificadas las aguas, todos los resultados obtenidos hasta el momento son representados en mapas utilizando una herramienta SIG. Se generan distintos mapas en función del nivel de procesamiento de los datos. Así, se utilizan los siguientes cuatro niveles principales de clasificación:

Nivel 1 - Clasificación por parámetros:

El primer nivel de clasificación provee indicadores en la calidad de las aguas subterráneas respecto a cada uno de los ocho parámetros definidos. Este nivel produce cuatro mapas de clasificación relacionados a los parámetros físicos y químicos (Grupo 1) y cuatro relacionados a las sustancias indeseadas (Grupo 2).

Nivel 2 – Clasificación por grupos:

Este nivel se obtiene siguiendo las reglas de clasificación de los grupos de parámetros físicos y químicos y de parámetros indeseables, de modo que se obtienen dos mapas, uno para cada grupo, con las tres categorías de clasificación, óptima, aceptable y pobre.

Estos mapas se generan para cada campaña de monitoreo, pudiéndolos comparar entre ellos y evaluar su evolución temporal.

Nivel 3 – Clasificación general simplificada:

A partir de la superposición de los dos mapas del nivel 2 se obtienen 9 clasificaciones de las aguas, que a partir de clasificación de la Tabla 2.3 permiten generar un mapa con la clasificación general de las aguas. Se obtiene así una representación simplificada de las condiciones de calidad de las aguas subterráneas.

Nivel 4 – Clasificación Espacio-Temporal:

El último nivel de clasificación tiene como objetivo insertar la información temporal en la representación de la calidad de las aguas subterráneas, de modo de conocer la calidad promedio del agua en un período de tiempo definido y la tendencia en su evolución temporal. Para esto es necesario seguir los siguientes pasos:

- Asignar valores numéricos a cada una de las cinco categorías de calidad definidas en el Nivel 3, desde 1 (óptimo) a 5 (muy pobre).
- Obtener el "índice de posición" o valor promedio de celda (MCV), que se calcula a partir de la media aritmética de los valores numéricos asignados a los cinco rangos de clasificación anteriores. Este índice de posición se divide también en cinco rangos (Tabla 2.4).
- Obtener el "índice de tendencia", calculando la pendiente de la recta que se obtiene al aplicar una regresión lineal a los valores obtenidos en el paso a). Luego se clasifica este valor en una escala que considera:
    - pendiente positiva (tendencia al incremento - empeorando)
    - pendiente negativa (tendencia decreciente - mejorando)
    - pendiente nula (tendencia constante - calidad estacionaria)

La combinación del los cinco rangos del índice de posición o calidad promedio, con los tres índices de tendencia por un período considerado, resultan en quince categorías de calidad espacio-temporal, los cuales se agrupan según indican las Tabla 2.4 y Tabla 2.5 resultando finalmente en otras cinco clasificaciones para la tendencia temporal de la calidad de las aguas.

Tabla 2.4: Clasificación espacio temporal.

Space-time classification

Position index		Trend index[a]		
Value	Label	Worsening	Constant	Improving
$1.0 \leq MCV < 1.5$	Optimal	B	BB	BB
$1.5 \leq MCV < 2.5$	Good	BP	BB	BB
$2.5 \leq MCV < 3.5$	Acceptable	P	BP	B
$3.5 \leq MCV < 4.5$	Poor	PP	PP	BP
$4.5 \leq MCV \leq 5.0$	Very poor	PP	PP	P

MCV = arithmetic mean of the seasonal values of the quality indexes.
[a]Slope of the linear regression line.

Tabla 2.5: Descripción de códigos espacio temporales utilizados en la metodología.

Space-time codes description

Code	Position	Trend
BB	Optimal	Constant or improving
	Good	Constant or improving
B	Optimal	Worsening
	Acceptable	Improving
BP	Good	Worsening
	Acceptable	Constant
	Poor	Improving
P	Acceptable	Worsening
	Very poor	Improving
PP	Poor	Constant or worsening
	Very poor	Constant or worsening
NA	Not available	

De esta etapa se obtiene un mapa de clasificación general simplificado, que refleja la calidad de las aguas subterráneas considerando las variaciones temporales, relevantes a la hora de determinar las zonas de riesgo.

2.2.2 Metodología de Japón

Esta metodología ha sido revisada a partir de la publicación "Assessing groundwater quality using GIS" de Babiker *et al.* (2006), donde propone el uso de un índice de calidad de las aguas subterráneas basadas en un SIG (GQI, *Groundwater Quality Index*), de modo de sintetizar la información disponible de calidad química de las aguas (como Cl^-, Na^+, Ca^{2+}) indexándolos numéricamente en un formato fácilmente entendible, comparable con los valores de la norma de la OMS para las aguas potables e incorporando el aspecto de la variación temporal.

La metodología propuesta es aplicada en la cuenca aluvial de Nasuno, Tochigi, Japón, donde se ha trabajado con datos químicos estacionales (con cuatro estaciones en primavera, verano, otoño, invierno) de las aguas recolectada de 50 pozos de agua en un área de 400 km^2 de superficie.

Para el índice de calidad de las aguas en este estudio se consideraron siete parámetros Cl, Na, Ca, Mg, SO_4, NO_3 y Sólidos disueltos totales (SDT), para el índice de calidad GQI. De todas formas la metodología permite la utilización de un número de parámetros es ilimitado.

Los pasos que se realizan para la aplicación de esta metodología son los siguientes:

Análisis Espacial con SIG

Para el estudio de la variabilidad espacial de los parámetros físico-químicos evaluados se emplea un software de SIG. En esta etapa se georeferencia tanto la topografía como los datos químicos muestreados, estos últimos se incluyen como puntos que contienen la información de las concentraciones de cada temporada. En este caso se trabajó con celdas de 50×50 m.

Para la representación grafica de los valores en un mapa, es necesario contar con valores de las concentraciones de contaminantes continuas en función del espacio. Tomando en cuenta que los constituyentes químicos en las aguas subterráneas están en la mayoría de los casos,

espacialmente correlacionados, se hace importante realizar una buena interpolación de los datos en el área de estudio.

Elaboración del Mapa Primario I

Los mapas de concentraciones de cada parámetro se representan en el Mapa Primario I. Este mapa se construye a partir de los datos puntuales de cada parámetro utilizando la interpolación de *Kriging*. Este método es un modelo de aproximación geoestadística, que en vez de utilizar una ponderación de los datos en función del inverso de la distancia, se sustenta en la estructura de la correlación espacial para determinar el peso de los valores. Esta es un modelo de aproximación riguroso al determinar los valores de un punto sin dato a través de la correlación entre los puntos con información.

De esta forma se otorga un valor de concentración de cada parámetro a cada celda de 50x50, y se obtiene el Mapa Primario l.

Mapa Primario II

El objetivo es relacionar los datos con una normativa universal, y para ello, las concentraciones medidas o calculadas en cada celda del Mapa Primario I, se relacionan con los datos de la norma de la OMS.

Así, la medida de concentración de cada celda, X´, entregada en el Mapa primario I se relaciona con la medida deseada, en base a los parámetros de la OMS, X, usando el índice de diferencia normalizada.

$$C = \frac{X' - X}{X' + X}$$

Los valores de C obtenidos para cada parámetro evaluado son graficado en el Mapa Primario II. Este índice de contaminación tendrá para cada píxel un valor de rango entre -1 y +1, dando una idea de los sectores en que se aproxima y aleja al cumplimiento de la norma, con cotas inferior y superior.

Mapa de rangos

El índice de contaminación (mapa primario II) es calificado entre 1 y 10 para generar el mapa de rangos. La calificación 1 indica un impacto mínimo sobre la calidad de las aguas

subterráneas, en tanto que la calificación 10 indica el máximo impacto. El índice correspondiente al nivel mínimo de contaminación (-1) se calificó igual a 1, el nivel medio (0) se calificó igual a 5 y el nivel máximo (1) se calificó igual a 10. La siguiente función polinómica, puede ser utilizada para calificar los niveles de contaminación C de cada píxel entre 1 y 10:

$$r = 0{,}5 \times C^2 + 4{,}5 \times C + 5$$

Donde *C* corresponde al valor del índice de contaminación para cada celda, y *r* a la calificación dentro del mapa de rangos. El mapa de rangos es análogo al Mapa Primario II.

Índice de Calidad de Aguas Subterráneas (GQI)

Este índice GQI se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$CQI = 100 - \frac{(r_1 \times w_1 + r_2 \times w_2 + \cdots + r_n \times w_n)}{N}$$

donde:

r_i = *la calificación dentro del mapa de rangos (1 – 10) del parámetro i*

w_i = *el objetivo de w es asignarle un mayor peso a aquellos parámetros que tienen un potencial efecto negativo a la salud, se considera el (promedio de r) + 2 (r ≤8). Para la mayoría de los parámetros se considera como el "promedio de r".*

N = *número total de parámetros utilizados en el análisis.*

De esta forma se obtiene un índice cuyos valores fluctúan entre el 1 (mala calidad) y 100% (buena calidad) y que pueden ser representados en un SIG. En el caso aplicado que se presenta se han considerando 9 clases de calidad de las aguas subterráneas, de 0 a 10%, de 10 a 20%, de 20 a 30%, y así hasta el último rango de índice >80%. Se considera que la calidad mínima alcanza hasta el índice del 20-30% inclusive, la calidad media corresponde al rango del índice entre el 60-70%, y la alta calidad se encuentra cuando el valor es >80%.

Este índice GQI tienen la ventaja de que considera distintos parámetros al mismo tiempo, que el impacto individual de cada uno de ellos es reducido, y que el número de parámetros a considerar es ilimitado.

GQI Potencial

Considerando que:

1.- Mucho de los parámetros de calidad del agua son espacialmente invariables, implicando que ellos contribuyen muy poco a la variación del GQI en un área determinada; y que

2.- La mayoría de los constituyentes en el agua subterránea están espacialmente correlacionados, lo que implica duplicación e incrementa la probabilidad juicios erróneos,

Se sugiere un método más objetivo para seleccionar la mejor combinación de parámetros a considerar en el GQI, que pueda mostrar mejor la calidad química de las aguas subterráneas. Así, se propone la utilización del Factor de Índice Óptimo (OIF) que se utiliza para seleccionar la combinación óptima de parámetros de tres mapas de rangos que contengan la mayor cantidad de información (más alta suma de desviaciones estándar) y presenten las menores duplicaciones (mínima correlación entre pares de mapas).

El cálculo del OIF se obtiene a partir de la siguiente fórmula:

$$OIF = \frac{SD_i + SD_j + SD_k}{Corr_{i,j} + Corr_{j,k} + Corr_{i,k}}$$

donde

i,j,k = tres mapas de rangos cualesquiera.

SD_i = *desviación estándar de datos i.*

$Corri_j$ = *coeficiente de correlación entre datos i y datos j.*

Variabilidad estacional de la calidad del agua subterránea y sustentabilidad del uso del agua

Se realiza una estimación del grado de variación temporal de la calidad de las aguas subterráneas, para luego integrarlo con el resultado de GQI. Esto ayuda a delinear las áreas con calidad de las aguas relativamente estables. Para esto se siguen los siguientes pasos:

Se calcula el coeficiente de variación para cada parámetro de calidad química, que ha sido medido en los puntos de monitoreo por lo menos durante 3 estaciones al año, siendo ésta una medida de la variabilidad en el tiempo y espacio expresada como:

$$Vn = (SD/mean) * 100$$

donde:

SD = *desviación estándar*

mean = *promedio de los valores del parámetro en los pozos*

Para cada punto de muestreo se calcula posteriormente la variación total (V) a través de la siguiente sumatoria:

$$V = \sum_{n=1}^{N} Vn$$

donde:

V_n = *es el coeficiente de variación del parámetro n*

N = *número total de parámetros*

Posteriormente se genera un mapa de variabilidad temporal a partir de los puntos con información, utilizando la técnica de interpolación para el resto del área. Los rangos considerados para este mapa son tres, un valor inferior al 15% corresponde a una variabilidad baja, entre 15 y 30% a una variabilidad media y un valor superior al 30% indica una variabilidad alta.

Este mapa se es analizado con el GQI, considerando que la sustentabilidad del uso del agua aumenta cuando aumenta la calidad del agua (Mapa GQI) y disminuye su variabilidad (Mapa Variabilidad).

Análisis de sensibilidad

Posteriormente se propone realizar un análisis de sensibilidad capaz de determinar aquellos puntos con errores o perturbaciones más sensibles de modo de poner especial atención en los mapas de entrada de datos y obtener mapas de salida más confiables para elaborar mejores conclusiones.

2.2.3 Metodología de Portugal

Esta metodología ha sido revisada a partir de la publicación "Application of a groundwater quality index as an assessment and communication tool in agro-environmental policies - Two Portuguese case studies" de Stigter et al. (2006) donde se desarrolla un análisis multivariado para crear un Índice de la Calidad de las Aguas Subterráneas (GWQI) y un índice de composición de las aguas subterráneas (GWCI), como instrumentos de monitoreo de la contaminación en las aguas subterráneas.

El caso que se presenta en este estudio busca monitorear contaminación agrícola en la Campina de Faro y la Campina da Luz en el sur de Portugal. De ninguna forma esta metodología se encuentra restringida a esta causa de contaminación.

En este sentido, los parámetros que pueden utilizarse son libres y dependerán de diversos factores, como el propósito del índice, la importancia del parámetro y la disponibilidad de datos. En los dos casos de estudio presentados se han considerado solamente los parámetros de Ca, Cl, SO_4 y NO_3.

A partir de esta metodología se crean mapas índices, que proporcionan una imagen completa del problema de contaminación, siendo fácilmente interpretables para la gente fuera del dominio científico.

Las concentraciones límite utilizadas en esta metodología se basan en los parámetros máximos permitidos (MAC) para las aguas potables y de los parámetros guía (GV) fijados por la antigua legislación europea 80/778/EEC, los últimos inexistentes hoy en la ley europea y tampoco en la norma chilena.

La metodología propuesta funciona a partir de la consecución de los siguientes pasos descritos:

1) Clasificación de los parámetros involucrados:

Los distintos parámetros que se utilizan son distribuidos en tres categorías del GWQI, sobre la base de las directrices y normativas de las concentraciones máximas o recomendadas para el agua potable.

La primera categoría corresponde a las concentraciones por debajo del nivel guía (GL), mientras que la tercera categoría tiene concentraciones por encima de la concentración máxima admisible (MAC), definido por la norma correspondiente. La segunda categoría corresponde a las concentraciones entre el valor de MAC y GL.

Luego se realiza el procedimiento de normalización, mediante la aplicación de una simple codificación binaria: 1 si la muestra pertenece a una clase, 0 si no. La Tabla 2.6 ilustra un ejemplo para el procedimiento con el parámetro nitrato, cuya GL y MAC son 25 y 50 mg/L, respectivamente:

Tabla 2.6: Estandarización del procedimiento para el nitrato.

Table 2 Standardisation procedure for nitrate

Sample no.	NO_3^- mg/l	NO_3^-		
		⩽GL	GL—MAC	>MAC
1	31	0	1	0
2	135	0	0	1
3	6	1	0	0
etc.				

GL = guide level, MAC = maximum admissible concentration.

2) Análisis del factor de correspondencia y obtención del índice GWQI

En el paso siguiente se definen dos muestras estándares de calidad de agua: una de muy alta calidad y otra de muy baja calidad. La primera, debe presentar todos sus parámetros con valores en la primera categoría anteriormente mencionada, es decir con todas sus

concentraciones debajo el valor de GL. La muestra de baja calidad debe presentar todas sus concentraciones ubicadas en la tercera categoría, superiores al valor de MAC.

Posteriormente, estos estándares son agregados al listado de valores de todas las muestras y son procesados mediante una rutina estadística llamada análisis del factor de correspondencia (CFA).

Esta rutina estadística pertenece a un grupo de métodos de extracción de factores, cuyo principal objetivo es descubrir los patrones de relaciones dentro de un conjunto de datos. Esto se realiza básicamente por la reordenación de los datos en un pequeño número de "componentes" o "factores" no-correlacionados que son extraídos de los datos por transformaciones estadísticas. Esas transformaciones implican la diagonalización de alguna especie de matriz de similitud de los parámetros, como lo es la de correlación o la de varianza-covarianza. Cada factor describe una cierta cantidad de varianza estadística de los datos analizados y se interpreta según los parámetros intercorrelacionados. La principal ventaja del CFA es que la simetría se confiere a la matriz de datos, lo que permite el estudio simultáneo de las correlaciones dentro y entre variables y muestras.

En el presente caso, la diagonalización se realiza únicamente en la matriz de similitud de las dos muestras estándar, definidas anteriormente, ya que esto da lugar a la extracción de un único vector propio explicando el 100% de la varianza de los datos y oponiendo diametralmente las muestras con alta y baja calidad.

Posteriormente, las muestras de agua reales (no estándar) son proyectadas ortogonalmente en el factor de extracción, a fin de definir el grado de asociación entre éstas, y los dos valores estándar de calidad. Las puntuaciones resultantes corresponden a los 9 valores del índice GWQI que oscilan entre el -1 (alta calidad) y 1 (baja calidad) y son números racionales discretos (ver Tabla 2.7). Aunque el proceso puede parecer complicado a primera vista, su aplicación es en realidad bastante sencilla y supone una relativamente baja cantidad de procesamiento de datos. La rutina CFA en su totalidad se ejecuta en el mismo software, en donde la proyección ortogonal (y el cálculo de índices) puede ser expresada matemáticamente por la siguiente fórmula:

$$F_i = \frac{1}{p\sqrt{\lambda}} \sum_{j=1}^{m} \delta_j L_j$$

donde:

F_i = *puntuación del índice GWQI de la muestra i*

p = *número de parámetros envueltos en la construcción del índice*

λ = *factor del valor propio*

δ_j = *código booleano (*δ_j *=1 si muestra pertenece a la categoría del parámetro j,* δ_j *=0 si no)*

L_j = *factor de de carga de la categoría j*

m = *número de categorías (=3p)*

En la siguiente la Tabla 2.7 se presenta los distintos valores del GWQI, siendo éste determinado a partir de cuatro variables o parámetros. La tabla indica cuales límites de categoría (GL o MAC) y en qué cantidad se exceden para cada valor dado del GWQI. En los extremos, encontramos el valor de -1 que indica que no se rebasan las normas de calidad, ni el GL ni el MAC; en el otro extremo el valor de +1 representa el más alto nivel de contaminación, cuando los cuatro parámetros considerados superan el MAC

Tabla 2.7: Posibles explicaciones de las calificaciones de GWQI.

Table 5 Possible explanations of the GWQI scores

Index	Number of quality standards exceeded by the four variables
− 1.00	0
− 0.75	{1var > GL}
− 0.50	{2var > GL} or {1var > MAC}
− 0.25	{3var > GL} or {1var > GL and 1var > MAC}
0.00	{4var > GL} or {2var > GL and 1var > MAC} or {2var > MAC}
0.25	{2var > MAC and 1var > GL} or {1var > MAC and 3var > GL}
0.50	{3var > MAC} or {2var > MAC and 2var > GL}
0.75	{3var > MAC and 1var > GL}
1.00	{4var > MAC}

var = variable, GL = guide level, MAC = maximum admissible concentration.

4) Elaboración del mapa con el Ground Water Quality Index (GWQI)

Luego de obtener los valores del GWQI para cada una de las muestras, puede elaborarse un mapa con estos resultados, utilizando el algoritmo de interpolación del *ordinary kriging* (OK), basado en el análisis estructural de la distribución espacial del índice en cada área de estudio.

3) Elaboración del índice de composición de las aguas GWCI:

Además del índice GWQI se elabora el índice de composición de las aguas GWCI, para el cual también es necesario parametrizar las categorías. Éste se elabora del mismo modo que el índice GWCI pero mediante la redefinición de los límites de categorías; es decir, se substituyen los valores de GL y MAC de cada parámetro por el primer tercil de 33,3% y el segundo tercil de 66,7%, respectivamente.

De esta manera, se confiere a este índice un máximo potencial de diferenciación, ya que para cada parámetro sus datos se encuentran distribuidos uniformemente a lo largo de las tres clases.

Posteriormente debe realizarse también para este índice la rutina CFA, para obtener los resultados entre valores de -1 y +1.

Los valores de los terciles utilizados en el ejemplo de la publicación se presentan en la Tabla 2.8.

Tabla 2.8: Definición de las clases para la construcción de GWQI y GWCI.

Table 4 Definition of classes for GWQI and GWCI construction

	GWQI			GWCI		
	Class 1 HQ (⩽GL)	Class 2 GL–MAC	Class 3 LQ (>MAC)	Class 1 HQ (⩽P33%)	Class 2 (P33% – P67%)	Class 3 LQ (>P67%)
NO_3^-	⩽25	25–50	>50	⩽60	60–133	>133
SO_4^{2-}	⩽25	25–250	>250	⩽73	73–165	>165
Cl^-	⩽25	25–250	>250	⩽134	134–259	>259
Ca^{2+}	⩽100	100–200	>200	⩽146	146–200	>200

Units are mg/l.
HQ = highest quality, LQ = lowest quality, GL = guide level, MAC = maximum admissible concentration, P33% = 33.3% data percentile (1st tercile), P67% = 66.7% data percentile (2nd tercile).

5) Elaboración del mapa con el Ground Water Composition Index (GWCI)

Del mismo modo que para el índice anterior, con el GWCI puede también elaborarse un mapa de categorías a partir del algoritmo de interpolación *ordinary krig ing* (OK).

En este caso, dado que se han utilizado los datos de terciles como límites de categoría, las limitaciones presentadas por el GWQI, como la baja resolución espacial y la dificultosa distinción entre zonas más gravemente afectadas por la contaminación, son superadas.

El índice GWCI, el lugar de indicar una calidad absoluta del agua, refleja el grado de modificación de la composición de las aguas subterráneas desde su estado natural. La distribución de las muestras con respecto a los valores de GWQI es bastante aplanada y uniforme, que es una consecuencia lógica de la definición del índice.

Con este índice el valor de -1 representa las aguas subterráneas que se encuentran en un estado más natural y menos contaminado, mientras el valor +1 refleja el más extremo nivel de contaminación.

El mapa GWCI muestra el patrón espacial de alteración de las aguas subterráneas. Estos mapas tienden a ser muy precisos, debido a que las variaciones locales son claramente

visibles. Tanto la resolución espacial y la potencial diferenciación se incrementa sustancialmente en relación con los mapas GWQI.

6) Análisis Comparativo de los índices y mapas de GWQI y GWCI

Tanto el GWQI y el GWCI tienen ventajas y limitaciones, ajustándose cada uno a un fin específico.

El GWQI supervisa el impacto de las fuentes contaminantes sobre la calidad absoluta de las aguas subterráneas, midiendo la calidad de agua respecto a la normativa vigente y, por tanto, directamente evalúa su potabilidad. Los mapas resultantes, al ser fácilmente interpretables, podría servir como herramienta de comunicación para informar a la población local, así como organismos gubernamentales de medio ambiente y la agricultura acerca de los problemas de calidad del agua.

El objetivo de GWCI es exponer el impacto relativo de las fuentes contaminantes en la composición de las aguas subterráneas, distinguir rápidamente las zonas más afectadas. Entonces, podría posiblemente servir en combinación con la GWQI, como un instrumento útil de supervisión para las políticas ambientales, ya que estas políticas requieren constantes registros de las tendencias espaciales y temporales en la calidad del agua.

2.2.4 Metodología de Israel

Esta metodología ha sido revisada a partir de la publicación "A graphic expression of salinization and pollution of groundwater. The case of Israel's groundwater," de Melloul and Azmon (1997) que considera un método de clasificación de la contaminación de aguas subterráneas sobre la base de los principales componentes de la calidad de las aguas subterráneas y de la correspondiente situación hidrogeológica-ambiental de acuífero. Además, este análisis se realiza a partir de la evolución temporal de los parámetros considerados.

Así esta metodología considera que el crecimiento de la contaminación en los acuíferos está controlado por cuatro factores principales que son:

- La situación hidráulica del acuífero (confinado, libre, somero).
- Magnitud de la explotación de las aguas subterráneas (si existe disminución de los niveles freáticos, conos de depresión, etc.).

- Intrusión salina en acuíferos costeros producto de la explotación.
- Extensión de los dominios hídricos superficiales (ríos, lagos, embalses, etc.) conectados con los acuíferos y que presentan contaminación.

Se supone que la contaminación de las aguas subterráneas, en cualquier situación hidrogeológica puede ser expresada gráficamente. De todos modos, el análisis final de esta metodología se hace en base a una tabla de resultados y no a un gráfico o mapa de calidad de las aguas.

En esta publicación se muestra una aplicación de la metodología para estudiar la contaminación del acuífero costero de Israel, que se extiende a lo largo de la costa mediterránea aproximadamente 120 km y entre 5 y 15 km hacia el interior. Este acuífero presenta problemas de salinización de las aguas por intrusión salina y por la agricultura intensiva que se realiza sobre él.

La metodología de trabajo propuesta para evaluar la calidad de las aguas de un acuífero se realiza siguiendo los siguientes pasos:

1) Análisis de la situación:

Se realiza una presentación de las diferentes fuentes de contaminación y de la complejidad del proceso de contaminación de las aguas subterráneas.

2) Selección de parámetros que representan la contaminación:

Se realiza una selección de los parámetros que potencialmente contribuyen a la salinidad y a la contaminación. En el caso de estudio presentado, los cloruros son considerados como representantes de la salinidad, debido a sus propiedades altamente conservativas y su relación directa con el total de sólidos disueltos (TDS). Los nitratos, aunque no conservativos, se utilizan aquí como un índice de contaminación antrópica principalmente de la agricultura intensiva y la eliminación de aguas residuales domésticas.

3) Selección de puntos de monitoreo:

Se realiza una selección de pozos de observación que caractericen lo siguiente: a) los diversos medios acuíferos (arenisca, caliza, etc.), b) la situación hidráulica del acuífero (freático o

confinado), c) su proximidad a las principales fuentes de contaminación (por ejemplo, la línea de costa, los arroyos contaminados, etc.), y/o cercanía a zonas del acuífero costero sometido a un alto estrés de manejo.

4) Representación gráfica de los resultados:

Para cada parámetro seleccionado como característico de la contaminación que se está estudiando se representa su evolución de la concentración versus tiempo. Estos gráficos son los que denomina esta metodología como parametrógrafos, y de los cuales se hace el análisis de la evolución de la contaminación evaluando los niveles promedio, las tendencias, y las "etapas", que representan cambios a largo plazo en estos componentes evaluados.

Para el caso de estudio que se presenta en la publicación se elaboraron los denominados clorógrafos y nitrógrafos, que presentan las concentraciones de Cl y NO_3 en función del tiempo y que se muestran como ejemplo en la Figura 2.1. Éstos se realizan para un número representativo de pozos del acuífero.

Tabla 2.9: Base de datos hidrogeológicos de los pozos

Table 1
Hydrological well data base

Well no.	Well name	Aquifer age[a]	Hydraulic situation[b]	Porous media[c]	Distance[d]	Depth (m)	Water level (m)[e]
PL1	Nahsholim C	Pl	ph	gr	0.5	21	− 1.0
PL2	Kfar Vitqin H	Pl	ph	gr	[0.3]	60	4.60
PL3	Zakif	Pl	ph	gr	10	80	2.80
PL4	Migdal 14	Pl	ph	gr	4.0	161	2.35
PL5	Netania 30	Pl	ph	gr	1.0	86	2.83
LC1	Tamar 3	LC	co	gr		398	−265
LC2	Tamar 9	LC	co	gr		450	−260
LM1	Ein-Karem 2	LCe	ph	lm		412	470
LM2	Eshtaol 7	LCe	co	lm		1226	20
LM3	Ein-Karem 6	LCe	ph	lm		172	425
LM4	Hartuv 4	CeT	co	lm		631	15
LMC1	Usha 4	Eo	ph	lmc		82	10
LMC2	18-18/25 A′	Eo	ph	lmc		140	150

[a] Geological age of the aquifer: Eo, Eocene; Pl, Pleistocene; CeT, Cenomanian-Turonian; LCe, Lower Cenomanian; LC, Lower Cretaceous
[b] ph, phreatic; co, confined
[c] Lithology of aquifer rocks: gr, granular; lm, limestone; lmc, chalky limestone
[d] Distance from the Mediterranean seashore in km, relevant to the coastal aquifer wells [0.3] Distance from the bed stream in km
[e] Approximate water leve, above sea level, between the years 1979–1988

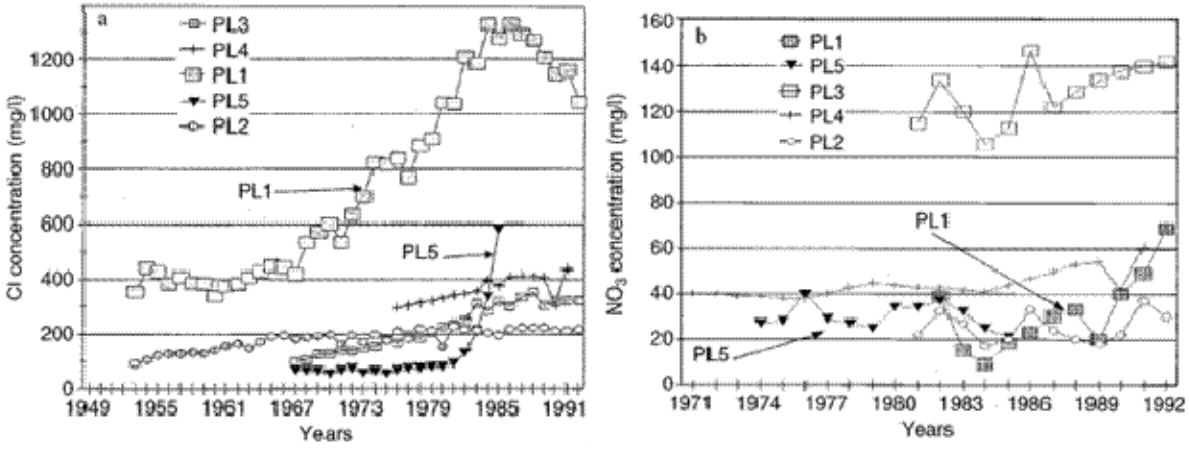


Figura 2.1: a) Clorógrafo y b) Nitrógrafo de los pozos localizados en la parte central del acuífero de Israel

Este tipo de gráficos puede considerarse como una herramienta complementaria para el control de calidad de las aguas subterráneas y una mejor comprensión de situaciones a las cuales está sometido.

5) Análisis de los parametrógrafos:

Para realizar el análisis de estos gráficos, las concentraciones de los parámetros evaluados son comparadas respecto a cinco niveles de concentración arbitrarios con respecto a los valores deseados o máximos permitidos por legislación vigente para las aguas de uso potable. Así para cada parámetro evaluado se realiza la siguiente clasificación de su concentración:

- Nivel muy bajo (VL): Las concentraciones son inferiores al 25% de los valores deseados;
- Nivel bajo (B): Las concentraciones están entre el 26% y los valores marcados por la legislación vigente.
- Nivel medio (M): Los valores están entre el valor deseado y hasta un 25% por encima de éstos.
- Nivel alto (H): Las concentraciones son un 26% mayor o más que los valores máximos deseados para las aguas potables.
- Nivel Fluctuante (F): Cuando en el período de tiempo considerado las concentraciones son muy oscilantes, entre valores máximos y mínimos.

Para el caso de estudio presentado los valores de cloruros y los nitratos, considerados como valores deseados fueron 300 mg/L y 60 mg/L, respectivamente.

6) Análisis de las tendencias temporales:

Las tendencias de la evolución temporal de los parámetros químicos que considerados se analizan también sobre la base de cinco niveles arbitrarios de comportamiento. Su análisis se realiza desde el punto de vista del incremento en las concentraciones que afectan a los compuestos contaminantes. Los niveles de clasificación los siguientes:

- Tendencia muy baja (VL): la tasa de incremento está por debajo de 1 (mg/L)/año.
- Tendencia baja (L): la tasa de incremento está entre 1 y 2 (mg/L)/año.
- Tendencia media (M): la tasa de incremento está entre 3 y 5 (mg/L)/año.
- Tendencia alta (H): la tasa de incremento es superior a los 5 (mg/L)/año.

- -Tendencia fluctuante (F): no existe una evidente tendencia en la calidad de las aguas subterráneas.

7) Clasificación de la calidad de las aguas subterráneas:

Se realiza un análisis de los resultados obtenidos y un acercamiento inicial hacia la clasificación de calidad de las aguas subterráneas a partir del análisis simultánea de:

- i) la variación espacial de los grados de contaminación,
- ii) la matriz del acuífero (mineralogía, granulometría, etc.),
- iii) la situación hidráulica (acuífero confinado o freático),
- iv) las características representadas en los parametrógrafos.

Con esta información se realiza una clasificación arbitraria, la cual se presenta en forma de tabla de resultados pero no se representa gráficamente.

Para el caso de aplicación de la metodología en Israel, a partir del análisis de los clorógrafos y nitrógrafos y considerando contexto hidrogeológico del acuífero se obtuvieron nueve tipos principales de contaminación de las aguas subterráneas (T1-T5, T1p, T2p, T4p y T5p). Estos se presentan en la Tabla 2.10.

Tabla 2.10: Clasificación de las aguas para el caso de estudio del acuífero costero de Israel.

Table 2
Classification of chlorographs and nitrographs of groundwater

Ground-water types	Well no.	Figure no.	Salinity (Cl^-)			Pollution (NO_3^-)		Hydrological situation
			[d] Stages	[a] Levels	[c] Trend	[b] Levels	[c] Trend	
T1	PL5	4a, 4b	2	L-H	F-H	L	L	In proximity to seashore
T1p	PL1	4a, 4b	2	M-H	F-H	M-H	H	In proximity to seashore and fish ponds
T2	PL2, PL4	4a, 4b	1	L-M	M	M	F-M	Inland, near stream, in a high-stressed management area
T2p	PL3	4a, 4b	1	L-M	M	H	H	Similar to T2, but in a more polluted area
T3	LC1, LC2	5a, 5b	2	H-H	F-H	VL-L	F-L	Deep confined sandstone aquifer
T4	LM1, LM2 LM3, LM4	6a, 6b	1	VL-L	F	VL	F	Limestone aquifer in unstressed area
T4p	LM2?	6a, 6b	1	VL-L	F	VL-L	F-L	Similar to T4, but in a more karstic aquifer
T5	LMC1	7a, 7b	1	M	F	M	L	Chalky limestone aquifer
T5p	LMC2	7a, 7b	1	VL	F	M-H	F	Similar to T5, in a faulty area

[a] Levels of chloride (in mg/l): *VL* – very low, (<100); *L* – low, (<250); *M* – medium, (251–600); *H* – high (>600)
[b] Levels of nitrate in (mg/l): *VL* – very low, (<10); *L* – low, (10–20); *M* – medium, (20–45); *H* – high, (>45)
[c] Trends for chlorides and nitrates in (mg/l/year): *F* – fluctuating; *L* – low, (<2); *M* – medium, (2.1–6); *H* – high, (>6)
[d] Stages are considered only for Cl parameter

En general la descripción de las distintas categorías de contaminación que se han definido para este caso de estudio son las siguientes:

- - Categorías T1 y T1p: caracterizan el comportamiento de la calidad del agua subterránea en los acuíferos costeros que se encuentran bajo la gestión de estrés y cerca de la línea de costa. El rango T1p presenta además una mayor contaminación producida por la agricultura.
- - Categorías T2 y T2p: caracterizan la contaminación de las aguas subterráneas en pozos ubicados en el acuífero costero de areniscas y situados a una distancia considerable de la costa. El rango T2p presenta también una mayor contaminación producida por la agricultura.
- - Categorías T3: caracteriza la salinización producida en un antiguo y profundo acuífero de areniscas que se encuentra generalmente confinado.

- - Categorías T4 y T4p: caracterizan el comportamiento de la calidad de las aguas subterráneas en un acuífero carbonatado. El rango T4p presenta también una mayor contaminación producida por la agricultura.
- - Categorías T5 y T5p: caracterizan el comportamiento de la calidad de las aguas subterráneas en un medio calcáreo, profundo y poroso, que generalmente se encuentra debajo del acuífero YT. El rango T5p presenta también una mayor contaminación producida por la agricultura.

2.2.5 Técnicas "clásicas" de estudios hidrogeoquímicos

Para la evaluación y comparación de las metodologías anteriormente detalladas, se presenta a continuación el resumen de la publicación "*Hidrogeoquímica y comportamiento del agua subterránea en la cuenca del río Claro, Región del Biobío, Chile* " de González *et al*. (1999) la cual representa un ejemplo de aproximación clásica al estudio de la hidrogeoquímica de los acuíferos con el objetivo de evaluar la calidad y composición de las aguas y entender el funcionamiento hidráulico del acuífero.

En los estudios de hidrogeoquímica se asume que la calidad química del agua subterránea está determinada por el tipo y cantidad de sustancias disueltas en la misma. Así, el conocimiento de la composición química de las aguas y su distribución espacial en los acuíferos define la idoneidad de la localización de pozos para la explotación de agua para el consumo humano. Además estos estudios aportan información acerca de la dirección y extensión de los sistemas de flujo subterráneos.

Este estudio que se presenta fue desarrollado en la cuenca del río Claro en la Región del Bio Bio, Chile. Para ello se analizaron químicamente 24 muestras de agua subterránea de pozos y 3 muestras del agua fluvial, para un área estimada de 595 km^2.

Los parámetros considerados para este estudio fueron los siguientes:

- a) Parámetros para la piezometría: Cota topográfica (msnm), Profundidad nivel piezométrico (m),
- b) Parámetros físico-químicos: pH, Conductividad eléctrica (µS/cm), Sólidos Disueltos Totales (mg/L), Dureza (mg/L de CaCO3)

- c) Concentraciones de elementos mayoritarios en meq/L: HCO_3, SO_4, Cl, Na, Ca, Mg.
- g) Concentraciones de elementos mayoritarios y minoritarios en mg/L: Cl, K, Fe, NO_3, SiO_2.
- h) Índices y Razones químicas: rMg/rCa, rCl/r<HCO_3, rNa/rCl, Índice de Intercambio de Base (ICB).
- j) Relación de Adsorción del sodio (SAR).

Además de estos parámetros se realiza una recopilación de antecedentes y datos hidrogeológicos para caracterizar el área en función de su geológica, régimen de lluvias, infiltración de aguas al acuífero, etc. y realizar un estudio hidrogeológico clásico del sector.

Con los datos químicos analizados se realiza una comparación de las concentraciones con la normativa chilena vigente de los límites máximos permitidos para el agua potable (NCh 409/1 Of.84) y el agua de riego (NCh 133 Of.78).

Además se realiza un análisis detallado de la calidad del agua para su uso en faenas de riego evaluando la salinidad y conductividad del agua, y calculando distintos índices (índice de Scott o coeficiente de álcali, concentración de sales solubles, índice de relación de absorción de sodio) los que evalúan el peligro de alcalinización y de salinización de los suelos.

Mediante los gráficos de Piper (Figura 2.2) se evalúa la composición de las aguas subterráneas, y se identifica el grupo genético al cual pertenecen. Para el caso presentado las aguas son bicarbonatadas cálcicas, bicarbonatadas magnésicas y mixtas entre los dos tipos anteriores.

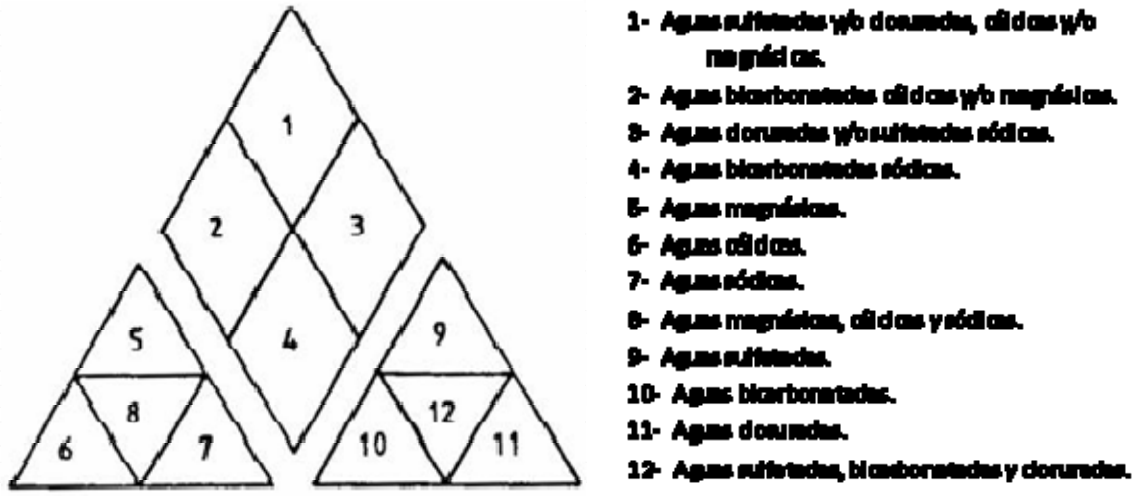


Figura 2.2: Diagrama Piper de clasificación composicional de las aguas.

Posteriormente se elabora un mapa hidrogeoquímico con diagramas poligonales de Stiff, los representan gráficamente las concentraciones de los iones mayoritarios en meq/L, las concentraciones de aniones hacia la derecha y los cationes hacia la izquierda, en semirrectas paralelas, que se unen en los extremos generando un polígono. La forma de las figuras resultantes da idea del tipo de agua, y su tamaño es proporcional a la mineralización de la misma Estos diagramas resultan fácilmente demostrativos dentro de los mapas hidroquímicos permitiendo una comparación visual y espacial entre muestras comparaciones, de modo que se puede realizar un seguimiento de los diferentes aportes que llegan a las aguas subterráneas y su evolución a lo largo de las líneas de flujo (Figura 2.3).

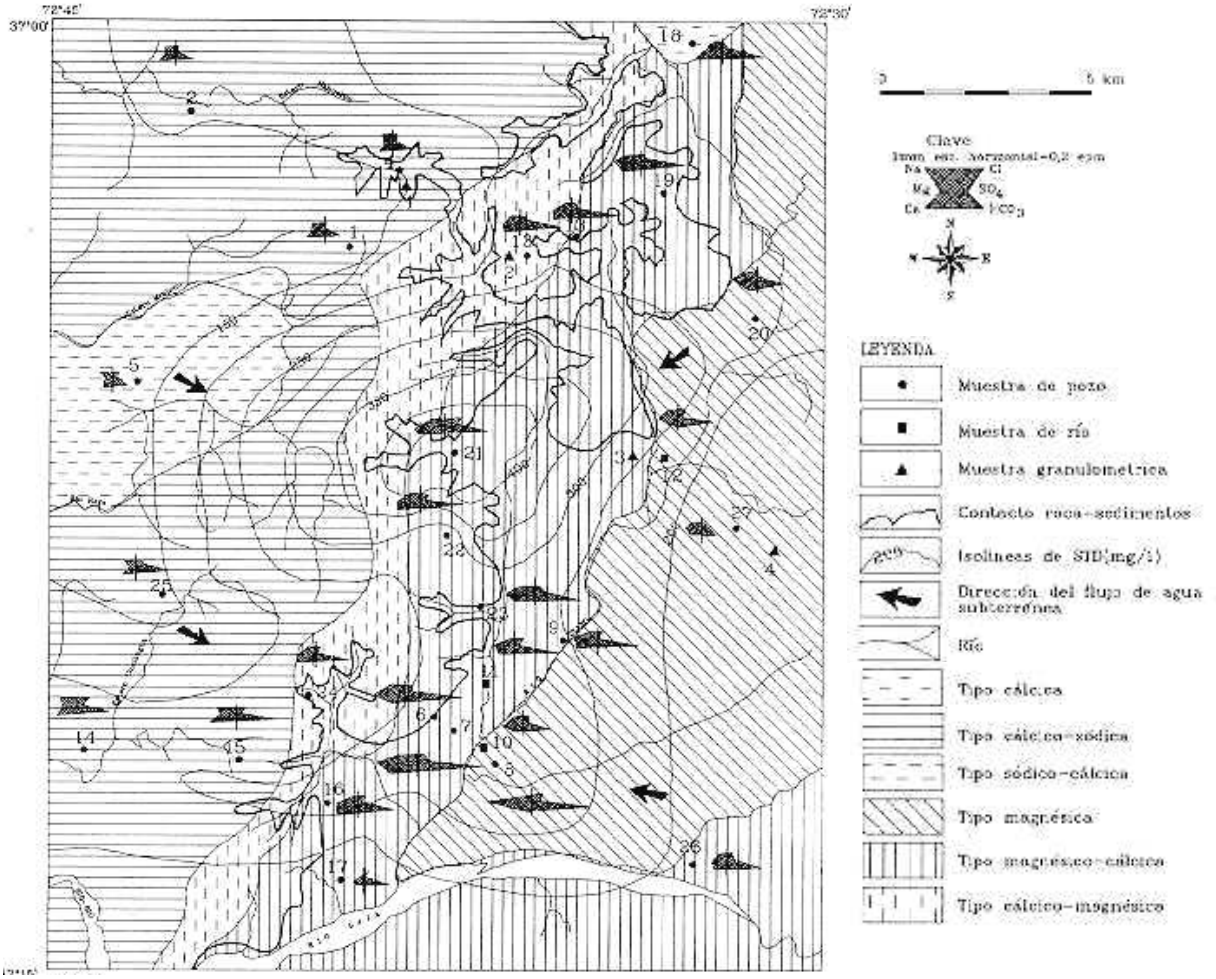


Figura 2.3: Mapa hidrogeoquímico con isolíneas de Sólidos Totales Disueltos y tipos de agua representados mediante los diagramas de Stiff.

En este mapa además se representan las concentraciones de sales totales disueltas para determinar el movimiento y la dirección de las aguas subterráneas. Esto, siempre y cuando exista una diferenciación entre los distintos pozos.

Mediante las relaciones hidrogeoquímicas rNa/rCl; $rCl/rHCO_3$; rMg/rCa se realiza la interpretación del origen de estos compuestos en las aguas, lo que permite evaluar las interacciones agua-terreno, y descubrir los materiales por los que ha fluido el agua.

2.3 Análisis crítico de metodologías evaluadas

2.3.1 Metodología de Italia

Esta metodología, revisada a partir de la publicación "A methodology for space-time classification of groundwater quality" de Passarella y Caputo (2006), presenta un método para clasificar la calidad de aguas subterráneas, usando SIG y basándose en las concentraciones de ocho parámetros, los que reúne en dos grupos de acuerdo a su dificultad de remoción, Este método compara las concentraciones de cada parámetro en cada punto de la zona de estudio (obtenidas por interpolación espacial a partir de datos puntuales de pozos) con los valores guía (GL) y máximo (MAC) establecidos en la antigua norma europea 80/778/EEC, Obtiene un índice de calidad general (5 clases) calculado a partir de la calidad de ambos grupos definidos para un momento dado, así como un índice temporal (3 clases) calculado al comparar resultados en dos momentos dados, La visualización del resultado la presenta mediante mapas intermedios con concentraciones, y mapas finales de la calidad y de la tendencia temporal.

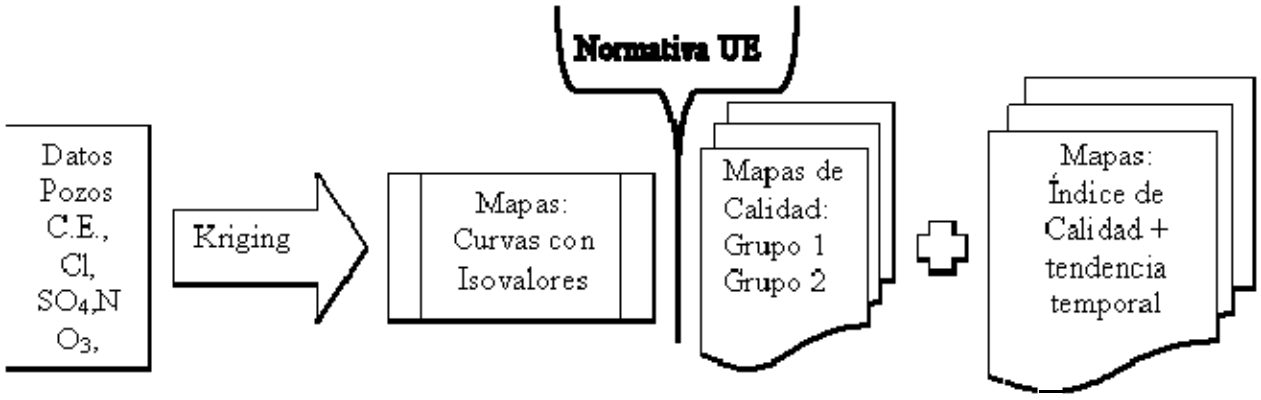


Figura 2.4: Esquema simplificado de la metodología Italia.

2.3.1.1 Características deseables y/o ventajas

- Utiliza parámetros fijos en número razonable (8).
- Agrupa los parámetros en grupos según criterio de dificultad de tratamiento de remoción (Grupo 1: Cond. eléctrica, Dureza, Cl, SO_4; Grupo 2: NO_3, Fe, Mn, NH_4).
- Desarrolla pasos de fácil comprensión e intuitivos.

- Utiliza herramientas SIG para procesar e integrar información disponible.
- Realiza interpolación espacial de concentraciones de los parámetros, para luego obtener valores en celdas (mapa raster).
- Entrega resultados intermedios compuestos por mapas de concentraciones de parámetros y de índices de calidad para cada grupo.
- Se obtienen mapas de los índices de calidad presentando los resultados de manera cualitativa mediante categorías.
- Considera un análisis temporal de cambios en el índice de calidad entre períodos distintos.

2.3.1.2 Características no deseables y/o desventajas

- Parámetros escogidos pueden ser redundantes.
- Utiliza como referencia una norma ya caducada.
- Algunos parámetros usados (Mn, Fe, NH4) no están siempre disponibles localmente, por lo que aplicación en sector-acuífero El Loa fue incompleta.

2.3.1.3 Otras características

- Aplicable a un único acuífero, por lo que requiere una caracterización previa.
- Requiere uso de Excel en versión 2007 u otro programa que permita trabajar con una mayor cantidad de información (celdas).
- Realiza una comparación temporal a escala anual.
- No considera el nivel de actividad antrópica que pueda existir en superficie.
- Requiere información de concentración de parámetros bien distribuida espacialmente.

2.3.1.4 Resultados

- Genera mapas intermedios con interpolación espacial de concentraciones de parámetros.

- Genera mapas intermedios de los índice de calidad de cada grupo, con 3 clases cualitativas.
- Genera un mapa final del índice de calidad global, con 5 clases cualitativas.
- Genera un mapa final de la tendencia temporal, con 5 clases cualitativas.

2.3.2 Metodología de Japón

Esta metodología, revisada a partir de la publicación "Assessing groundwater quality using GIS" de Babiker et al, (2006), propone un índice de calidad de las aguas subterráneas (GQI, *Groundwater Quality Index*), basado en un SIG, considera la información disponible de 7 parámetros de calidad química de las aguas, comparándolos con valores de la norma OMS para el agua potable. De la comparación surgen índices numéricos para cada parámetro y que finalmente se traduce en un índice con valores variables entre 1% (mala calidad) y 100% (buena calidad), mediante una suma ponderada. El resultado es un mapa con escala cuantitativa. La metodología plantea un segundo índice de calidad (GQI potencial) que consiste en replicar la metodología pero con el paso previo de analizar la correlación entre los parámetros con el fin obtener los 3 parámetros más independientes. Plantea un análisis temporal cada 3 meses, aplicando la misma metodología.

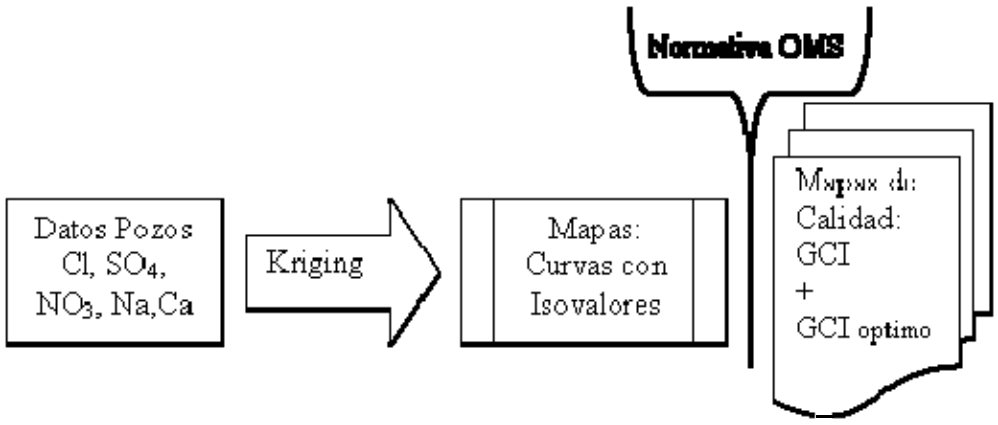


Figura 2.5: Esquema simplificado de la metodología Japón.

2.3.2.1 Características deseables y/o ventajas

- No restringe el número de parámetros, ni cuáles utilizar, permitiendo agregar o eliminar dependiendo de la zona de estudio.
- Uno de los índices de calidad, el GCI óptimo, se obtiene a partir de parámetros independientes, y no de parámetros con mayor grado de redundancia.
- Compara las concentraciones en el acuífero con recomendaciones de la OMS consistente en un único valor para cada parámetro, de modo que el índice de calidad se refiere a los efectos en la salud.
- Realiza interpolación espacial de concentraciones de los parámetros, para luego obtener valores en celdas (mapa *raster*).
- Entrega resultados intermedios compuestos de índices numéricos utilizados para determinar índice de calidad.
- Genera un mapa final del índice de calidad, obtenido por la interpolación espacial de los índices intermedios, generando una mayor discretización de resultados.
- Considera el análisis temporal de cambios en el índice de calidad a escala estacional (3 meses).

2.3.2.2 Características no deseables y/o desventajas

- Obtiene dos índices de calidad, que difieren en número de parámetros de calidad usados y por ende, no necesariamente coinciden, por lo que genera confusión, Un índice utiliza parámetros que son redundantes, mientras que el otro no.
- Los resultados obtenidos son numéricos y se plantea una escala cualitativa con fundamentos no claros.
- Los cálculos realizados son poco intuitivos, especialmente la manipulación de los índices intermedios, además provocan que no sea posible alcanzar 100% (buena calidad).
- El análisis temporal no genera mapas y sólo indica si existen cambios y no el sentido de éste.

- El índice de calidad obtenido para dos o más acuíferos no sería comparable, si se utilizan 3 parámetros no redundantes, pues su elección depende de las características de cada uno de ellos.

2.3.2.3 Otras características

- Aplicable a un único acuífero, por lo que requiere una caracterización previa.
- No considera el nivel de actividad antrópica que pueda existir en superficie.
- Permite una ponderación de un determinado parámetro nocivo o tóxico en el cálculo del índice, pero numéricamente esta ponderación es limitada dada la expresión usada.
- Realiza una comparación temporal a una escala estacional.

2.3.2.4 Resultados

- Genera mapas intermedios con interpolación espacial de concentraciones de parámetros (Mapa primario I) e índices intermedios (Mapa primario II, Mapa de rangos).
- Genera un mapa final de las interpolaciones espaciales de índices de calidad global, con escala numérica.

2.3.3 Metodología de Portugal

Esta metodología, revisada a partir de la publicación "Application of a groundwater quality index as an assessment and communication tool in agro-environmental policies - Two Portuguese case studies" de Stigter et al, (2006), desarrolla un análisis multivariado para crear un Índice de la Calidad de las Aguas Subterráneas (GWQI) y un índice de composición de las aguas subterráneas (GWCI), como instrumentos de monitoreo de la contaminación en las aguas subterráneas, Los parámetros y la cantidad de éstos son libres, sin embargo la metodología considera eliminar aquellos que entreguen información redundante, ya sea por criterios estadísticos o químicos, por lo que la aplicación original sólo considera 4 parámetros independientes, La metodología genera dos índices, uno de calidad (GWQI) y otro de composición (GWCI), a partir de la clasificación binaria de los valores de concentraciones de parámetros de cada pozo, en los rangos definidos por los dos valores de la antigua norma europea 80/778/EEC (GL y MAC) y con los valores del primer y segundo tercil,

respectivamente, A la clasificación binaria en las clases definidas por los valores de referencia se le realiza el análisis estadístico de componentes principales (ACP), mediante el cual se obtiene una proyección ortogonal que constituye el índice de calidad respecto a muestras estándares de buena y mala calidad, El resultado se presenta como un mapa luego de la interpolación espacial del índice obtenido para cada pozo.

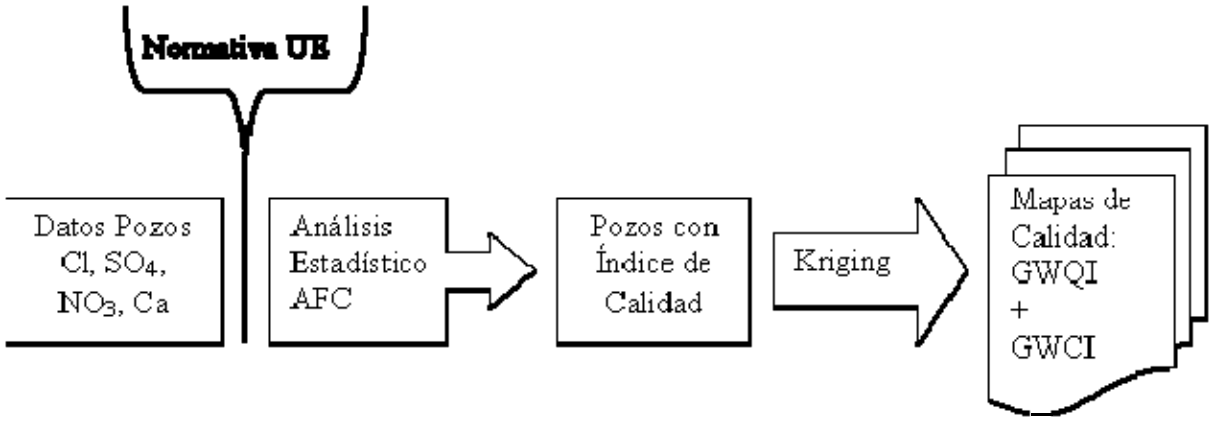


Figura 2.6: Esquema simplificado de la metodología Portugal.

2.3.3.1 Características deseables y/o ventajas

- Define a partir de criterios químicos los parámetros no redundantes (4).
- Se logró aplicar la metodología en sector-acuífero El Loa con los mismos parámetros usados originalmente.
- Compara las concentraciones de los distintos parámetros con recomendaciones oficiales (norma de agua potable) y con sí mismas.
- Desarrollo intuitivo, pese al uso de herramientas estadísticas.
- Los cálculos son desarrollados en forma rápida, sin requerir interpolaciones previas.
- Genera resultados intermedios compuestos de gráficos de correlación entre pozos respecto a referencias (norma y terciles).

- Los resultados presentados son bastantes discretizados, estableciendo 8 clases cualitativas.

2.3.3.2 Características no deseables y/o desventajas

- Utiliza como referencia una norma caducada para el índice de calidad.
- El índice de composición definido en base a los terciles entrega información relativa que puede generar clasificaciones confusas, ya que podría existir una zona de composición buena, dentro de un acuífero con calidad mala.
- No considera un análisis que indique tendencias temporales.

2.3.3.3 Otras características

- Plantea usar análisis estadístico para definir parámetros no redundantes, sin embargo realiza un análisis con criterios químicos.
- No genera mapas intermedios con información de concentraciones.
- Requiere usar un software estadístico capaz de realizar el ACP.
- Aplicable a un único acuífero, por lo que requiere una caracterización previa.
- No considera el nivel de actividad antrópica que pueda existir en superficie.

2.3.3.4 Resultados

- Genera gráficos intermedios que dan cuenta de la correlación entre pozos respecto a referencias usadas.
- Genera un mapa final de las interpolaciones espaciales de los dos índices de calidad.

2.3.4 Metodología de Israel

Esta metodología, revisada a partir de la publicación "A graphic expression of salinization and pollution of groundwater, The case of Israel's groundwater," de Melloul and Azmon (1997), desarrolla un método de clasificación de la contaminación de aguas subterráneas para lo borde costero de Israel. La metodología se basa en 2 parámetros de calidad de las aguas subterráneas, su evolución temporal, y cuatros factores principales para la evolución de la

contaminación en la zona aplicada (situación hidrogeológica-ambiental de acuífero, magnitud de la explotación de las aguas subterráneas, intrusión salina en acuíferos costeros producto de explotación, conexión de acuíferos con otros cuerpos de agua). La metodología considera caracterizar varios acuíferos simultáneamente, para luego en cada uno generar parametrógrafos con la evolución temporal de la concentración de los parámetros, y clasificar en 5 niveles de concentración (definidos como porcentaje de un valor deseado) y 5 niveles por la tendencia temporal (definido por tasa cambio de concentración anual). Finalmente, el cruce del análisis de los parametrógrafos y la tabla de caracterización de acuíferos, permite definir tipos de acuíferos y tipos de contaminación existentes.

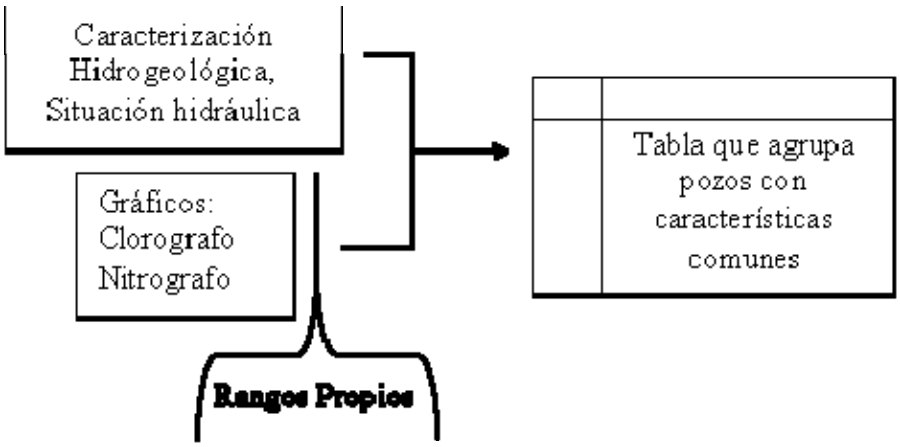


Figura 2.7: Esquema simplificado de la metodología Israel.

2.3.4.1 Características deseables y/o ventajas

- Aplica la metodología a varios acuíferos en forma simultánea, identificando las características de los acuíferos del que forman parte los pozos.
- Gráficos intermedios (parametrógrafos) son de fácil construcción.
- Se logró aplicar la metodología en sector-acuífero El Loa con los mismos parámetros usados originalmente.
- Considera el nivel de actividad en la superficie.

- Niveles de concentración definidos en base a porcentaje de cierto valor deseado dan gradualidad.
- Identifica posibles fuentes de contaminación o de las concentraciones existentes.

2.3.4.2 Características no deseables y/o desventajas

- Número reducido de parámetros (2), y muy característicos de la zona de estudio.
- Los valores deseados no se definen de acuerdo a normas establecidas.
- No entrega resultados visuales del índice, sino mediante tablas.

2.3.4.3 Otras características

- La aplicación a un único acuífero se reduce a confeccionar gráficos con tendencia temporal y a clasificar los valores según una determinada escala.
- Elección de parámetros de acuerdo a la realidad local (salinidad y actividad antrópica).
- En análisis final para definir fuentes de concentración requiere experiencia y conocimiento de la zona.

2.3.4.4 Resultados

- Genera gráficos intermedios con la evolución temporal de concentraciones de parámetros (parametrógrafos).
- Genera una tabla final con los tipos de acuíferos y contaminación que presentan.

3 ANTECEDENTES DE INSTRUMENTOS DE PROTECCIÓN

La etapa II del proyecto consideraba también la recopilación y análisis de procedimientos e instrumentos de protección de acuíferos, sobre lo cual se encontró una extensa bibliografía publicada. Se han revisaron un gran número de publicaciones y a continuación se presenta el análisis y discusión sobre las medidas descritas y posteriormente el resumen de las diez publicaciones revisadas que se consideraron como más relevantes para este proyecto.

3.1 Análisis y discusión de las medidas de protección de acuíferos

La revisión de las distintas publicaciones permitió apreciar que existen grandes diferencias en el nivel de manejo de los recursos de agua entre los distintos países, y que influyen particularmente los recursos económicos que puedan destinar a este fin, junto con el poder del gobierno para desarrollar e implementar las políticas adecuadas.

Sin embargo, las medidas propuestas se repiten siendo muchas de ellas aplicables en nuestro país, pues no requieren de grandes inversiones iniciales. En general se basan en el conocimiento de las características del sector acuífero (contexto hidrogeológico, línea base de calidad), de las principales fuentes de contaminación involucradas y del entorno socio-económico asociado al recurso. Así, bajo este conocimiento es posible identificar las áreas que necesitan de atención prioritaria, y facilita el diseño de mayores (o más precisas) medidas de protección enfocadas a cada sector acuífero en particular.

Para ello, es importante que se realice también una evaluación de los distintos roles que deben tener el estado, los organismos locales, los usuarios y el mercado, de modo que éstos queden bien definidos, tengan autoridad suficiente y exista una buena coordinación institucional y pública que sin duda es la base para la buena gestión y protección de los recursos hídricos. En este sentido, se hacen necesarias las políticas globales e integrales para todo un país, pero también la creación de organismos con una mayor competitividad en terreno, y a nivel regional, capaz de diseñar planes de manejo particulares para cada acuífero, y ejecutar políticas locales para problemas locales.

Los diversos instrumentos y medidas de protección de acuíferos, pueden dividirse en cuatro grupos principales, que son:

- Medidas de Conocimiento e Investigación
- Medidas Educacionales
- Medidas Políticas y Económicas
- Medidas de Acción Directa

Las Medidas de Conocimiento e Investigación son todas aquellas medidas indirectas que buscan conocer la cuenca y acuífero a proteger. En este sentido, estas medidas son básicas para la aplicación de cualquiera de las demás medidas y por lo tanto deben considerarse como prioritarias a nivel de política gubernamental. Muchas de ellas pueden desarrollarse a partir de una herramienta SIG, lo que genera grandes ventajas para su análisis y desarrollo de otras medidas de manejo de los acuíferos. Deben para ello realizarse los siguientes tipos de estudios:

- Determinar el contexto hidrogeológico de la cuenca (cerrada, con conexión, acuífero libre, confinado, relación con los sistemas hídricos superficiales, área de recarga, etc.) y en general desarrollo de un modelo conceptual de la cuenca. En ocasiones pueden generarse también modelos numéricos de flujo y transporte;
- Realización de mapas de vulnerabilidad de acuífero, riesgo y cargas contaminantes. En este sentido se tendrá una visión amplia de las áreas prioritarias de atención y protección;
- Evaluar la línea base de calidad de las aguas subterráneas, lo que permitirá establecer los umbrales de concentraciones de elementos que deberán considerarse como producto de contaminaciones, en comparación además con la legislación vigente de calidad de las aguas para uso potable, uso de riego, etc.;
- Conocer las potenciales fuentes de contaminación en el área (actuales y antiguas), determinar su naturaleza (composición) y otorgarles una calificación, considerando el riesgo (actividad con más riesgo de contaminar), la toxicidad (actividad más dañina si contamina) y la dificultad en limpiar un tipo de contaminación en concreto;

- Conocer los puntos de extracción de aguas subterráneas y el uso que se les da. Esto también tiene el sentido de determinar las áreas prioritarias de atención y protección;
- Monitoreos de la calidad química en tiempo real, para una temprana identificación de un problema de contaminación lo que permite tomar las decisiones adecuadas y actuar rápidamente. El diseño e instalación de la red de monitoreo, así como la ejecución de los mismos, será de responsabilidad del estado y se realizará de acuerdo a los conocimientos de todos los puntos anteriores. Hay que considerar además, el monitoreo es un instrumento para evaluar la gestión que se esté realizando en cuanto el manejo de los recursos de agua subterránea.

Las Medidas Educacionales son aquellas que tienen que ver con el conocimiento de la población sobre la importancia del recurso hídrico y su protección. Estas medidas se basan sobretodo en:

- Promover el uso racional del agua, su reciclaje y eficiencia. Y para ello estas ideas y conocimiento deben transmitirse tanto en las escuelas, como en los hogares a través de las empresas de servicios sanitarios y a las demás industrias que hacen uso del recurso. Para estos últimos deberían realizarse talleres de capacitación, considerando los diversos niveles socio-económicos de las actividades industriales y productivas del lugar;
- Promover programas de prevención de la contaminación. Ello debe realizarse también a partir de talleres de capacitación de empresas en cuanto al manejo y depósito de substancias potencialmente contaminantes, incluyendo alternativas de uso de otro tipo de substancias menos nocivas para el medio ambiente.

Las Medidas Políticas y Económicas son aquellas tienen relación directa con la elaboración de leyes, normas y directrices para la protección de los recursos hídricos, así como del diseño de planes y programas estratégicos de manejo de los mismos. Algunos de estos puntos serán globales a nivel de país, mientras que otras medidas se diseñarán para cada cuenca en particular, considerando todos aquellos puntos evaluados dentro de las Medidas de Conocimiento e Investigación. Estas medidas políticas y económicas serán:

- Promover los incentivos económicos para el ahorro del recurso, la inscripción de los derechos de aprovechamiento, utilización de substancias menos nocivas para el medioambiente, utilización de infraestructuras de calidad (sellos sanitarios en pozos), etc.;
- Promover políticas de autorregulación, es decir, multar por contaminar, considerando niveles de contaminación tolerables rigurosos, y aumentando el poder de las autoridades para cobrar y forzar la limpieza de los sectores contaminados;
- Aplicar tarifas para el uso del recurso;
- Elaboración de programas de ordenación territorial considerando los recursos hídricos y su protección;
- Otorgar permisos especiales o condicionados para nuevas actividades, especialmente en áreas vulnerables o para aquellas actividades de más riesgo;
- Traspaso de los derechos de agua al estado, y traspaso de concesiones a los privados;
- Elaboración de políticas y planes de manejo integrales, considerando todo el conjunto de recursos hídricos de un área (superficiales y subterráneos) y las fluctuaciones anuales de sus caudales.

Las Medidas de Acción Directa son aquellas que se diseñan para un sector acuífero en particular y que buscan la protección, prevención o remediación de la calidad o cantidad del recurso. Se diseñan a partir del conocimiento de los puntos evaluados en las Medidas de Conocimiento e Investigación y para la aplicación de las Medidas Políticas y Económicas, sobretodo, de aquellos puntos que tienen que ver con el plan de manejo integral de la cuenca. Estas medidas son:

Elaboración de la Zonificación del acuífero, técnica ampliamente difundida para proteger la calidad del agua subterránea que consiste en delimitar áreas de protección específicas según el funcionamiento del acuífero. La zonificación se considera necesaria para alcanzar un equilibrio entre el desarrollo económico y la protección de los acuíferos, que permite planificar, tomar decisiones, diseñar monitoreos, etc. Para ello se elaborar un mapa donde se

distingue principalmente la zona de recarga del acuífero, sobre la cual se aplica la máxima restricción de actividades ya que es donde se genera y define la calidad del recurso, y las zonas de protección, que tienen que ver con los perímetros de protección entorno los pozos de extracción, donde quedarán definidas las diversas actividades que estarán prohibidas o que pueden desarrollarse sobre ellas.

En general se diseñan entre dos y tres áreas de protección alrededor de los pozos, cuyos perímetros se pueden definir a partir de múltiples parámetros, siendo el tiempo promedio de viaje del agua al pozo por la zona saturada (ZS) el criterio más comúnmente utilizado, en conjunto con los tiempos de degradación promedio de los contaminantes. La Tabla 3.1 muestra un resumen con los perímetros de las zonas de protección propuestas en los distintos trabajos revisados:

Tabla 3.1. Perímetros de zonas de protección alrededor de pozos, de acuerdo a la literatura especializada.

	Foster et al., 2000	**Robins et al., 2007**	**Deroune y D., 1998**
ZONAS DE PROTECCIÓN	I) 10 años por la ZS	I) 50 m ZS	I) 10 m ZS
	II) 50 años (ZS)	II) 50 días ZS	IIa) +24 h o +25 m desde la zona I)
			IIb) 50 días ó 100 m ó radio influencia del pozo
			III) Área de recarga

Además en los mapas de zonificación pueden indicarse también las zonas de uso de tierras, de descarga de efluentes, de eliminación de basuras, etc.

En casos de acuíferos contaminados, también se han logrado buenos resultados identificando los horizontes contaminados y utilizando una zonificación vertical, que permite establecer la profundidad suficiente de extracción de agua para que la calidad del agua subterránea sea la adecuada;

Recarga artificial de agua en los acuíferos, técnica que se está implementado cada vez más en distintos países, y que busca generalmente resolver problemas de volumen de agua subterránea, pero también mejorar la calidad del agua o impedir o frenar la intrusión salina de acuíferos costeros. Incluso a veces también ha sido utilizada para resolver problemas de subsidencias del terreno. Consiste en la inyección directa de agua al acuífero a partir de pozos de inyección, o a partir de la infiltración inducida mediante zanjas, cuencas de detención, etc. Las aguas que se utilizan pueden ser aguas subterráneas de otra área, aguas superficiales en períodos de mayores caudales e incluso aguas servidas con tratamientos primarios cuando el método de recarga es la infiltración a través del terreno.

La recarga artificial se realiza a veces considerando solamente los acuíferos como cuerpos almacenadores de agua, de modo que en períodos de abundancia de aguas superficiales estas son "guardadas" en los acuíferos para ser bombeadas en los períodos de estiaje.

Tratamiento y descontaminación de acuíferos. Los tratamientos *in situ*, la inducción de la remediación natural, la extracción de aguas y su tratamiento en el exterior son también medidas de acción directa para la protección de la calidad de los acuíferos que impiden además la expansión de la contaminación. Cuando las aguas han sido extraídas para su tratamiento, éstas pueden ser utilizadas (para agua potable, industrial) o recargadas nuevamente al acuífero.

En general, puede decirse que las Medidas de Conocimiento e Investigación son fácilmente aplicables en Chile, e incluso muchas de ellas están siendo ya abordadas actualmente por distintos organismos. Por ejemplo, los mapas de vulnerabilidad de acuífero para todo el país se están realizando en el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN), mientras la Dirección General de Agua se ocupa de los monitoreos de calidad de las Aguas o la Superintendencia de Servicios Sanitarios tiene el control de las emisiones de efluentes líquidos en los acuíferos. En este sentido sería interesante la creación de un nuevo organismo (o que uno actual tome este rol) que recopile toda esta información y la analice y trabaje desde el punto de vista de la protección de acuíferos. La zonificación de acuíferos es también una herramienta de fácil implementación, eficiente y sencilla, que permite diseñar planes de

manejo y gestión de los recursos hídricos considerando las zonas que requieren una mejor protección. Las demás medidas de Acción Directa, tienen un costo económico más alto y pueden plantearse en determinados sectores donde exista un riesgo elevado de deterioro del recurso en cuando su calidad y/o cantidad.

Las Medidas Educacionales deberían implementarse siempre, puesto que la consciencia de la sociedad frente los problemas medioambientales son una de las mejores medidas autoregulatorias. Las Medidas Políticas y Económicas son absolutamente necesarias para que los gobiernos tengan el control en la protección de sus recursos. Muchas de las medidas descritas ya existen en nuestro país aunque parece necesario que el estado tenga más capacidad y autoridad para implementar tales medidas o que estas sean más duras (multas) de modo que las actividades privadas se autorregulen mejor. Hay que considerar que estas medidas, son quizás las que serían más lentas de implementar en este país ya que requieren de la elaboración (o modificación) de nuevas normativas y leyes.

3.2 Referencias usadas

Belousova, A.P. (2003). The Basic Principles and Recommendations for the Assessment and Mapping of the Degree of Groundwater Protection against Pollution. *Water Resources*, **30** (6): 613-622.

Cobb, R.P., Dulka, A. (1996). Illinois Community Examines Aquifer Protection Measures. *Journal American Water Works Association*, **88** (11): 10-10.

Deroune, J., Dassargues, A. (1998). Delineation of Groundwater Protection Zones Based on Tracer Tests and Transport Modeling in Alluvial Sediments. *Environmental Geology*, **36** (1-2): 27- 36.

DuMars, C.T., Minier, J.D. (2004). The Evolution of Groundwater Rightsand Groundwater Management in New Mexico and the Western United Status. *Hydrogeology Journal*, **12**, 40-51.

Foster, S., Hirata, R., Gomes, D., D`Elia, M., Paris, M. (2002) *Groundwater Quality Protection: a guide for water service companies, municipal authorities and environment agencies.* The World Bank, GWMATE, Washington. 101 p.

Han, Z. (2003). Groundwater Resources Protection and Land Aquifer Recovery in China. *Environmental Geology*, **44**, 106-111.

Henton, P. y Young, P.J. (1993). Contamined Land and Aquifer Protection. *Water and Environmental Journal*, **7** (5): 539-546.

Martínez, C., Grima, J., Durán, J.J., Gómez, J.D., Luque, J.A. y de la Orden, J.A. (2008). Groundwater Protection in Mediterranean Countries after the European Water Framework Directive. *Environmental Geology*, **54** (3), 537-550.

Mukherji, A. y Shah, T. (2005). Groundwater Socio-ecology and Governance: A Review of Institutions and Policies in Selected Countries. *Hydrogeology Journal,* **13** (1): 328-345.

Robins, N.S. y Chilton, P.J. (2007). Adapting Existing Experience with Aquifer Vulnerability and Groundwater Protection for Africa. *Journal of African Science,* **47**, 30-38

Robins, N.S., Jones, H.K. y Ellis, J. (1999). An Aquifer Management Case Study - The Chalk of the English South Downs. *Water Resources Management*, **13**, 205-218.

3.3 Análisis crítico de referencias

3.3.1 Publicación de "Illinois Community Examines Aquifer Protection Measures" de Cobb y Dulka (1996)

El OBJETIVO del trabajo realizado por estos autores consistió en la implementación de medidas proactivas para la protección de recursos de aguas subterráneas vulnerables, las cuales se llevaron a cabo en una campaña de prevención en una compañía local en la Comunidad de Marengo, Illinois, EUA.

Las MEDIDAS propuestas y aplicadas fueron las siguientes:

1. Creación de un Equipo de Protección de las Aguas Subterráneas para evaluar diversos programas sobre manejo y protección del área de recarga utilizados en lugares específicos.

2. Otorgar permisos de uso especial y condicional en la zona de recarga, para la localización o expansión de operaciones comerciales e industriales en el área.

3. Dado que la mayor parte del área de recarga está ocupada actualmente por comercio e industrias se propone implementar técnicas para prevenir la contaminación, lo que se considera una excelente ayuda para determinar fuentes de contaminación de agua subterránea.

4. Promover programas de prevención de la contaminación voluntarios en el sector comercial, enfocado en identificar y en lo posible reemplazar sustancias riesgosas involucradas en los procesos productivos. Una opción al reemplazo es la eliminación de los productos residuales peligrosos. Con ello, lo que se intenta lograr es:

a. Disminuir los costos, al reducir los costos de eliminación de residuos y el gasto en materiales sin refinar.

b. Reducir el impacto medioambiental.

5. Crear un grupo de trabajo que promueva talleres de capacitación para empresas, sobre prevención de contaminación.

6. Se entregan folletos ilustrados a la comunidad en que si indican las áreas de recarga de los pozos y los usos asignados a cada sector.

Los RESULTADOS de la implementación de estas medidas fueron los siguientes:

- Reducción en los costos de operación (75% menos en insumo de material no refinado).

- Disminución del riesgo de responsabilidad civil o criminal.

- Aumentar la seguridad laboral.

- Mejora en la imagen de la empresa ente la comunidad.

- Protección de la salud pública y el medio ambiente.

3.3.2 Publicación de "Groundwater Resources Protection and Land Aquifer Recovery in China" de Han (2003)

El OBJETIVO del trabajo fue evaluar el uso de la recarga artificial para enfrentar problemas de protección y recuperación de acuíferos en que su calidad química se ha visto afectada por la sobreexplotación del acuífero. Se consideran para ello, como importantes opciones de recarga las aguas servidas y flujos de agua, especialmente en el manejo cuantitativo del recurso. Las medidas propuestas se evalúan para tres casos de estudio, en Shangai, Chaobi y

Río Amarillo y Río Hai, en China, donde los problemas de subsidencia, intrusión salina y degradación de la salinidad están asociados con la sobre explotación del acuífero confinado profundo.

Las MEDIDAS propuestas son las siguientes:

1. Reducir el volumen de agua extraído, a partir de la sustitución de éstas aguas por aguas servidas, realizando transferencias inter-cuencas y promoviendo una mayor eficiencia en la irrigación.

2. Recarga artificial mediante:

a. Infiltración: recarga en sistemas superficiales (difusión en cuencas y zanjas)

b. Inyección profunda por pozos: recarga en sistemas profundos.

Se considera para ello la posibilidad de utilización de aguas servidas para recarga del siguiente modo:

- En terrenos con granulometría gruesa: las aguas servidas sólo requieren un tratamiento de bajo estándar y se puede aplicar irrigación superficial fácilmente.

- En los terrenos de grano más fino: destacan los paleocanales cuyas tazas de infiltración pueden ser mejores.

- Para inyección con pozo profundo se requiere un tratamiento terciario del agua servida.

Para producir esta recarga artificial también se considera la creación de *cuencas de detención*, donde el agua es contenida en presas instaladas en los mayores ríos. Además las áreas entre las presas se consideran como potenciales superficies de recarga artificial. Sin embargo la alta turbidez de los flujos de agua, suele generar superficies de embaucamiento que dificultan el drenaje.

3. Combinar las dos anteriores.

Los tres CASOS de estudio y sus RESULTADOS de la aplicación de estas medidas fueron los siguientes:

- Para el caso de Shanghai, donde se quería controlar problemas de subsidencia inyectando agua de buena calidad en pozos profundos, los resultados fueron muy exitosos.

- Para el caso del Río Chaobi, donde se querían aumentar los recursos de agua subterránea y para ello se generaron áreas de infiltración artificial construyendo una serie de presas, los resultados fueron buenos.

- Para los casos del Río Amarillo y Río Hai, en que ambas cuencas sufren una alta sobreexplotación de sus recursos hídricos, se aplicó recarga artificial en los acuíferos. Dado que las dos cuencas presentan diferentes condiciones geológicas obtuvieron cada una de ellas una distinta respuesta a la recarga. En el Río Amarillo que posee un suelo con mucho limo, la tasa de infiltración es media y por lo tanto, el potencial de recarga artificial se considera también medio. En el Río Hai que presenta condiciones geológicas más favorables para la infiltración, cuando se produce un flujo bajo, donde la turbidez también es baja, se generan condiciones atractivas para realizar recarga artificial.

3.3.3 Publicación de "The Evolution of Groundwater Rights and Groundwater Management in New Mexico and the Western United States" de DuMars y Minier (2004)

El OBJETIVO del trabajo fue demostrar la necesidad de desarrollar criterios y capacidades, y no sólo técnicas y medidas legislativas para la protección de los recursos hídricos. Las medidas de manejo de los recursos de agua subterránea tienen que depender en gran parte de si se trata de una cuenca cerrada o con conexión hidráulica a ríos u otras cuencas. La clave para su éxito es considerar a los acuíferos como instalaciones de almacenamiento de agua reciclada. Se presentan cuatro casos de estudio en Ohio, Arizona, Nuevo México y Texas, EUA.

Las MEDIDAS propuestas fueron las siguientes

1. Desviar las aguas superficiales en períodos de escorrentía, o cuando no se vayan a utilizar de otra forma (especialmente en años lluviosos), al flujo subterráneo mediante cuencas de infiltración o inyección dirigida.

2. Extracción y tratamiento de agua de menor calidad que se encuentre naturalmente almacenada, pero que no haya sido intervenida por el costo de su tratamiento.

3. Tratamiento de efluentes industriales que anteriormente eran incorporados a los flujos para ser diluidas en agua limpia.

Destaca de este punto las múltiples aplicaciones del agua una vez tratada; ésta puede ser introducida como suministro en el acuífero y así contrarrestar la depresión del agua subterránea por bombeo, mejorar la calidad del acuífero y para aumentar la superficie de flujo a través del agua subterránea infiltrada.

Los cuatro CASOS de estudio y sus RESULTADOS fueron los siguientes:

- En el caso de Dayton, Ohio, existe un sistema de recarga artificial desde 1930 para mantener los niveles de agua subterránea lo suficientemente altos, como para permitir largas ejecuciones de bombeo de alta demanda, para uso municipal e industrial. El sistema desvía el agua desde ríos cercanos a una serie de cuencas de infiltración para recargar el acuífero inferior. Los resultados de este proyecto son buenos, pero requiere un mantenimiento periódico para remover los sedimentos acumulados desde las cuencas.

- En el caso del Río Colorado, Arizona, se realizó la creación de una banca de agua para maximizar el beneficio de las aguas del Río Colorado. En vez de perder el agua mediante su consumo directo, ésta es destinada a una Central donde es utilizada para recargar el acuífero mediante cuencas de infiltración e inyección directa. Posteriormente el agua recargada puede ser bombeada y se asegura su uso en el futuro.

- El caso de la cuenca Tularosa, Nuevo México, implementó un proyecto para evaluar tecnologías para desalinización de aguas subterráneas salobres, de modo de generar nuevas fuentes de agua, especialmente en cuencas cerradas. Los resultados de este proyecto siguen en estudio-

- En el caso de El Paso, Texas, se implementaron plantas de tratamiento de aguas servidas para estándar de agua potable. El agua limpia se inyecta directamente en el acuífero mediante pozos, permaneciendo en él largo tiempo antes de ser bombeada dada la lejanía entre la zona de recarga y de extracción. Este tratamiento de aguas servidas se ha difundido exitosamente, por sus múltiples aplicaciones (recarga de acuíferos, irrigación, uso comercial e industrial y control de intrusiones salinas).

3.3.4 Publicación de "Groundwater Quality Protection" de Foster et al. (2002)

El OBJETIVO del trabajo fue aplicar y evaluar la zonificación de acuíferos como medida de protección de la calidad de sus aguas. Se evaluaron los casos de Barbados y Caçapava, Brasil.

Las MEDIDAS propuestas fueron las siguientes:

1. Establecer una zonificación de la superficie del acuífero para el uso de tierras, descarga de efluentes y eliminación de basura. Su importancia para la protección de acuíferos se basa en:

- Permite el manejo de situaciones en que se deban tomar decisiones que afecten a las aguas subterráneas, sin necesidad de realizar cada vez un estudio distinto.

- No es posible definir medidas de protección para toda el agua subterránea, una zonificación es necesaria para alcanzar un equilibrio entre el desarrollo económico y la protección de acuíferos.

- La zonificación de acuíferos es clave para definir planes de monitoreo, auditorias a industrias, control de la contaminación a nivel agrícola y en la instrucción pública en general.

2. Evaluar la capacidad natural de atenuación de la contaminación de cada acuífero, pues en base a esto se recomienda definir el nivel de control y las actividades de mayor riesgo.

3. Delinear el área de captura de las fuentes de abastecimiento de agua, y luego evaluar la vulnerabilidad y la carga de contaminación subsuperficial en esa zona. Según esto elaborar las medidas de restricción pertinentes.

Los CASOS de estudio y sus RESULTADOS fueron los siguientes:

- Para el caso de Barbados, se realizó una delimitación de áreas protegidas de captación de agua subterránea, aún cuando no se conocía completamente el régimen del acuífero ni los riesgos de contaminación. El perímetro de cada zona se definió según el tiempo promedio de viaje del agua subterránea hasta los pozos de extracción. Los resultados obtenidos fueron en su mayoría exitosos. Surgieron sin embargo nuevos problemas que solucionar, como el alto uso de pesticidas y fertilizantes, y los vertederos artificiales.

- Para el caso de Caçapava, Brasil, se realizó la aplicación de técnicas de manejo de datos en GIS para controlar los riegos de contaminación, lo que permite almacenar, actualizar y manipular gran cantidad de información. En particular se desarrollaron los siguientes puntos:

1. Definición de vulnerabilidad del acuífero con metodología GOD.

2. Delineación de los perímetros de protección y las zonas de captura de los acuíferos involucrados con los pozos de abastecimiento. Se consideraron entre 10 y 50 años de tiempo de viaje en la zona saturada.

3. Medición e inventario de las fuentes de contaminación potencial (industrias y estaciones de gas), luego se les asignó una calificación según su potencial para generar una carga contaminante subsuperficial.

4. Identificar en la base de datos los lugares más complicados en la protección de las fuentes de abastecimiento de aguas potable, para tomar medidas prioritarias o someterlos a vigilancia especial.

Los resultados obtenidos fueron buenos; las bases de datos GIS se consideran un método muy apropiado para trabajar con protección de la contaminación de agua subterránea.

3.3.5 Publicación de "Groundwater Socio-ecology and Governance: a Review of Institutions and Policies in Selected Countries" de Mukherji y Shah (2005):

El OBJETIVO de este trabajo es el de evaluar y promover el rol de los gobiernos, instituciones públicas y agrupaciones locales en el manejo de la gestión del agua. El contexto de este estudio es que se postula que la crisis en el manejo del agua está determinada principalmente por un problema de gobierno, para el que se requiere:

- En primer lugar, reunir información adecuada y de buen nivel, no sólo hidrogeológica, sino también socio-económica. Muchas veces este tipo de estudios existen, pero están diseminados o su acceso se restringe a privados expertos en aguas subterráneas.
- Un problema comúnmente arraigado en el sector de manejo de aguas subterráneas, es la asignación errónea de roles y responsabilidades a las diversas entidades involucradas en el negocio del manejo de las aguas subterráneas.

Se pretende recalcar la dificultad involucrada en legislar sobre agua subterránea. En este sentido se presenta el caso de España, que cuenta con una cantidad relativamente reducida de pozos, acuíferos pequeños, buena economía, sin dependencia directa del agua subterránea para la irrigación y con mejores relaciones con los agricultores. Y Se compara con tres casos de países en vías de desarrollo (China, India y México) donde hay muchos otros puntos sin resolver.

Las MEDIDAS que se proponen para desarrollar políticas de protección de aguas subterráneas son las siguientes:

1. Manejo de los recursos de agua subterránea directo por parte de organismos de aguas subterráneas mediante:

- Intervención y regulación legal, para su cumplimiento obligatorio.
- Creación de nuevas instituciones y modificación de derechos de aguas.
- Aplicación de una tarifa a los recursos de agua como incentivo económico para ahorrar el recurso.

2. Manejo comunitario por parte de agrupaciones locales, que desarrollen mecanismos sustentables para el manejo del agua.

3. Manejo estratégico indirecto de los recursos hídricos, dado que los sectores de mayor consumo, que por lo general escapan a las autoridades de manejo de agua. Se estima que sería más efectivo acotar el consumo influyendo en otras entidades que influyen en la cantidad de consumo (compañías eléctricas, agricultores).

Así, en la siguiente se muestra un esquema de la importancia de los roles que debieran adquirir los distintos actores civiles y políticos en el manejo y gestión del agua, en comparación con la importancia de sus roles actuales, los cuales se muestran descompensados con el papel principal para los gobiernos y pequeña intervención en la sociedad civil y políticas regionales.

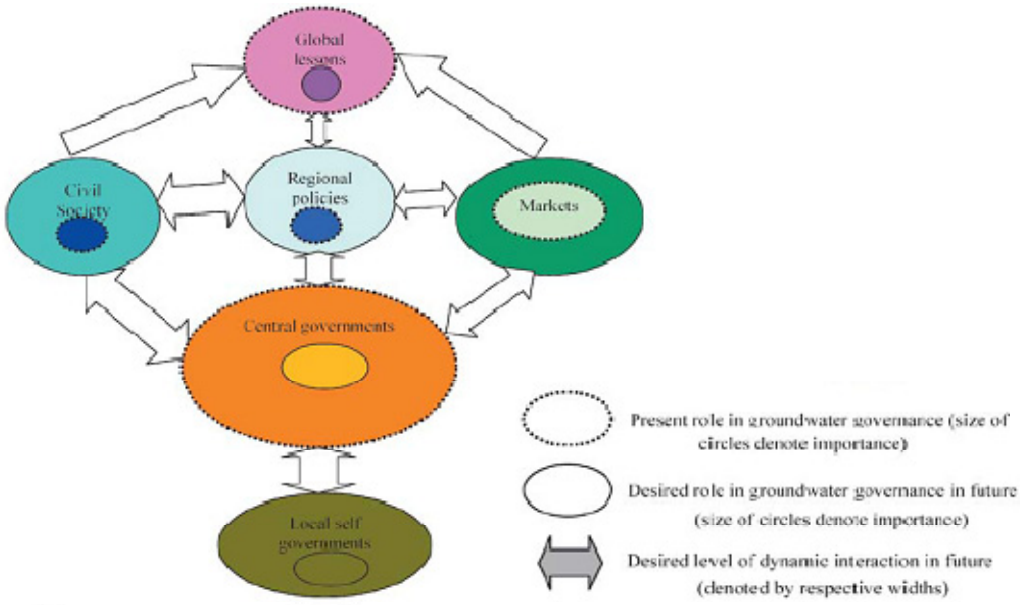


Figura 3.1: Esquema de la importancia en los roles que deben adquirir los distintos actores políticos y locales en la gestión de los recursos hídricos

Los CASOS evaluados y los RESULTADOS obtenidos fueron los siguientes:

El caso de Chang Zhou, Hannan, China, trata de una zona con una intensa demanda de recursos de agua subterránea, donde se han difundido tecnologías de micro-irrigación y se ha eliminado completamente el cultivo de arrozales. En este país se ha logrado tomar este tipo de medidas, gracias al tipo de gobierno fuerte y bien institucionalizado, donde cada organismo posee roles claramente delimitados. Como resultados de estas políticas, se han alcanzado ciertos avances, pero aún existen regiones críticas en el norte de China, donde a pesar de las estrictas normas impuestas, el nivel del agua sigue en descenso. Se atribuye a una alta tasa de evapotranspiración y bajas precipitaciones.

Los casos de las regiones de Rajasthan y Gujarat, India, que presentan situación críticas, se han creado iniciativas populares para recargar las aguas subterráneas. Eso sí, más que dirigidas al manejo de las aguas subterráneas, su atención apunta a un aumento del suministro. Los resultados son bastante buenos. No obstante el recelo de algunos expertos, esta medida representa una oportunidad para mejorar el manejo de los recursos de aguas subterráneas.

En el caso de España, desde hace años se aplicaron una serie de medidas para cambiar las políticas de manejo del agua. Los principales puntos de interés fueron los siguientes:

- El año 1985 se creó un acta en la cual se quitaron los derechos de agua de los privados y se traspasaron al gobierno.
- A las organizaciones Confederaciones Hidrográficas se les otorgó el manejo de aguas subterráneas, con el poder de otorgar permisos de uso de agua subterránea y declarar un acuífero como sobreexplotado (y en tal caso formular un plan de manejo para protegerlo).
- Algunos de los puntos que considera el plan de protección de acuíferos son:
    - Reducir el volumen de extracción de los pozos.
    - Todos los usuarios del acuífero deben organizarse bajo asociaciones de usuarios de agua subterránea para fomentar su participación.
    - Los resultados de estas políticas, no han sido muy buenas porqué no han sido 100% implementadas. Por ejemplo, realizando una evaluación después de 15 años desde la ley de 1985, se observa que:
    - Aún se encuentra incompleta la declaración de los derechos de agua.
    - Han sido registradas menos de un cuarto de las estructuras relacionadas con agua subterránea.
    - De los acuíferos considerados total o parcialmente sobreexplotados, sólo en unos pocos se han logrado formar las asociaciones de usuarios.

Los dos primeros puntos se atribuyen a la insuficiencia de recursos humanos en las entidades a cargo.

El caso de México se presenta porqué se trata del país que mayores cambios legislativos ha realizado sobre recursos hídricos. Estos son:

- Creación de la Comisión Nacional del Agua (CNA) entre cuyas responsabilidades está registrar las concesiones de usos de agua.

- La CNA está autorizada para establecer una estructura fiscalizadora que controle y monitoree estas concesiones.
- La CNA debe promover las COTAS (consejos para el manejo de acuíferos y otros recursos hídricos).
- Declaración del agua como propiedad nacional.
- En cuanto a la administración del agua, la CNA ha adoptado herramientas regulatorias, económicas y participativas.
- El mayor desafío ha sido registrar los derechos de agua de los usuarios agrícolas y el monitoreo de sus extracciones, que abarcan un 80% del volumen de agua extraído. Para ello se implementó un 'anzuelo' de subsidio eléctrico para quienes regularicen su situación con la CNA.

Los resultados que se obtuvieron fueron los siguientes:

- En el caso de las COTAS, hay grupos en distintos niveles, sin embargo su mayor defecto está en que ha fallado en proveer acceso total al agua subterránea, que es lo más valorado por sus potenciales miembros (agricultores).
- Debido a la baja participación de la gente, la mayoría de las COTAS han optado por dedicarse a actividades tales como investigación y educación pública, lo que se aleja del problema del uso de agua subterránea en agricultura a corto plazo.
- La visión de los COTAS es que los usuarios monitoreen por si mismos su extracción según el nivel acordado. Para la mayoría reducir la sobreexplotación de agua subterránea representa una quimera.
- Los agricultores responden positivamente a los incentivos económicos directos, sin embargo al prohibir la construcción de nuevos pozos en zonas críticas, aparentemente se duplica la cantidad de nuevas perforaciones de pozos. Esto indica que las barreras administrativas deben considerar la situación socio- económica.

3.3.6 Publicación de "Adapting Existing Experience with the Aquifer Vulnerability and Groundwater Protection for Africa" de Robins et al. (2007):

El OBJETIVO del estudio es desarrollar técnicas para el cálculo de la vulnerabilidad y manejo de agua en África. Entre los temas a tratar se encuentran:

- La correcta delimitación de la zona vadosa como parámetro.
- La falta de materia legislativa sobre protección de acuíferos en la mayoría de los países africanos.
- Destaca que las comunidades más pobres son las que padecen mayor riesgo, lo que indica que se deben integrar parámetros sociales en la evaluación de la vulnerabilidad de los acuíferos.

Para ello se presentan seis casos de estudio, uno del Reino Unido, y cinco de África, en Uganda, Zambia, Tanzania, Nigeria y Senegal.

Las MEDIDAS que se proponen son las siguientes:

1. Desarrollo de políticas y prácticas más extensas para la protección de acuíferos regionales.

2. Políticas para la protección de fuentes de abastecimiento individuales, que son tratadas de manera local.

3. Elaboración de una guía técnica creada por el *South African Department of Water Affair and Forestry* (DWAF) para enfrentar el problema de la contaminación del agua subterránea. Entre otras cosas, establece distancias mínimas entre los pozos y los puntos de polución. Además propone considerar profundidad del nivel del agua, composición del suelo y características del acuífero.

4. Enfocar la estrategia de protección en los siguientes puntos:

- Atención en las zonas donde existen servicios sanitarios cerca.
- Buena construcción de los pozos, con los sellos sanitarios apropiados.
- Adecuada infraestructura, incluyendo canales de drenaje, instalaciones de lavado y cercas para alejar a los animales.

- Zonificación local de las fuentes, para controlar actividades determinadas.

Los CASOS de estudio y/o sus RESULTADOS son los siguientes:

- En el caso del Reino Unido se aplicaron las siguientes medidas:

1. Delimitación de zonas de protección:

- Zona interna alrededor de 50 m del punto de extracción.
- Zona posterior que abarca el área desde la cual el agua viaja hasta 50 días, por considerarse un lapso de tiempo suficiente para la eliminación de la mayoría de los agentes patógenos.
- Se delimitan también dos zonas más lejanas para controlar actividades riesgosas.

2. Diálogo con los sectores agrícola e industrial, mediante un plan piloto para controlar la contaminación agrícola. Los agricultores dentro de las denominadas *Nitrate Sensitive Areas* fueron compensados por la pérdida de sus cultivos debido a la reducción en la aplicación de nitrógeno.

Los resultados que se obtuvieron fueron exitosos; el plan de control de contaminación agrícola está ampliamente difundido en Europa, pero involucra un costo de subsidio significativo.

- En el caso de Uganda, se trabajó en un área donde existía un problema con una bacteria fecal que era transportada desde letrinas, a vertientes o pozos de producción. Para solucionar el problema se establecieron una serie de pautas para establecer la separación horizontal entre las instalaciones sanitarias y las fuentes de agua potable. Los resultados fueron exitosos, incluso durante las estaciones lluviosas. Ha sido extendido a otros países africanos subsaharianos, donde no ha sido posible aplicar técnicas convencionales.
- El caso de Lusaka, Zambia, presentaba un acuífero dolomítico sobreexplotado, que desarrolló problemas de depresiones por compactación (subsidencia del terreno) en la zona urbana. Se aplicó un método análogo al utilizado en Inglaterra para los sistemas

acuíferos en calizas, delimitando áreas de zonificación un radio de protección de 1.000 m alrededor de las fuentes de abastecimiento de agua.

- En el caso de Dar es Salaam, Tanzania, se implementó un índice de protección para fuentes individuales (WYDUL) como herramienta de planificación a largo plazo. Este índice que incluye calidad del agua, rendimiento, índice DRASTIC, importancia social o uso de la fuente y uso del terreno. Posteriormente se implementó un plan estratégico que incluía la identificación de las fuentes de contaminación, el manejo de información y bases de datos, el desarrollo de un mapa de vulnerabilidad, la estimación de las áreas de protección necesarias y su prioridad, la configuración de red de monitoreo y un aumento de la coordinación institucional y participación pública.
- En el caso de Calabar, Nigeria, se utilizó la vulnerabilidad de los acuíferos como herramienta de planificación. En este caso, dado que el acuífero abastece la mayor parte del área y se veía amenazado por el desarrollo industrial, se evaluó su vulnerabilidad utilizando como parámetros claves las propiedades del acuífero, el espesor de las lateritas y la profundidad del nivel freático. Como resultados el área del acuífero fue dividida en aproximadamente tres áreas iguales, de baja, media y alta vulnerabilidad.
- En el caso de Yeumbeul, Senegal, 7.000 familias sacaban agua de un acuífero somero. La distancia del pozo a la letrina más cercana era de 36 m y se encontró una relación entre la concentración de nitrato en el pozo y la letrina. La extrapolación de los datos indicó que la separación horizontal óptima entre el pozo y la letrina era de 50 m. Así, el acuífero fue dividido en tres zonas horizontales según su vulnerabilidad.

Como resultados generales del estudio se observó que prohibir a la gente hacer algo que ha estado haciendo durante largo tiempo legalmente, acarrea conflictos sociales y culturales. Se plantea la interrogante sobre el costo que ello significa y quien lo asume.

3.3.7 Publicación de "Delineation of Groundwater Protection Zones Based on Tracer Tests and Transport Modeling in Alluvial Sediments" de Deroune y Dassargues (1998):

El OBJETIVO del estudio fue delimitar con exactitud las zonas de protección de cada pozo, utilizando trazadores y modelación numérica.

Las MEDIDAS tomadas para la protección de los acuíferos fueron las siguientes:

1. Delimitar zonas de protección, dentro de las cuales ciertas actividades son reguladas o prohibidas. Las regulaciones se basan principalmente en el tiempo de transferencia de los contaminantes en la zona saturada del acuífero, o en algunos casos simplemente en la distancia desde el pozo de bombeo.

3. Se definen tres tipos de zonas, cuya extensión depende en gran parte de la heterogeneidad de los estratos, por lo que el modelo de distribución espacial es relevante. Éstas son:

a. *Zona I o de abastecimiento*: abarca un radio de 10 m alrededor de las instalaciones.

b. *Zona II o de prevención*: se divide en la Zona IIa, inmediata a la Zona I, que incluye el perímetro dentro del cual el tránsito de la polución tarda 24 horas. Debe ubicarse al menos a 25 m de la Zona I. Le sigue la Zona IIb que abarca el área donde el tránsito de la contaminación es de 50 días y un radio mínimo de 100 m.

c. *Zona III o de observación*: se le denomina a toda el área de recarga de la cuenca.

Para delimitar las zonas de protección se desarrolla un modelo conceptual del acuífero, el cual se caracteriza con la medición de los parámetros hidrodinámicos e hidrodispersivos del acuífero aluvial, construyendo nuevos pozos o piezómetros para obtener información litológica, y con las políticas de extracción, las entradas y salidas, etc. se genera un modelo numérico de flujo y transporte adecuado para establecer la extensión de cada zona.

El RESULTADO de la aplicación completa de la metodología completa fue que el modelo numérico resultó ser la mejor representación de la realidad, según las conclusiones obtenidas al calibrar el flujo subterráneo y el transporte de contaminantes. Se trata de una herramienta muy poderosa para el manejo de acuíferos, puede utilizarse con propósitos previsores en diversas situaciones.

Al compararlo con otros métodos, posee grandes ventajas, pero su alto costo dificulta su implementación. Por ello se destacan dos criterios aplicables a la delimitación de las Zonas IIa y IIb:

- Distancias fijas
- Cálculo del tiempo de tránsito con métodos analíticos o empíricos basados en la ley de Darcy.
- Distancias correspondientes al radio de influencia del pozo (Zona IIb)

3.3.8 Publicación de "An Aquifer Management Case Study – The Chalk of the English South Downs" de Robins et al. (1999):

El OBJETIVO del estudio fue presentar caso de manejo de un acuífero intensamente explotado, con riesgo de intrusión salina y contaminación por asentamiento urbano en la zona. La estrategia de manejo se basa en una visionaria política de protección de acuíferos aprobada en 1985 y que se aplicó en South Downs, en el Reino Unido.

Las MEDIDAS adoptadas fueron las siguientes:

1. Reconocer el potencial contaminante de las recargas de agua en los pozos. Luego se aseguró proteger los pozos del área de la ciudad, restringiendo el uso de suelos localmente a parques.

2. Una vez reconocida la intrusión salina (en su etapa temprana), se crea una política de manejo donde se diferencia el uso del acuífero según la estación del año.

- En invierno se privilegia la extracción de estaciones costeras de bombeo ("pozos de fuga"), para interceptar el agua fresca que se infiltra hacia el mar.
- En verano se utilizan los pozos ubicados tierra adentro ("pozos de almacenamiento").
- Se monitorea cuidadosamente la concentración de iones cloruro durante los inviernos secos para prevenir sobreexplotación de las estaciones de fuga.

3. Planificación de nuevos pozos que maximicen el rendimiento y minimicen los riesgos de intrusión salina. Parte de este trabajo abarca la implementación de amplias redes de monitoreo (incluyendo geofísica).

4. Durante períodos de sequía se limitan ciertos usos de agua.

5. Control centralizado del sistema de abastecimiento de agua por un sistema de telemetría en dos bloques del acuífero.

6. Privatización del negocio del agua en 1989, transfiriendo planes de manejo, licencias y medidas de protección a la Autoridad Nacional de Ríos (NRA). Esto separa las áreas de regulación y de abastecimiento de la industria del agua, otorgándole al manejo de los recursos de agua y a la protección del ambiente del agua la mayor prioridad hasta ahora.

7. Aplicación de políticas por parte de la NRA respecto al manejo de los recursos de agua basadas en los conceptos de desarrollo sustentable, principio preventivo y manejo y cuantificación de la demanda

8. Políticas adoptadas en South Downs:

- Evitar otorgar licencias de extracción adicionales del acuífero, reconociendo que una larga proporción de los recursos naturales ya han sido permitidos.
- En lo posible redistribuir los recursos de agua existentes más que desarrollar nuevas fuentes. Al mismo tiempo maximizar el uso de las licencias existentes.
- Promover la eficiencia en el uso del agua en la industria, comercio, agricultura y particulares.

9. Trabajo conjunto entre la *Environment Agency* (anterior NRA) con las compañías de agua para asesorar el rendimiento de las fuentes del recurso, basándose en el conocimiento adquirido durante sequías recientes.

10. Planes para la protección del agua subterránea de la contaminación:

- Prohibir la descarga de aguas residuales en un radio de 3,2 km de cualquier estación de extracción.
- Creación de una Guía para la Protección del Acuífero, donde se incluye:
- Definición de 5 tipos de zonas de protección basadas en el tiempo de viaje a una fuente.

- Prescripción de medidas de control específicas basadas en la vulnerabilidad del acuífero y la zonificación de áreas protegidas.
- Exclusión de vertederos de las zonas de captura de todas las fuentes de captación públicas, sólo se permiten en cualquier lugar del acuífero en una contención específica y con protección operacional.
- No se acepta la aplicación de la mayoría de los efluentes ni lodos.
- La descarga de fosas sépticas o de efluentes de aguas servidas es controlada, así como la descarga de la mayoría de los efluentes industriales a las aguas subterráneas, y también a algunos cuerpos de agua superficial con infiltración hacia la zona de recarga.

11. Para cumplir las normas antes mencionadas, se creó un *bypass* que cruza la zona de captura de la mayoría de las fuentes de abastecimiento. Está formada por un sistema de cañerías que extraen la infiltración del área.

12. Utilización de un algoritmo para decidir qué fosas sépticas pueden ser aprobadas, según el tamaño de su desarrollo, al naturaleza física de la caliza (granular/fisurada), espesor de la zona no saturada y si el punto está debajo de alguna zona en particular.

13. Confección de mapas de vulnerabilidad donde se representa la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación por nitratos. Aplica una matriz con clases de suelo según filtración y tipo de cobertura del flujo.

14. Monitoreo permanente y disponibilidad de datos en tiempo real para tomar decisiones como medida fundamental para el éxito del manejo del acuífero.

15. Respecto al último punto, es clave saber qué datos tomar, según lo que se necesite para resolver ciertas situaciones, y qué datos se están recolectando innecesariamente.

Los RESULTADOS de la ejecución de estas medidas en Brighton fueron muy exitosos. La estrategia adoptada para el manejo del acuífero se relaciona con la temprana identificación de los factores que amenazan a los recursos de agua subterránea (intrusión salina, sequías y contaminación desde la superficie).

3.3.9 Publicación de "Groundwater Protection in Mediterranean Countries after the European Water Framework Directive" de Martínez et al. (2008):

El OBJETIVO de este proyecto fue revisar y analizar la implementación de las medidas de protección y caracterización de cuerpos de agua subterránea, dirigidas por la *European Water Framework Directive* (WFD). Se revisa el caso de nueve países de la Unión Europea (Alemania, Francia, Reino Unido, Italia, Portugal, Holanda, Irlanda, Suiza y España).

Las MEDIDAS consideradas fueron las siguientes:

1. Delimitar áreas de protección para los pozos con tamaño variable dependiendo de:

- Características hidrogeológicas del acuífero.
- Volumen bombeado.
- Tipo de contaminación que requiera medidas de protección.
- Geometría del acuífero.
- Vulnerabilidad del acuífero.

2. Realizar un análisis de las características de cada cuenca, evaluar económicamente el uso del agua y estudiar las consecuencias de las actividades humanas sobre los recursos de agua subterránea.

3. Determinación de valores umbrales para delimitar el estado de los cuerpos de agua, según su contaminación. Esto se basa en la caracterización del acuífero y su interacción con contaminantes, mientras mayor riesgo presente, mayor cantidad de datos requiere su estudio.

4. Definir la línea base de calidad del acuífero, ya que una alta concentración de algún elemento en un cuerpo de agua subterránea puede ser natural. Para ello se utilizan las concentraciones de las muestras de agua subterránea no contaminada, considerando que los acuíferos más profundos no siempre representan a los acuíferos más someros.

5. Zonificación del terreno según sus características físicas para integrar actividades económicas riesgosas con la protección de la calidad del agua. Para ello se utilizan mapas de vulnerabilidad donde se delimitan las zonas cuya susceptibilidad a la contaminación por aguas

subterráneas es similar. Y en las áreas alrededor de los pozos de extracción se prohíben las actividades que puedan causar contaminación del agua subterránea.

6. Se realizan monitoreos, para comprobar si se están generando los resultados esperados.

Los RESULTADOS del análisis de la implementación de las medidas determinó que:

La mayoría de países establece tres zonas de resguardo o con diferentes restricciones, que en algunos casos pueden extenderse a cuatro. Los criterios que consideran para la delimitación de estas zonas son fundamentalmente criterios hidrogeológicos (tipo de acuífero, nivel del agua, velocidad de flujo, características de la zona no saturada, litología), y de tiempo de tránsito de los contaminantes. Muchas veces se calculan a partir de ecuaciones volumétricas.

En el caso de Holanda, existen leyes provinciales que definen las actividades permitidas dentro de cada zona. En Irlanda, las restricciones se basan en matrices específicas para cada actividad contaminante, considerando la vulnerabilidad del acuífero como un factor determinante.

En muchos casos para los acuíferos cársticos y fisurados, existen zonas especiales. En suiza, para estos acuíferos, las áreas de protección son diseñadas usando índices de vulnerabilidad especiales y transformándolas en zonas jurídicas.

Como conclusiones de este análisis se consideró que deben incrementarse los estudios para caracterización de acuíferos y establecer programas de monitoreo y que se requiere la cooperación de todas entidades administrativas para proteger los recursos de agua subterránea.

3.3.10 Publicación de "Contaminated Land and Aquifer Protection" de Henton y Young (1993):

El OBJETIVO del estudio fue generar un ranking de riesgo para enfrentar el problema de los terrenos contaminados.

Las MEDIDAS adoptadas fueron las siguientes:

1. Aplicación de medidas legislativas y políticas enfocadas a cambiar el carácter obligatorio de la estrategia de protección, por una política basada en instrumentos de autorregulación o herramientas económicas.

2. Dentro de la regulación económica se incluye aumentar el costo de contaminar el ambiente, así las industrias pueden elegir entre arrojar aguas contaminantes al ambiente, o invertir en nueva tecnología que minimice los residuos y baje los cotos operacionales. Los niveles de contaminación tolerables son rigurosos y los costos asociados aumentan constantemente con el objetivo de dirigir la tendencia hacia nuevas tecnologías.

3. Creación del Environmental Protection Act, donde se proponen las siguientes medidas, entre otras:

- Aumentar el poder de las autoridades para cobrar a los dueños de los terrenos responsables los costos derivados por hacer frente a antiguos vertederos.
- Aumentar el poder de las autoridades locales para forzar a la limpieza de los lugares contaminados que causen algún daño a la salud pública. Darles además el poder de cobrar a esa persona los costos de los perjuicios causados.

4. Incluir un puesto en la autoridad local para compilar y mantener registros de las tierras que se han asignado o se asignarán a un cierto uso contaminante.

5. Generar mapas de riesgo medioambiental, a partir de factores relacionados con la ubicación, hidrogeología y geología, y en algunas áreas específica se incluye la proximidad con la fuente contaminante. Estos mapas permiten determinar los usos del suelo y acuífero en las zonas de mayor riesgo y zonas adyacentes.

6. Evaluar el potencial de contaminación de las distintas áreas considerando las actividades que antigua y actualmente se realizan en el lugar. Se debe estudiar:

- Desde cuando se realizó dicha actividad, ya que las condiciones de trabajo han variado mucho en el tiempo.
- La naturaleza de los contaminantes (orgánicos, inorgánicos). Los orgánicos poseen mayor movilidad y solubilidad por lo que su capacidad de infiltración es mayor.
- La presencia de gas se analiza por separado, por el alto potencial de migración de los gases de vertederos y los gases naturales, cuyo riesgo de explosión es alto si son desplazados a un lugar confinado.

7. Aplicación de un test de infiltración para calcular el potencial de solubilidad de contaminantes, simulando la forma en que la infiltración podría arrastrar los contaminantes hacia los recursos de agua en riesgo.

Los RESULTADOS y conclusiones que se obtuvieron de la aplicación de estas medidas fueron, por un lado que los cambios legislativos incrementaron la responsabilidad asociada con la propiedad de terrenos contaminados y por el otro, que el ranking de riesgo presentó buenos resultados en su aplicación. Se resalta la gran importancia en el nivel profesional y la experiencia para evaluar las consecuencias de la contaminación. También, que el primer paso para adoptar las medidas adecuadas consiste en desarrollar una constante investigación y monitoreo de los terrenos contaminados. Esto permite entregar la información correcta a las partes involucradas y planificar las estrategias de protección y remediación más efectivas y económicas.

4 RESULTADOS QUÍMICOS

4.1 Análisis químicos o base de datos utilizados en aplicación

4.1.1 Base de datos disponible acuífero del Loa

Tabla 4.1: Detalles de observaciones en acuífero El Loa.

Nombre	Fuente	Fecha	Acuífero / Sector	Prof/Hab	Nombre estación	Altura (msnm)	UTM Este PSAD 56 (m)	UTM Norte PSAD56 (m)
N01	CCM-Leonor	si	Calama Sup.	45/si	ppr1	2.220	504.582	7.515.527
N02	CCM-Leonor	si	Calama Sup.	55/si	ppr2	2.231	505.546	7.516.089
N03	CCM-Leonor	si	Calama Sup.	55/si	ppr4	2.214	504.051	7.515.081
N04	CCM-Leonor	si	Calama Sup.	50/si	ppr5	2.198	502.772	7.515.863
N05	CCM-Equatorial	si	Calama Sup.	60/si	p-01	2.206	503.456	7.514.875
N06	CCM-Equatorial	si	Calama Sup.	60/si	p-04	2.207	503.542	7.514.744
N07	CCM-Equatorial	si	Calama Sup.	60/si	p-07	2.209	503.592	7.514.664
N08	CCM-Equatorial	si	Calama Sup.	99/si	p-09	2.209	503.717	7.514.797
N09	CCM-Equatorial	si	Calama Sup.	60/si	p-10	2.209	503.645	7.514.581
N10	CCM-Equatorial	si	Calama Sup.	60/si	p-12	2.212	503.931	7.514.747
N11	CCM-Equatorial	si	Calama Sup.	60/si	p-16	2.211	503.763	7.515.070
N12	CCM-Equatorial	si	Calama Sup.	60/si	p-18	2.215	504.075	7.515.259
N13	CCM-Equatorial	si	Calama Sup.	60/si	p-19	2.211	503.891	7.514.882
N14	CCM-Equatorial	si	Calama Sup.	60/si	p-21	2.216	504.219	7.515.039
N15	CCM-Equatorial	si	Calama Sup.	60/si	p-24	2.216	504.277	7.514.962
N16	CCM-Equatorial	si	Calama Sup.	60/si	p-25	2.212	503.896	7.514.520
N17	CCM-Equatorial	si	Calama Sup.	60/si	p-26	2.213	503.993	7.514.460
N18	CCM-Equatorial	si	Calama Sup.	60/si	p-27	2.212	504.023	7.514.329
N19	CCM-Equatorial	si	Calama Sup.	60/si	p-30	2.220	504.354	7.515.587
N22-3	Nazca	15/09/2000	Llalqui Inf./Sup	336/0-336	E3-L1/L3/L4	2.558	545.060	7.518.090
N23	Nazca	11/09/2000	Llalqui Sup.	120/0-120	P1-L1	2.526	539.660	7.520.850
N24-1	Nazca	05/09/2000	Llalqui Sup.	120/0-120	P2-L1	2.494	534.720	7.517.920

Tabla 4.1: Detalles de observaciones en acuífero El Loa.

Nombre	Fuente	Fecha	Acuífero / Sector	Prof/Hab	Nombre estación	Altura (msnm)	UTM Este PSAD 56 (m)	UTM Norte PSAD56 (m)
N24-2	Nazca	11/09/2000	Llalqui Sup.	120/0-120	P2-L1	2.494	534.720	7.517.920
N25	Nazca	09/09/2000	Llalqui Sup.	180/0-64	Px-L1	2.510	535.350	7.523.200
N27	Nazca	01/06/2000	Q. León Sup.		qe2/11	3.138	577.300	7.540.200
V01	Peña-1970		Loa		Vert. Angostura-1	2.460	528.100	7.517.000
V02	Peña-1971		Loa		Vert. Angostura-2	2.460	528.100	7.517.000
V03	CCM-Leonor	2000	Loa		Vert. Likantatay	2.218	504.506	7.515.511
V04-D	Nazca	01/10/1999	Loa		Vert. Ojo de Opache	2.065	498.800	7.513.900
V04-W	Nazca	20/03/2000	Loa		Vert. Ojo de Opache	2.065	498.800	7.513.900
V05-W	Nazca	20/03/2000	Loa		Aguada La Teca	2.950	549.100	7.500.100
V06-W	Nazca	01/01/1970	Salado		Tatio Ojo1	4.250	602.000	7.530.000
V07-D	Nazca	01/12/1970	Salado		Tatio Ojo2	4.250	602.000	7.530.000
V08-D	Nazca	01/11/1969	Salado		Tatio Vert157	4.250	602.000	7.530.000
V09-D	Nazca	01/11/1969	Salado		Tatio Vert331	4.250	602.000	7.530.000
V10-D	Nazca	01/10/1999	Salado		Tatio salida	4.228	600.400	7.529.400
V10-W	Nazca	20/03/2000	Salado		Tatio salida	4.228	600.400	7.529.400
V11-I	Nazca	15/06/2000	Salado		Baños Turi	3.050	574.200	7.541.900
V12-I	Nazca	15/06/2000	Salado		Cupo	3.370	570.900	7.555.100
V13-D	Nazca	01/10/1999	Salado		Paniri	3.260	575.500	7.551.100
V13-W	Nazca	20/03/2000	Salado		Paniri	3.260	575.500	7.551.100
V13-I	Nazca	15/06/2000	Salado		Paniri	3.260	575.500	7.551.100
V14-W	Nazca	20/03/2000	Salado		Vert. en Río Salado	3.090	579.800	7.536.700
V15-D	Nazca	01/10/1999	San Pedro		OjoSnPedro	3.780	566.900	7.569.900
V15-I	Nazca	15/06/2000	San Pedro		OjoSnPedro	3.780	566.900	7.569.900
N20	CMLB	04/07/2001	Calama Inf.	350/181-342	PBC-2	2.194	502.512	7.514.296
N26	Nazca	01/06/2000	Q. León Inf.		qe3/12	3.138	577.300	7.540.200
Chiu Chiu		15/06/2000					541.418	7.529.912

Fuente: Informe SIT N°85, DGA (2003).

Tabla 4.2: Base de datos utilizada (acuífero superior, 1999-2000), El Loa.

Nombre	SDT (mg/L)	Cl (mg/L)	SO_4 (mg/L)	Ca (mg/L)	Na (mg/L)	Mg (mg/L)	NO_3 (mg/L)	As (mg/L)	Li (mg/L)	K (mg/L)	CE (uS/cm)	pH (u. pH)	Balance Iónico (%)
N01	5.740	2.116,02	378,94	408,60	1.274,4	72,93	0,17	1,250	na	82,50	7.110	7,4	10
N02	5.720	2.395,62	298,19	320,84	1.227,5	126,05	3,44	1,100	na	95,70	7.200	7,2	1
N03	6.280	2.508,46	442,28	408,60	1.257,5	126,05	7,30	0,230	na	105,00	7.660	7,2	1
N04	5.007	2.061,09	412,26	328,84	1.249,5	72,93	12,72	1,030	na	86,30	6.560	7,4	8
N05	5.200	2.391,63	456,29	424,79	1.273,4	82,63	0,61	0,742	na	107,70	7.380	7,5	2
N06	5.450	2.291,77	370,23	392,60	1.174,5	87,54	2,27	0,575	na	91,00	7.200	8,3	1
N07	5.140	2.208,88	313,20	368,82	1.099,5	92,44	10,46	1,000	na	147,90	6.890	7,7	1
N08	5.440	2.217,87	365,23	368,82	1.135,5	92,44	9,19	0,891	na	87,90	6.920	8,3	9
N09	5.340	2.180,92	327,20	376,81	1.115,5	77,83	11,95	1,390	na	86,00	6.880	8,3	1
N10	4.900	2.167,94	321,20	376,81	1.174,5	92,44	11,12	1,300	na	99,50	6.870	7,5	5
N11	5.900	2.470,52	350,22	504,75	1.245,5	38,92	4,53	1,008	na	94,50	7.540	7,2	1
N12	5.980	2.527,44	415,26	480,76	1.199,5	63,23	1,94	1,325	na	86,50	7.740	7,2	5
N13	5.530	2.229,85	331,21	480,76	1.130,5	38,92	0,92	0,787	na	88,00	7.440	7,2	1
N14	5.140	2.155,96	346,22	448,78	1.099,5	29,21	1,07	1,500	na	101,00	6.820	7,3	1
N15	5.040	2.205,89	278,17	384,81	1.105,5	77,83	2,38	1,700	na	103,00	6.950	7,2	1
N16	5.220	2.180,92	403,25	480,76	1.118,5	24,31	16,44	1,720	na	113,80	6.960	7,2	1
N17	6.220	2.552,40	390,24	512,74	1.349,4	34,01	2,63	1,634	na	108,00	7.940	7,5	2
N18	6.290	2.564,38	313,20	464,77	1.236,5	38,92	0,14	2,188	na	96,80	8.070	7,7	5
N19	5.770	2.478,50	318,20	512,74	1.250,5	29,21	3,40	1,466	na	89,00	7.550	7,2	1
N22-3	13.900	6.081,42	483,30	1009,50	2.998,7	135,06	1,20	0,007	6,55	170,00	19.930	6,5	2
N23	4.020	1.737,55	117,07	250,87	857,6	114,05	0,21	1,280	3,53	61,40	6.210	7,8	9
N24-1	7.340	2.816,03	161,10	487,76	1.309,4	137,06	0,28	0,482	4,94	60,10	10.100	6,4	7
N24-2	7.790	3.035,72	171,11	563,72	1.379,4	153,06	0,29	0,846	5,51	66,50	10.150	6,6	9
N25	2.900	1.427,99	175,11	119,94	771,7	52,62	0,01	0,148	2,40	44,90	5.160	7,2	2
N27	3.975	1.148,38	110,07	133,93	804,7	51,32	0,14	0,065	9,39	34,80	5.090	7,5	8
V04-D	5.025	2.416,59	360,23	282,86	1.199,5	121,05	19,20	2,000	4,00	86,00	na	7,9	5
V04-W	5.400	2.376,65	332,21	282,86	1.159,5	120,05	1,89	1,880	3,82	75,30	7.700	7,6	1
V05-W	1.060	70,90	331,21	146,93	70,3	18,21	0,012	0,029	0,10	2,42	1.140	7,8	4

Tabla 4.2: Base de datos utilizada (acuífero superior, 1999-2000), El Loa.

Nombre	SDT (mg/L)	Cl (mg/L)	SO_4 (mg/L)	Ca (mg/L)	Na (mg/L)	Mg (mg/L)	NO_3 (mg/L)	As (mg/L)	Li (mg/L)	K (mg/L)	CE (uS/cm)	pH (u. pH)	Balance Iónico (%)
V10-D	12.734	7.749,02	82,05	302,85	3.998,2	12,01	5,11	29,009	36,01	220,99	na	7,4	10
V10-W	5.270	2.606,28	75,05	87,36	1.629,3	10,21	0,01	15,501	12,80	123,01	8.900	7,9	6
V11-I	1.694	718,99	96,06	97,15	380,8	44,22	0,19	0,482	1,53	49,30	3.040	6,4	3,4
V12-I	2.390	859,79	208,13	164,92	348,8	126,05	0,001	0,064	0,84	40,90	2.400	8,6	4,2
V13-D	488	109,90	16,01	52,97	100,0	13,01	0,20	0,052	0,10	1,99	na	8,3	3,5
V13-W	346	9,99	10,01	34,78	8,0	11,50	10,00	0,00013	0,03	2,02	480	7,4	10
V13-I	328	9,99	10,01	36,28	5,0	11,90	0,010	0,005	0,03	2,03	430	7,5	12
V14-W	6.100	2.766,10	127,08	355,82	1.659,3	106,04	0,010	0,284	5,23	117,00	6.600	7,4	8,6
V15-D	955	329,69	66,04	66,97	160,0	41,01	0,20	0,801	0,50	17,01	na	8,3	12
V15-I	918	144,64	89,06	50,57	60,0	41,11	0,012	0,344	0,46	16,89	2.000	7,8	4,3

na: no analizado

B.I.: balance iónico (se desconoce expresión usada)

4.1.2 Campaña de muestreo sector acuífero Los Choros

Tabla 4.3: Parámetros químicos medidos en terreno, sector acuífero Los Choros.

Punto Muestreo	UTM Norte PSAD 56 (m)	UTM Este PSAD 56 (m)	Altitud (msnm)	pH (u. pH)	Conductividad Eléctrica (µS/cm)	Sólidos Disueltos Totales (ppm)	Temperatura (ºC)
LC01	6.754.934	272.857	10	7,5	1.602,0	809,0	20,1
LC02	6.757.819	272.594	17	7,5	2.131,0	1.065,0	19,7
LC03	6.761.630	262.304	5	7,5	18.870,0	9.444,0	20,9
LC04	6.760.135	273.792	50	7,8	2.365,0	1.183,0	21,7
LC05	6.757.603	276.476	57	8,0	1.278,0	639,0	20,4
LC06	6.761.300	264.992	3	7,4	2.737,0	1.369,0	19,8
LC07	6.758.395	268.669	4	8,1	4.055,0	2.027,0	21,4
LC08	6.757.705	275.653	46	8,6	1.768,0	884,0	20,6
LC09	6.760365	268.881	24	7,8	2.314,0	1.158,0	20,0
LC10	6.758.551	269.201	6	7,2	5.111,0	2.555,0	20,0
LC11	6.761.326	269.952	30	7,2	2.978,0	1.489,0	20,1
LC12	6.757.296	271.465	16	7,6	1.086,0	543,0	20,7
LC13	6.765.025	260.749	17	7,3	13.840,0	6.924,0	21,0
LC14	6.758.812	272.783	36	7,7	1.715,0	857,0	20,0
LC15	6.760.553	274.608	64	7,7	3.297,0	1.648,0	20,0
LC16	6.758.105	274.532	41	7,2	1.942,0	971,0	20,9
LC17	6.762.677	272.109	58	8,2	2.025,0	1.012,0	20,7
LC18	6.757.693	275.866	54	7,1	1.496,0	748,0	19,3

Tabla 4.4: Parámetros químicos medidos en laboratorio, Los Choros (Parte 1).

Punto Muestreo	Cloruros Disueltos (mg/L)	Nitratos Disueltos (mg/L)	Sulfatos Disueltos (mg/L)	Calcio Disueltos (mg/L)	Sodio Disuelto (mg/L)	Magnesio Disuelto (mg/L)	Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	Bicarbonato Disuelto (mg/L)
LC01	401,15	<0,5	295,91	163,06	162,67	55,95	1.180	221,69
LC02	667,13	<0,5	321,36	203,1	271,40	69	1.650	198,19
LC03	7.726,6	<0,5	1341,3	723,9	3.080,31	659,03	18.235	151,95
LC04	736,9	<0,5	297,92	193,5	295,8	67,5	1.630	150,93
LC05	273,43	4,77	220,25	115,8	118,35	38,97	910	216,19
LC06	967,5	<0,5	440,47	189,12	381,31	116,23	2460	146,84
LC07	1.268,1	<0,5	745,08	459,15	385,06	173,88	3.570	123,59
LC08	438,22	2,28	328,2	195,20	175,28	64,43	1.180	248,76
LC09	646,59	<0,5	385,34	131,00	394,00	75,5	1.940	204,58
LC10	1.523,89	<0,5	860,64	495,11	390,82	189,90	4.880	139,30
LC11	862,03	<0,5	406,73	273,35	276,75	163,74	2.440	279,94
LC12	212,79	<0,5	187,19	73,64	106,47	44,45	900	215,95
LC13	5247	<0,5	1015,9	638,15	1.765,56	345,03	12.680	163,44
LC14	460,02	<0,5	305,79	210,81	149,03	65,28	1.480	201,89
LC15	1.131,69	<0,5	308,21	269,61	357,07	104,95	2.840	111,20
LC16	510,6	<0,5	357,18	238,54	156,94	52,25	1.530	186,57
LC17	579,93	<0,5	326,66	185,00	265,35	49,91	1.520	237,27
LC18	388,07	5,35	243,28	154,94	150,67	49,72	1.260	242,77

Tabla 4.5: Parámetros químicos medidos en laboratorio, Los Choros (Parte 2).

Punto Muestreo	Potasio Disuelto (mg/L)	CE (µS/cm)	pH	Aluminio Total (mg/L)	Hierro Total (mg/L)	Molibdeno Total (mg/L)	Níquel Total (mg/L)	Mercurio Total (mg/L)	Fosfato Disuelto (mg/L)
LC01	15,12	2.100	7,81	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	<0,01
LC02	25,86	2.660	7,92	0,01	0,24	<0,01	<0,01	<0,001	<0,01
LC03	217,23	24.100	7,8	<0,01	<0,03	<0,01	<0,01	<0,001	<0,01
LC04	27,9	2.850	7,8	0,03	0,23	<0,01	<0,01	<0,001	<0,01
LC05	8,77	1.622	7,82	0,38	0,09	<0,01	<0,01	<0,001	<0,01
LC06	37,88	3.798	7,91	0,05	0,04	0,01	<0,01	<0,001	<0,01
LC07	46,93	5.130	7,76	<0,01	<0,03	0,03	<0,01	<0,001	<0,01
LC08	10,5	2.220	7,71	<0,01	<0,03	<0,01	<0,01	<0,001	<0,01
LC09	42,18	2.900	7,9	0,02	<0,03	<0,01	<0,01	<0,001	<0,01
LC10	54,00	6.450	7,26	0,01	<0,01	0,03	<0,01	<0,001	<0,01
LC11	49,28	3.710	7,77	0,04	1,92	<0,01	<0,01	<0,001	0,04
LC12	46,42	1.398	7,82	0,02	0,22	<0,01	<0,01	<0,001	<0,01
LC13	99,96	17.740	7,77	<0,01	0,07	<0,01	<0,01	<0,001	<0,01
LC14	22,15	2.130	7,81	<0,01	0,04	<0,01	<0,01	<0,001	<0,01
LC15	29,05	4.170	7,92	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	<0,01
LC16	21,65	2.490	7,37	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	<0,01
LC17	20,98	2.610	8,01	0,02	0,03	0,01	<0,01	<0,001	<0,01
LC18	11,26	1.943	7,36	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	<0,01

4.1.3 1ª campaña de muestreo en sector acuífero Aconcagua

Tabla 4.6: Parámetros químicos medidos in situ, 1ª campaña Aconcagua.

Punto Muestreo	Subsector Acuífero	UTM Norte PSAD 56 (m)	UTM Este PSAD 56 (m)	Altitud (msnm)	pH (u. pH)	Cond. Eléctrica (µS/cm)	Sólidos Disueltos Totales (ppm)	Temp. (ºC)
P00	San Felipe-Los Andes	6.366.256	354.968	886	7,4	697	348	18,9
P01	San Felipe-Los Andes	6.374.906	354.559	931	7,58	602	301	21,4
P02	San Felipe-Los Andes	6.381.922	348.644	897	7,48	693	346	20,9
P03	San Felipe-Los Andes	6.360.394	351.355	867	7,13	447	224	18,2
P04	San Felipe-Los Andes	6.364.731	342.550	720	7,34	813	408	18,1
P05	San Felipe-Los Andes	6.370.319	345.394	741	7,49	366	183	15,3
P06	San Felipe-Los Andes	6.377.237	347.132	741	7,42	742	371	20,0
P07	San Felipe-Los Andes	6.373.820	337.704	646	7,23	647	324	19,3
P10	Aconcagua-Las Vegas	6.374.337	331.047	552	7,21	516	260	18,0
P11	Aconcagua-Las Vegas	6.371.510	326.607	505	7,23	787	393	19,2
P12	Aconcagua-Las Vegas	6.368.653	316.813	407	7,18	622	312	18,6
P13	Catemu	6.378.295	318.678	443	7,16	709	354	19,4
P14	Llay Llay	6.362.861	322.238	409	7,00	1.150	530	19,1
P15	Llay Llay	6.364.730	315.216	380	7,20	1.698	899	20,7
P16	Rabuco	6.357.471	303.987	333	7,42	292	146	19,5
P17	Quillota	6.367.677	307.295	343	6,83	512	256	18,1
P18	Quillota	6.366.281	300.769	263	6,88	614	347	19,0
P19	Quillota	6.371.963	297.977	241	6,71	551	276	18,8
P21	Quillota	6.366.494	291.468	175	6,96	636	318	18,2
P20	Quillota	6.361.219	290.654	128	7,03	868	434	23,2
P22	Quillota	6.355.495	285.243	85	7,15	665	332	18,7
P23	Nogales	6.385.237	293.833	267	6,50	711	355	17,4
P24	Nogales	6.374.869	294.717	207	7,24	665	332	18,2
P25	Limache	6.346.423	297.029	144	7,23	753	377	16,6
P26	Limache	6.347.035	289.381	78	7,72	706	353	17,3
P27	Limache	6.350.180	283.170	70	7,02	832	415	17,7
P28	Aconcagua - Desembocadura	6.354.935	276.372	29	6,91	546	273	18,7
P29	Aconcagua - Desembocadura	6.354.745	269.429	9	6,96	497	249	18,1
P30	Nogales	6.380.895	294.201	239	7,24	601	300	17,3
P32	Rabuco	6.361.078	302.761	306	7,17	690	345	18,5
P33	Catemu	6.374.127	317.648	426	7,27	707	361	20,1
P35	San Felipe - Los Andes	6.367.033	349.208	806	7,3	659	297	16,9
P36	San Felipe - Los Andes	6.370.163	340.617	695	7,4	655	327	18,2
P37	Aconcagua - Las Vegas	6.369.217	322.036	459	6,98	674	337	19,8
P38	Quillota	6.357.534	288.342	96	6,98	743	371	19,4

Tabla 4.7: Parámetros químicos medidos laboratorio, 1ª campaña Aconcagua (Parte 1).

Punto Muestreo	Cloruros Disueltos (mg/L)	Nitratos Disueltos (mg/L)	Sulfatos Disueltos (mg/L)	Calcio Disueltos (mg/L)	Sodio Disuelto (mg/L)	Magnesio Disuelto (mg/L)	Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	Bicarbonato Disuelto (mg/L)	Potasio Disuelto (mg/L)
P00	15,41	35,48	157,49	117,00	18,90	23,10	564,00	270,03	0,72
P01	6,53	23,69	70,00	54,40	38,80	19,80	344,00	252,50	0,52
P02	18,82	18,24	39,97	61,00	41,30	19,20	448,00	290,63	0,62
P03	9,24	39,33	88,42	75,20	14,70	14,60	406,00	185,11	0,68
P04	23,46	36,36	170,70	134,00	24,80	28,50	632,00	307,96	1,06
P05	15,08	7,03	113,19	70,00	3,86	7,76	295,00	108,33	0,76
P06	15,38	45,05	147,00	153,00	15,70	21,10	614,00	347,44	0,69
P07	14,08	14,04	136,15	118,00	9,09	18,00	456,00	274,41	1,33
P10	16,20	19,40	132,04	91,70	7,81	12,20	372,00	168,12	1,31
P11	17,63	15,69	260,82	145,00	14,30	21,80	636,00	201,63	1,31
P12	19,64	14,48	152,10	103,00	19,80	16,40	448,00	194,73	1,60
P13	11,16	19,05	121,41	107,00	22,60	16,20	538,00	274,45	0,66
P14	31,54	51,89	217,39	130,00	25,10	52,00	746,00	343,10	3,61
P15	26,45	18,39	367,34	206,00	25,80	63,20	1.140,00	471,17	0,40
P16	5,59	22,83	30,76	31,40	5,44	12,70	212,00	116,66	2,24
P17	13,46	20,91	110,79	66,30	17,70	21,10	370,00	166,54	0,33
P18	18,50	23,94	131,96	104,00	7,20	16,60	452,00	220,36	1,26
P19	16,38	15,48	129,71	81,20	14,60	14,90	390,00	185,99	1,16
P21	33,08	44,02	186,52	153,00	13,70	22,50	620,00	273,94	1,99
P20	32,09	14,60	162,90	127,00	12,40	15,60	488,00	245,06	1,35
P22	25,73	26,78	173,37	89,70	32,40	23,00	560,00	229,88	0,42
P23	37,76	34,01	235,96	103,00	8,90	36,80	608,00	159,73	0,38
P24	26,27	23,99	168,52	114,00	17,20	21,50	516,00	260,81	0,42
P25	54,66	32,71	157,51	72,30	54,80	37,50	638,00	290,26	3,94
P26	35,35	44,52	172,93	80,90	35,50	35,10	602,00	212,81	1,15
P27	39,06	36,32	234,36	70,70	98,10	32,60	752,00	294,20	9,24
P28	30,41	16,47	160,72	99,30	24,00	17,90	556,00	208,87	2,26
P29	29,06	1,44	143,71	83,70	24,70	19,10	468,00	222,00	1,45
P30	14,73	18,00	118,31	72,90	11,70	20,80	375,00	193,86	0,24
P32	51,99	18,42	200,07	147,00	23,90	28,00	686,00	290,01	1,23
P33	14,18	20,19	112,42	105,00	32,00	13,30	500,00	283,12	0,28
P35	21,07	21,11	151,52	118,00	13,40	14,10	483,00	211,25	1,86
P36	24,46	38,23	183,54	147,00	16,80	16,90	598,00	282,14	2,36
P37	22,82	22,74	210,48	126,00	21,30	18,50	660,00	250,88	1,96
P38	34,07	54,92	174,68	150,00	16,40	19,40	548,00	262,12	0,26

Tabla 4.8: Parámetros químicos medidos laboratorio, 1ª campaña Aconcagua (Parte 2).

Punto Muestreo	Cond. Eléctrica (µS/cm)	pH (u. pH)	Aluminio Total (mg/L)	Cobre Total (mg/L)	Hierro Total (mg/L)	Manganeso Total (mg/L)	Molibdeno Total (mg/L)	Níquel Total (mg/L)	Bario Total (mg/L)
P00	799,00	7,51	0,01	<0,01	<0,03	<0,01	<0,01	<0,001	0,03
P01	539,00	7,84	0,09	<0,01	2,86	0,04	<0,01	<0,001	0,02
P02	642,00	7,56	0,07	<0,01	<0,03	<0,01	<0,01	<0,001	0,04
P03	521,00	7,22	0,01	<0,01	<0,03	<0,01	<0,01	<0,001	<0,01
P04	947,00	7,50	<0,01	<0,01	0,04	<0,01	<0,01	<0,001	0,02
P05	468,00	7,60	0,02	<0,01	<0,03	<0,01	<0,01	<0,001	0,02
P06	843,00	7,74	0,02	<0,01	0,15	0,01	<0,01	<0,001	0,03
P07	755,00	7,30	0,50	<0,01	0,03	<0,01	<0,01	<0,001	0,05
P10	617,00	7,24	0,05	<0,01	0,11	<0,01	<0,01	<0,001	0,04
P11	891,00	7,19	0,05	<0,01	<0,03	0,02	<0,01	<0,001	0,03
P12	691,00	7,47	<0,01	<0,01	<0,03	<0,01	<0,01	<0,001	0,04
P13	697,00	7,40	<0,01	<0,01	<0,03	<0,01	<0,01	<0,001	0,15
P14	1.038,00	7,02	<0,01	<0,01	<0,03	<0,01	<0,01	<0,001	0,05
P15	1.534,00	7,19	0,38	<0,01	1,89	2,77	<0,01	<0,001	0,06
P16	288,00	7,25	<0,01	<0,01	<0,03	<0,01	<0,01	<0,001	0,02
P17	530,00	7,00	0,06	0,05	<0,03	<0,01	<0,01	<0,001	0,02
P18	670,00	7,18	<0,01	<0,01	<0,03	<0,01	<0,01	<0,001	0,04
P19	611,00	6,81	<0,01	<0,01	<0,03	<0,01	<0,01	<0,001	0,04
P21	901,00	6,99	<0,01	0,01	<0,03	<0,01	<0,01	<0,001	0,02
P20	754,00	6,91	<0,01	<0,01	<0,03	<0,01	<0,01	<0,001	0,02
P22	782,00	6,99	<0,01	<0,01	<0,03	<0,01	<0,01	<0,001	0,09
P23	850,00	6,55	<0,01	0,02	0,04	0,02	<0,01	<0,001	0,02
P24	780,00	7,30	0,02	<0,01	<0,03	<0,01	<0,01	<0,001	<0,01
P25	907,00	7,03	0,20	0,02	0,17	<0,01	<0,01	<0,001	0,10
P26	809,00	6,65	0,11	<0,01	0,11	<0,01	<0,01	<0,001	0,12
P27	1.031,00	6,94	0,08	<0,01	<0,03	0,02	<0,01	<0,001	0,20
P28	716,00	6,92	0,03	<0,01	0,14	0,03	<0,01	<0,001	0,13
P29	672,00	6,95	0,07	<0,01	1,43	1,03	<0,01	<0,001	0,12
P30	577,00	7,36	<0,01	<0,01	<0,03	<0,01	<0,01	<0,001	<0,01
P32	985,00	7,30	<0,01	<0,01	<0,03	0,31	<0,01	<0,001	0,05
P33	679,00	7,55	<0,01	<0,01	<0,03	<0,01	<0,01	<0,001	0,11
P35	695,00	7,33	0,03	<0,01	<0,03	0,01	<0,01	<0,001	0,09
P36	864,00	7,29	0,04	0,02	0,12	<0,01	<0,01	<0,001	0,18
P37	851,00	7,05	0,05	0,07	0,17	<0,01	<0,01	<0,001	0,06
P38	900,00	7,05	<0,01	<0,01	<0,03	<0,01	<0,01	<0,001	0,02

4.1.4 2ª campaña de muestreo en sector acuífero Aconcagua

Tabla 4.9: Parámetros químicos medidos en terreno, 2ª campaña Aconcagua.

Punto Muestreo	Subsector Acuífero	UTM Norte PSAD 56 (m)	UTM Este PSAD 56 (m)	Altitud (msnm)	pH (u. pH)	Cond. Eléctrica (µS/cm)	Sólidos Disueltos Totales (ppm)	Temp. (ºC)
A01	San Felipe - Los Andes	6.375.991	354.842	974	7,45	472	230	19,0
A02	San Felipe - Los Andes	6.365.528	357.539	930	7,29	452	226	18,6
A03	San Felipe - Los Andes	6.374.451	339.458	660	7,78	376	188	-
A04	San Felipe - Los Andes	6.379.767	336.518	648	7,75	237	119	-
A05	Llay Llay	6.359.890	317.832	408	6,92	244	114	-
A06	Llay Llay	6.364.522	318.603	395	7,36	512	248	-
A07	Aconcagua - Las Vegas	6.366.148	313.420	377	7,17	495	239	-
A08	Llay Llay	6.361.004	320.409	418	7,4	460	221	-
A09	Llay Llay	6.364.387	306.919	320	6,94	535	259	-
A10	Quillota	6.371.810	294.468	209	7,53	806	403	19,0
A11	Quillota	6.358.214	291.240	113	7,02	872	436	18,9
A12	Limache	6.345.363	294.140	128	7,25	394	197	20,2
A13	Aconcagua - Desembocadura	6.354.486	267.570	3	7,15	668	334	20,0
A14	Aconcagua - Desembocadura	6.354.539	273.836	28	7,46	640	320	18,5
A15	Nogales	6.377.545	292.102	219	6,83	579	289	19,1
P01	San Felipe - Los Andes	6.374.906	354.559	931	7,45	452	226	22,1
P15	Llay Llay	6.364.730	315.216	380	7,27	694	341	-
P29	Aconcagua - Desembocadura	6.354.745	269.429	9	7,27	511	256	18,2

Tabla 4.10: Parámetros químicos medidos en laboratorio, 2ª campaña Aconcagua (Parte 1).

Punto Muestreo	Cloruros Disueltos (mg/L)	Nitratos Disueltos (mg/L)	Sulfatos Disueltos (mg/L)	Calcio Disueltos (mg/L)	Sodio Disuelto (mg/L)	Magnesio Disuelto (mg/L)	Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	Bicarbonato Disuelto (mg/L)	Potasio Disuelto (mg/L)	Cond. Eléctrica (µS/cm)
A01	7,09	14,24	72,52	86,16	21,29	16,3	418	309,624	0,81	597
A02	42,99	5,23	103,41	88,39	25,22	12,69	442	199,415	1,27	632
A03	23,17	4,74	113,36	72,54	11,95	7,84	301,5	109,983	1,7	476
A04	4,83	4,56	49,83	40,03	9,2	7,03	217	119,035	0,99	291
A05	5,03	5,43	19,17	34,46	4,13	12,26	265	143,606	0,89	284
A06	23,55	32,89	153,61	140,34	29,02	33,1	700	415,825	1,7	963
A07	19,21	14,99	105,35	131,14	15,63	20,39	614	257,408	2,77	765
A08	16,01	29,63	72,89	85,86	21,6	26,51	438	285,858	1,66	637
A09	22,87	57,08	167,33	125,74	22,1	21,54	520	243,183	9,41	814
A10	140,85	40,15	247,73	149,35	36,39	25,31	68	68,822	3,17	1.026
A11	39,33	46,09	225,99	169,3	45,65	31,52	836	343,568	1,87	1.110
A12	16,01	31,53	72,98	50,65	14,21	22,63	324	164,014	2,8	503
A13	40,24	1,85	146,51	110,74	49,09	29,21	637	336,138	2,84	872
A14	33,84	12,74	155,85	105,74	34,94	21,94	456	269,27	3,78	815
A15	27,44	20,94	118,3	81,79	19,97	34,65	542	256,268	1,33	767
P01	6,4	31,07	63,46	83,31	39,05	17,44	372	313,339	0,92	574
P15	36,58	23,99	315,6	194,9	57,68	58,68	804	516,048	0,87	1.421
P29	30,44	<0,5	136,83	92,34	37,6	23,85	524	271,746	2,6	722

Tabla 4.11: Parámetros químicos medidos en laboratorio, 2ª campaña Aconcagua (Parte 2).

Punto Muestreo	pH (u. pH)	Aluminio Total (mg/L)	Cobre Total (mg/L)	Hierro Total (mg/L)	Manganeso Total (mg/L)	Molibdeno Total (mg/L)	Níquel Total (mg/L)	Mercurio Total (mg/L)	Bario Total (mg/L)
A01	7,8	0,01	<0,01	<0,03	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	0,05
A02	7,8	0,01	<0,01	<0,03	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	0,01
A03	7,6	<0,01	<0,01	<0,03	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	0,02
A04	7,9	<0,01	<0,01	<0,03	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	<0,01
A05	7,1	<0,01	<0,01	<0,03	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	<0,01
A06	7,4	<0,01	<0,01	<0,03	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	0,03
A07	7,4	0,05	0,01	0,64	<0,01	< 0,01	<0,01	<0,001	0,01
A08	7,7	<0,01	0,08	<0,01	<0,01	< 0,01	<0,01	<0,001	0,08
A09	7,1	<0,01	<0,01	0,05	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	0,06
A10	7,2	<0,01	<0,01	<0,03	0,46	<0,01	<0,01	<0,001	0,03
A11	7,4	0,01	<0,01	<0,03	0,08	<0,01	<0,01	<0,001	0,02
A12	7,7	0,02	<0,01	<0,03	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	0,03
A13	7,3	<0,01	<0,01	0,11	0,51	<0,01	<0,01	<0,001	<0,01
A14	7,6	0,03	<0,01	0,06	0,03	<0,01	<0,01	<0,001	<0,01
A15	7,3	<0,01	<0,01	0,16	0,01	<0,01	<0,01	<0,001	0,02
P01	7,8	0,023	<0,01	<0,03	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	0,02
P15	7,4	0,09	<0,01	0,07	1,49	< 0,01	<0,01	<0,001	0,03
P29	7,3	<0,01	<0,01	0,87	0,46	<0,01	<0,01	<0,001	<0,01

4.2 Fichas de terreno de campañas de muestreo

4.2.1 Campaña de muestreo Los Choros

FICHA POZOS SECTOR ACUÍFERO LOS CHOROS, PROYECTO DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DGA

Fecha:	09/02/09	Hora:	10:15	**Código Pozo:**	LC01

Identificación Pozo			
Nombre Predio:	Parcela California	Localidad:	Los Choros
Comuna:	La Higuera	Uso predio:	Agrícola
Fecha Construcción:	1960	Uso agua:	Riego
Coord. UTM Norte:	6.754.934 m		
Coord. UTM Este	272.857 m		
Cota Topográfica:	10 msnm		
Datos Pozo			
Profundidad:	6 m		
Profundidad Captación:	-		
Diámetro:	5 m		
Tipo operación:	Discontinua		
Nivel Estático:	-		
Nivel Dinámico:	5 m		
Caudal:	2 L/s		





Observaciones:
Pozo con algas y vegetación expuesto a la intemperie

Método toma de muestra:
Motobomba

Parámetros físico-químicos medidos en terreno			
CE (µS/cm):	1.602	pH:	7,53
TDS (ppm):	801	mV:	-24,08
T (ºC)	20	OD (ppm):	5,02

Identificación del Contacto:			
Nombre:	Mateo Ossandón	Dirección:	Parcela California
Teléfono:	-	e-mail:	-

Coordenadas en Datum PSAD-56

FICHA POZOS SECTOR ACUÍFERO LOS CHOROS, PROYECTO DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DGA

Fecha:	11/02/09	Hora:	10:30	**Código Pozo:**	LC02

Identificación Pozo			
Nombre Predio:	Olivos M Rojas	Localidad:	Los Choros
Comuna:	La Higuera	Uso predio:	Residencial-Agrícola
Fecha Construcción:	2003	Uso agua:	Riego
Coord. UTM Norte:	6.757.619 m		
Coord. UTM Este	272.594 m		
Cota Topográfica:	17 msnm		
Datos Pozo			
Profundidad:	38 m		
Profundidad Captación:	26 m		
Diámetro:	0,2 m		
Tipo operación:	Discontinua		
Nivel Estático:	9 m		
Nivel Dinámico:	-		
Caudal:	-		





Observaciones:
Cultivo de Olivos

Método toma de muestra:
Bomba

Parámetros físico-químicos medidos en terreno			
CE (µS/cm):	2.131	pH:	7,49
TDS (ppm):	1.065	mV:	-23
T (ºC)	19,7	OD(ppm):	4,65

Identificación del Contacto:			
Nombre:	Mirta Rojas Araya	Dirección:	Loteo Los Nietos Parcela 281
Teléfono:	51-311021	e-mail:	olivosmrojas@hotmail.com

Coordenadas en Datum PSAD-56

FICHA POZOS SECTOR ACUÍFERO LOS CHOROS, PROYECTO DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DGA

Fecha:	10/02/09	Hora:	11:30	**Código Pozo:**	LC03

Identificación Pozo			
Nombre Predio:	-	Localidad:	Punta de Choros
Comuna:	La Higuera	Uso predio:	Residencial
Fecha Construcción:	-	Uso agua:	Doméstico, NO potable
Coord. UTM Norte:	6.761.630 m		
Coord. UTM Este	262.304 m		
Cota Topográfica:	5 msnm		
Datos Pozo			
Profundidad:	-		
Profundidad Captación:	20 m		
Diámetro:	0,15 m		
Tipo operación:	Discontinua		
Nivel Estático:	3,5 m		
Nivel Dinámico:	9,08 m		
Caudal:	-		

Observaciones:
Cabañas turísticas

Método toma de muestra:
Bomba





Parámetros físico-químicos medidos en terreno			
CE (mS/cm):	18,87	pH:	7,46
TDS (ppm):	9.444	mV:	-21,5
T (ºC)	20,85	OD:	4,2

Identificación del Contacto:			
Nombre:	Antonio Soler	Dirección:	Playa Las Conchitas
Teléfono:	09-2532019	e-mail:	-

Coordenadas en Datum PSAD-56

FICHA POZOS SECTOR ACUÍFERO LOS CHOROS, PROYECTO DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DGA

Fecha:	11/02/09	Hora:	12:50	**Código Pozo:**	LC04

Identificación Pozo			
Nombre Predio:	-	Localidad:	Los Choros
Comuna:	La Higuera	Uso predio:	Camping
Fecha Construcción:	-	Uso agua:	Domestico, No bebida
Coord. UTM Norte:	6.760.135 m		
Coord. UTM Este	273.792 m		
Cota Topográfica:	50 msnm		
Datos Pozo			
Profundidad:	40 m		
Profundidad Captación:	-		
Diámetro:	0,3 m		
Tipo operación:	Discontinua		
Nivel Estático:	-		
Nivel Dinámico:	-		
Caudal:	-		





Observaciones:
Parcela utilizada como camping particular. El agua no se utiliza para beber.

Método toma de muestra:
Motobomba

Parámetros físico-químicos medidos en terreno			
CE (µS/cm):	2.365	pH:	7,81
TDS (ppm):	1.183	mV:	-40,8
T (ºC)	21,7	OD(ppm):	4,5

Identificación del Contacto:			
Nombre:	Soledad Leonicio	Dirección:	Alberto Magno 1396, Stgo.
Teléfono:	08-9000029	e-mail:	soleleonicio@hotmail.com

Coordenadas en Datum PSAD-56

FICHA POZOS SECTOR ACUÍFERO LOS CHOROS, PROYECTO DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DGA

Fecha:	12/02/09	Hora:	10:45	**Código Pozo:**	LC05

Identificación Pozo			
Nombre Predio:	Hijuelas Nº 10	Localidad:	Pueblo Los Choros
Comuna:	La Higuera	Uso predio:	Agrícola
Fecha Construcción:	1996	Uso agua:	Riego
Coord. UTM Norte:	6.757.603 m		
Coord. UTM Este	276.476 m		
Cota Topográfica:	57 msnm		
Datos Pozo			
Profundidad:	9,9 m		
Profundidad Captación:	-		
Diámetro:	1,5 m		
Tipo operación:	Discontinua		
Nivel Estático:	-		
Nivel Dinámico:	7 m		
Caudal:	-		





Observaciones:
Cultivo de olivos

Método toma de muestra:
Bomba

Parámetros físico-químicos medidos en terreno			
CE (µS/cm):	1278	pH:	7,97
TDS (ppm):	639	mV:	-49,2
T (ºC)	20,35	OD(ppm):	5,17

Identificación del Contacto:			
Nombre:	Salvador Barrera	Dirección:	Los Acacios S/N
Teléfono:	09-96644518	e-mail:	

Coordenadas en Datum PSAD-56

FICHA POZOS SECTOR ACUÍFERO LOS CHOROS, PROYECTO DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DGA

Fecha:	10/02/09	Hora:	10:30	**Código Pozo:**	LC06

Identificación Pozo			
Nombre Predio:	-	Localidad:	Cam. Punta de Choros
Comuna:	La Higuera	Uso predio:	Residencial
Fecha Construcción:	1930	Uso agua:	Lavado ropa, loza
Coord. UTM Norte:	6.761.300 m		
Coord. UTM Este	264.992 m		
Cota Topográfica:	3 msnm		
Datos Pozo			
Profundidad:	3,7 m		
Profundidad Captación:	-		
Diámetro:	1 m		
Tipo operación:	Discontinua		
Nivel Estático:	3,5 m		
Nivel Dinámico:	-		
Caudal:	-		

Observaciones:

Noria limpia, sacan agua con balde

Método toma de muestra:

Toma muestra (Bailer)





Parámetros físico-químicos medidos en terreno			
CE (µS/cm):	2.737	pH:	7,4
TDS (ppm):	1.369	mV:	-19,8
T (ºC)	19,8	OD (ppm):	3,74

Identificación del Contacto:			
Nombre:	Oscar Véliz Toledo	Dirección:	Aguas Buenas s/n
Teléfono:	09-99581707	e-mail:	-

Coordenadas en Datum PSAD-56

FICHA POZOS SECTOR ACUÍFERO LOS CHOROS, PROYECTO DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DGA

Fecha:	12/02/09	Hora:	13:15	**Código Pozo:**	LC07

Identificación Pozo			
Nombre Predio:	-	Localidad:	Camino Punta de Choros
Comuna:	La Higuera	Uso predio:	Cabañas, Camping
Fecha Construcción:	-	Uso agua:	Doméstico
Coord. UTM Norte:	6.758.395 m		
Coord. UTM Este	268.669 m		
Cota Topográfica:	4 msnm		
Datos Pozo			
Profundidad:	-		
Profundidad Captación:	-		
Diámetro:	0,2 m		
Tipo operación:	Discontinuo		
Nivel Estático:	-		
Nivel Dinámico:	-		
Caudal:	-		





Observaciones

No se utiliza el agua para beber

Método toma de muestra:

Bomba

Parámetros físico-químicos medidos en terreno			
CE (µS/cm):	4055	pH:	8,09
TDS (ppm):	2027	mV:	-52,1
T (°C)	21,4	OD(ppm):	4,32

Identificación del Contacto:			
Nombre:	Alicia Asencio Romero	Dirección:	Los Olmos 3024, Macul
Teléfono:	(02) 3181941	e-mail:	losnaufragos50@yahoo.com

Coordenadas en Datum PSAD-56

FICHA POZOS SECTOR ACUÍFERO LOS CHOROS, PROYECTO DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DGA

Fecha:	12/02/09	Hora:	16:00	**Código Pozo:**	LC08

Identificación Pozo			
Nombre Predio:	-	Localidad:	Los Choros
Comuna:	La Higuera	Uso predio:	Agrícola
Fecha Construcción:	-	Uso agua:	Riego
Coord. UTM Norte:	6.757.705 m		
Coord. UTM Este	275.653 m		
Cota Topográfica:	46 msnm		
Datos Pozo			
Profundidad:	11,2 m		
Profundidad Captación:	-		
Diámetro:	1,5 m		
Tipo operación:	Discontinuo		
Nivel Estático:	-		
Nivel Dinámico:	10,9		
Caudal:	-		
Observaciones:			
Método toma de muestra: Bomba			





Parámetros físico-químicos medidos en terreno			
CE (µS/cm):	1.768	pH:	8,55
TDS (ppm):	884	mV:	-78
T (ºC)	20,63	OD(ppm):	5,34

Identificación del Contacto:			
Nombre:	Julia Morales	Dirección:	Av. San Jose s/n
Teléfono:	09-91953594	e-mail:	paulinacbm@hotmail.com

Coordenadas en Datum PSAD-56

FICHA POZOS SECTOR ACUÍFERO LOS CHOROS, PROYECTO DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DGA

Fecha:	11/02/09	Hora:	14:34	**Código Pozo:**	LC09

Identificación Pozo			
Nombre Predio:	-	Localidad:	Los Choros
Comuna:	La Higuera	Uso predio:	Agrícola
Fecha Construcción:	-	Uso agua:	Riego
Coord. UTM Norte:	6.760.365 m		
Coord. UTM Este	268.881 m		
Cota Topográfica:	24 msnm		
Datos Pozo			
Profundidad:	14,5 m		
Profundidad Captación:	9,4 m		
Diámetro:	1 m		
Tipo operación:	Discontinua		
Nivel Estático:	9,5 m		
Nivel Dinámico:	12 m		
Caudal:	-		
Observaciones:			
Método toma de muestra: Toma muestra (Bailer)			





Parámetros físico-químicos medidos en terreno			
CE (µS/cm):	2.314	pH:	7,84
TDS (ppm):	1.158	mV:	-42,2
T (ºC)	20	OD(ppm):	4,72

Identificación del Contacto:			
Nombre:	Dionisio Sánchez González	Dirección:	Las Margaritas 378, Coquimbo
Teléfono:	09-0100996, 51-492637	e-mail:	-

Coordenadas en Datum PSAD-56

FICHA POZOS SECTOR ACUÍFERO ACONCAGUA, PROYECTO DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DGA

				Subsector Acuífero:	
Fecha:	09/02/09	Hora:	14:45	**Código Pozo:**	LC10

Identificación Pozo			
Nombre Predio:	Camping el Oasis	Localidad:	Camino a Los Choros
Comuna:	La Higuera	Uso predio:	Camping
Fecha Construcción:	2004	Uso agua:	Riego - Sanitario
Coord. UTM Norte:	6.758.551 m		
Coord. UTM Este	269.201 m		
Cota Topográfica:	6 msnm		
Datos Pozo			
Profundidad:	7,2 m		
Profundidad Captación:	-		
Diámetro:	2,5 m		
Tipo operación:	Discontinua		
Nivel Estático:	-		
Nivel Dinámico:	5,5 m		
Caudal:	-		
Observaciones:			
Método toma de muestra: Bomba			





Parámetros físico-químicos medidos			
Conductivímetro		**pHimetro**	
CE (µS/cm):	5.111	pH:	7,19
TDS (ppm):	2.555	mV:	-5,9
T (ºC)	20	OD:	-

Identificación del Contacto:			
Nombre:	Iván Alvarado	Dirección:	Camping El Oasis
Teléfono:	09-76345924	e-mail:	anamaria.ossandon@gmail.com

Coordenadas en Datum PSAD-56

FICHA POZOS SECTOR ACUÍFERO LOS CHOROS, PROYECTO DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DGA

Fecha:	11/02/09	Hora:	11:45	**Código Pozo:**	LC11

Identificación Pozo			
Nombre Predio:	-	Localidad:	Los Choros
Comuna:	La Higuera	Uso predio:	-
Fecha Construcción:	-	Uso agua:	-
Coord. UTM Norte:	6.761.326 m		
Coord. UTM Este	269.952 m		
Cota Topográfica:	30 msnm		
Datos Pozo			
Profundidad:	39 m		
Profundidad Captación:	-		
Diámetro:	0,1 m		
Tipo operación:	Discontinua		
Nivel Estático:	10 m		
Nivel Dinámico:	-		
Caudal:	-		





Observaciones:

Pozo abandonado.

Método toma de muestra:

Toma muestra (Bailer)

Parámetros físico-químicos medidos en terreno			
CE (µS/cm):	2.978	pH:	7,18
TDS (ppm):	1.489	mV:	-4,9
T (ºC)	20,13	OD(ppm):	4,27

Identificación del Contacto:			
Nombre:	-	Dirección:	-
Teléfono:	-	e-mail:	-

Coordenadas en Datum PSAD-56

FICHA POZOS SECTOR ACUÍFERO LOS CHOROS, PROYECTO DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DGA

Fecha:	09/02/09	Hora:	11:00	**Código Pozo:**	LC12

Identificación Pozo			
Nombre Predio:	Parc. La Jojoba	Localidad:	Llano Los Choros
Comuna:	La Higuera	Uso predio:	Agrícola
Fecha Construcción:	2004	Uso agua:	Riego
Coord. UTM Norte:	6.757.296 m		
Coord. UTM Este	271.465 m		
Cota Topográfica:	16 msnm		
Datos Pozo			
Profundidad:	50 m		
Profundidad Captación:	-		
Diámetro:	0,5 m		
Tipo operación:	Discontinua		
Nivel Estático:	11 m		
Nivel Dinámico:	-		
Caudal:	1 L/s.		
Observaciones: Plantación de Jojoba			
Método toma de muestra: Bomba			





Parámetros físico-químicos medidos en terreno			
CE (µS/cm):	1.086	pH:	7,64
TDS (ppm):	543	mV:	-30,7
T (°C)	20,7	OD (ppm):	-

Identificación del Contacto:			
Nombre:	Marcelo Allende	Dirección:	El Olivar
Teléfono:	09-74282972	e-mail:	ma.allende@gmail.com

Coordenadas en Datum PSAD-56

FICHA POZOS SECTOR ACUÍFERO ACONCAGUA, PROYECTO DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DGA

Fecha:	10/02/09	Hora:	13:45	**Código Pozo:**	LC13

Identificación Pozo			
Nombre Predio:	-	Localidad:	Punta de Choros
Comuna:	La Higuera	Uso predio:	Residencial
Fecha Construcción:	-	Uso agua:	Doméstico, riego
Coord. UTM Norte:	6.765.025 m		
Coord. UTM Este	260.749 m		
Cota Topográfica:	17 msnm		
Datos Pozo			
Profundidad:	40 m		
Profundidad Captación:	20 m		
Diámetro:	20 cm		
Tipo operación:	Discontinua		
Nivel Estático:	-		
Nivel Dinámico:	-		
Caudal:	-		

Observaciones:
Solo para riego y usos domésticos, excepto agua potable

Método toma de muestra:
Bomba





Parámetros físico-químicos medidos en terreno			
CE (mS/cm):	13,84	pH:	7,3
TDS (ppm):	6924	mV:	-12,3
T (ºC)	21	OD (ppm):	4,71

Identificación del Contacto:			
Nombre:	Miguel Blaitt Contador	Dirección:	2 km al norte de P. de Choros
Teléfono:	09-95397806	e-mail:	mblaitt@gmail.com

Coordenadas en Datum PSAD-56

FICHA POZOS SECTOR ACUÍFERO LOS CHOROS, PROYECTO DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DGA

Fecha:	09/02/09	Hora:	11:45	**Código Pozo:**	LC14

Identificación Pozo			
Nombre Predio:	Fundo Los Nietos	Localidad:	Llano Los Choros
Comuna:	La Higuera	Uso predio:	Agrícola
Fecha Construcción:	2007	Uso agua:	Riego
Coord. UTM Norte:	6.758.812 m		
Coord. UTM Este	272.783 m		
Cota Topográfica:	36 msnm		
Datos Pozo			
Profundidad:	36 m		
Profundidad Captación:	30 m		
Diámetro:	1 m		
Tipo operación:	Discontinua		
Nivel Estático:	14 m		
Nivel Dinámico:	-		
Caudal:	2 L/s		
Observaciones:			
Método toma de muestra: Bomba			





Parámetros físico-químicos medidos en terreno			
CE (µS/cm):	1.715	pH:	7,7
TDS (ppm):	857	mV:	-34,7
T (ºC)	20	OD (ppm):	4,05

Identificación del Contacto:			
Nombre:	Roberto Infante	Dirección:	Fundo Los Nietos, parcela 16-21
Teléfono:	09-90185305	e-mail:	mvalencia@rfp.cl

Coordenadas en Datum PSAD-56

FICHA POZOS SECTOR ACUÍFERO LOS CHOROS, PROYECTO DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DGA

				Subsector Acuífero:	
Fecha:	09/02/09	Hora:	12:45	**Código Pozo:**	LC15

Identificación Pozo			
Nombre Predio:	-	Localidad:	Llano Los Choros
Comuna:	La Higuera	Uso predio:	Residencial
Fecha Construcción:	-	Uso agua:	Riego jardín
Coord. UTM Norte:	6.760.553 m		
Coord. UTM Este	274.608 m		
Cota Topográfica:	64 msnm		
Datos Pozo			
Profundidad:	-		
Profundidad Captación:	-		
Diámetro:	1,5 m		
Tipo operación:	Discontinua		
Nivel Estático:			
Nivel Dinámico:	>26 m		
Caudal:	-		
Observaciones:			
Método toma de muestra: Bomba			





Parámetros físico-químicos medidos en terreno			
CE (µS/cm):	3.297	pH:	7,72
TDS (ppm):	1.648	mV:	-35,7
T (ºC)	20	OD:	4,57

Identificación del Contacto:			
Nombre:	Reineres Cerda Soto	Dirección:	Av. Los Olivos, parcela 53
Teléfono:	09-74811448	e-mail:	-

Coordenadas en Datum PSAD-56

FICHA POZOS SECTOR ACUÍFERO LOS CHOROS, PROYECTO DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DGA

Fecha:	09/02/09	Hora:	13:30	**Código Pozo:**	LC16

Identificación Pozo			
Nombre Predio:	Parcela 13	Localidad:	Los Choros
Comuna:	La Higuera	Uso predio:	Agrícola
Fecha Construcción:	2004	Uso agua:	Riego
Coord. UTM Norte:	6.758.105 m		
Coord. UTM Este	274.532 m		
Cota Topográfica:	41 msnm		
Datos Pozo			
Profundidad:	35 m		
Profundidad Captación:	30 m		
Diámetro:	20 cm		
Tipo operación:	Discontinua		
Nivel Estático:	18 m		
Nivel Dinámico:	22 m		
Caudal:	-		
Observaciones:			
Método toma de muestra: Bomba			





Parámetros físico-químicos medidos en terreno			
CE (µS/cm):	1.942	pH:	7,24
TDS (ppm):	971	mV:	-8,9
T (ºC)	20,9	OD (ppm):	5,09

Identificación del Contacto:			
Nombre:	Alejandro Salinas	Dirección:	Parcela 1, salida Los Choros
Teléfono:	09-83591713	e-mail:	-

Coordenadas en Datum PSAD-56

FICHA POZOS SECTOR ACUÍFERO LOS CHOROS PROYECTO DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DGA

Fecha:	12/02/09	Hora:	12:30	**Código Pozo:**	LC17

Identificación Pozo			
Nombre Predio:	-	Localidad:	Pueblo Los Choros
Comuna:	La Higuera	Uso predio:	Ganadería
Fecha Construcción:	-	Uso agua:	Ganadería caprina
Coord. UTM Norte:	6.762.677 m		
Coord. UTM Este	272.109 m		
Cota Topográfica:	58 msnm		
Datos Pozo			
Profundidad:	-		
Profundidad Captación:	-		
Diámetro:	2 m		
Tipo operación:	Discontinuo		
Nivel Estático:	21,88		
Nivel Dinámico:	-		
Caudal:	-		

Observaciones:

Corrales ganadería caprina

Método toma de muestra:

Toma muestra (Bailer)





Parámetros físico-químicos medidos en terreno			
CE (µS/cm):	2.025	pH:	8,24
TDS (ppm):	1.012	mV:	-64
T (ºC)	20,7	OD(ppm):	2,42

Identificación del Contacto:			
Nombre:	-	Dirección:	-
Teléfono:	-	e-mail:	-

Coordenadas en Datum PSAD-56

FICHA POZOS SECTOR ACUÍFERO LOS CHOROS, PROYECTO DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DGA

Fecha:	09/02/09	Hora:	16:00	**Código Pozo:**	LC18

Identificación Pozo			
Nombre Predio:	-	Localidad:	Pueblo Los Choros
Comuna:	La Higuera	Uso predio:	Agrícola
Fecha Construcción:	1958	Uso agua:	Riego
Coord. UTM Norte:	6.757.693 m		
Coord. UTM Este	275.866 m		
Cota Topográfica:	54 msnm		
Datos Pozo			
Profundidad:	9,5 m		
Profundidad Captación:	-		
Diámetro:	3m		
Tipo operación:	Discontinua		
Nivel Estático:	7,3 m		
Nivel Dinámico:	-		
Caudal:	1 L/s		
Observaciones: Cultivo de olivos, maíz, sandías			
Método toma de muestra: Bomba			





Parámetros físico-químicos medidos en terreno			
CE (µS/cm):	1.496	pH:	7,1
TDS (ppm):	748	mV:	-0,7
T (ºC)	19,3	OD:	-

Identificación del Contacto:			
Nombre:	Juana Araya	Dirección:	Las Acacias s/n
Teléfono:	09-85446811	e-mail:	arayajuana730@gmail.com

Coordenadas en Datum PSAD-56

4.2.2 1º Campaña de muestreo Aconcagua

FICHA POZOS SECTOR ACUÍFERO ACONCAGUA, PROYECTO DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DGA

				Subsector Acuífero:	San Felipe - Los Andes
Fecha:	18/11/08	Hora:	11:20	**Código Pozo:**	P00

Identificación Pozo			
Nombre Predio:	Agr. El Sauce	Localidad:	El Sauce
Comuna:	Los Andes	Uso predio:	Agrícola
Fecha Construcción:	1997	Uso agua:	Riego
Coord. UTM Norte:	6366256 m		
Coord. UTM Este	354968 m		
Cota Topográfica:	897 msnm		
Datos Pozo			
Profundidad:	70-80 m		
Profundidad Captación:	60 m		
Diámetro:	12"		
Tipo operación:	Continuo		
Nivel Estático:	15 m		
Nivel Dinámico:	26,4 m		
Caudal:	-		

Observaciones:

Bomba eléctrica de 60 hp

Riego de parronales, nogales y paltos





Parámetros físico-químicos medidos			
Conductivímetro		**pHimetro**	
CE (µS/cm):	697	pH:	7,4
TDS (ppm):	348	mV:	-31,9
NaCl (%):	1,3	T (ºC):	18,9
T (ºC)	18,2		

Identificación del Contacto:			
Nombre:	Arturo Lazcano (Administrador)	Dirección:	Camino Internacional Km 4
Teléfono:	(34) 425 50 10	e-mail:	Luis-uribe@entelchile.net
Observaciones:			

Coordenadas en Datum PSAD-56

FICHA POZOS SECTOR ACUÍFERO ACONCAGUA, PROYECTO DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DGA

				Subsector Acuífero:	San Felipe - Los Andes
Fecha:	21/11/08	Hora:	12:30	**Código Pozo:**	P01

Identificación Pozo			
Nombre Predio:	Agr. El Triunfo	Localidad:	El Monte
Comuna:	San Esteban	Uso predio:	Agrícola
Fecha Construcción:	(1996-1998)	Uso agua:	Riego
Coord. UTM Norte:	6374906 m		
Coord. UTM Este	354559 m		
Cota Topográfica:	931 msnm		
Datos Pozo			
Profundidad:	60 m		
Profundidad Captación:	-		
Diámetro:	12"		
Tipo operación:	Discontinuo		
Nivel Estático:	38,9		
Nivel Dinámico:	-		
Caudal:	10 l/s		

Observaciones:
Llenan tranque para apoyar el riego superficial en la época estival
Parronales, ciruelos





Parámetros físico-químicos medidos			
Conductivímetro		**pHimetro**	
CE (µS/cm):	602	pH:	7,58
TDS (ppm):	301	mV:	-41,5
NaCl (%):	1,1	T (ºC):	21,4
T (ºC)	-		

Identificación del Contacto:			
Nombre:	Alfonso Gutiérrez	Dirección:	Camino San Francisco s/n
Teléfono:	(34) 481 056 - 57	e-mail:	aj. gutierreza@yahoo.es
Observaciones:			

Coordenadas en Datum PSAD-56

FICHA POZOS SECTOR ACUÍFERO ACONCAGUA, PROYECTO DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DGA

				Subsector Acuífero:	San Felipe - Los Andes
Fecha:	21/11/08	Hora:	14:00	**Código Pozo:**	P02

Identificación Pozo			
Nombre Predio:	Coop. AP	Localidad:	Sta. Filomena
Comuna:	Sta. María	Uso predio:	-
Fecha Construcción:	1996	Uso agua:	Agua Potable
Coord. UTM Norte:	6381922 m		
Coord. UTM Este	348644 m		
Cota Topográfica:	897 msnm		
Datos Pozo			
Profundidad:	140 m		
Profundidad Captación:	120 m		
Diámetro:	10"		
Tipo operación:	Continuo		
Nivel Estático:	92 m (Agosto 08)		
Nivel Dinámico:	-		
Caudal:	10 l/s		

Observaciones:
Pozo de la Cooperativa de Agua Potable Rural Sta. Filomena.





Parámetros físico-químicos medidos			
Conductivímetro		**pHimetro**	
CE (µS/cm):	693	pH:	7,48
TDS (ppm):	346	mV:	-36,6
NaCl (%):	1,3	T (ºC):	20,9
T (ºC)	-		

Identificación del Contacto:			
Nombre:	Omar Rojas	Dirección:	Sta. Filomena 925
Teléfono:	(34) 582 431	e-mail:	-
Observaciones:			

Coordenadas en Datum PSAD-56

FICHA POZOS SECTOR ACUÍFERO ACONCAGUA, PROYECTO DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DGA

				Subsector Acuífero:	San Felipe – Los Andes
Fecha:	18/11/08	Hora:	16:30	**Código Pozo:**	P03

Identificación Pozo			
Nombre Predio:	Comité APR	Localidad:	San Vicente
Comuna:	Calle Larga	Uso predio:	-
Fecha Construcción:	1999	Uso agua:	Agua Potable Rural
Coord. UTM Norte:	6360394 m		
Coord. UTM Este	351355 m		
Cota Topográfica:	866 msnm		
Datos Pozo			
Profundidad:	28 m		
Profundidad Captación:	23 m		
Diámetro:	4"		
Tipo operación:	Continua		
Nivel Estático:	13		
Nivel Dinámico:	-		
Caudal:	5,8 l/s		

Observaciones:
Comité de Agua Potable Rural Las Calderas San Vicente





Parámetros físico-químicos medidos			
Conductivímetro		**pHimetro**	
CE (µS/cm):	447	pH:	7,13
TDS (ppm):	224	mV:	-17,2
NaCl (%):	0,8	T (ºC):	18,2
T (ºC)	18,2		

Identificación del Contacto:			
Nombre:	Pedro Espinoza	Dirección:	Comité APR Las Calderas
Teléfono:	(8) 407 44 52	e-mail:	-
Observaciones:			

Coordenadas en Datum PSAD-56

FICHA POZOS SECTOR ACUÍFERO ACONCAGUA, PROYECTO DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DGA

				Subsector Acuífero:	San Felipe – Los Andes
Fecha:	21/11/08	Hora:	10:30	**Código Pozo:**	P04

Identificación Pozo			
Nombre Predio:	El Pidén	Localidad:	Rinconada
Comuna:	Rinconada	Uso predio:	Agrícola
Fecha Construcción:	1999	Uso agua:	Riego
Coord. UTM Norte:	6364731 m		
Coord. UTM Este	342550 m		
Cota Topográfica:	720 msnm		
Datos Pozo			
Profundidad:	100 m		
Profundidad Captación:	60 m		
Diámetro:	40 cm		
Tipo operación:	Discontinua		
Nivel Estático:	35 m		
Nivel Dinámico:	-		
Caudal:	60 l/s		

Observaciones:
Agrícola Peppi
Parronales





Parámetros físico-químicos medidos			
Conductivímetro		**pHimetro**	
CE (µS/cm):	813	pH:	7,34
TDS (ppm):	408	mV:	-27,0
NaCl (%):	1,6	T (ºC):	18,1
T (ºC)	-		

Identificación del Contacto:			
Nombre:	José Pineda Valle	Dirección:	Carretera San Martín s/n
Teléfono:	(34)405 510, 0-91380408	e-mail:	-
Observaciones:			

Coordenadas en Datum PSAD-56

FICHA POZOS SECTOR ACUÍFERO ACONCAGUA, PROYECTO DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DGA

				Subsector Acuífero:	San Felipe – Los Andes
Fecha:	19/11/08	Hora:	11:15	**Código Pozo:**	P05

Identificación Pozo			
Nombre Predio:	La Peña	Localidad:	Curimón
Comuna:		Uso predio:	Agrícola
Fecha Construcción:	-	Uso agua:	Riego
Coord. UTM Norte:	6370319 m		
Coord. UTM Este	345393 m		
Cota Topográfica:	741 msnm		
Datos Pozo			
Profundidad:	110 m		
Profundidad Captación:	-		
Diámetro:	40 cm		
Tipo operación:	Discontinuo		
Nivel Estático:	59 m		
Nivel Dinámico:	-		
Caudal:	60 l/s		

Observaciones:

Pozo C-21. La Peña, El Rosario.

Parronales, Duraznos





Parámetros físico-químicos medidos			
Conductivímetro		**pHimetro**	
CE (µS/cm):	366	pH:	7,49
TDS (ppm):	183	mV:	-36,9
NaCl (%):	0,7	T (ºC):	15,3
T (ºC)	-		

Identificación del Contacto:			
Nombre:	Marcelo Galdámez	Dirección:	-
Teléfono:	(34) 531 007	e-mail:	-
Observaciones:			

Coordenadas en Datum PSAD-56

FICHA POZOS SECTOR ACUÍFERO ACONCAGUA, PROYECTO DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DGA

				Subsector Acuífero:	San Felipe – Los Andes
Fecha:	17/11/08	Hora:	16:40	**Código Pozo:**	P06

Identificación Pozo			
Nombre Predio:	Agr. Valtelina	Localidad:	Sta. María
Comuna:	Sta. María	Uso predio:	Agrícola
Fecha Construcción:	1987	Uso agua:	Riego
Coord. UTM Norte:	6377237 m		
Coord. UTM Este	347132 m		
Cota Topográfica:	741 msnm		
Datos Pozo			
Profundidad:	70 m		
Profundidad Captación:	66,5 m		
Diámetro:	30 cm		
Tipo operación:	Discontinuo		
Nivel Estático:	40 m		
Nivel Dinámico:	-		
Caudal:	30 l/s		





Observaciones:

Uso sólo en verano, apoyo riego.

Parronales, carozos

Bomba 50 hp

Parámetros físico-químicos medidos			
Conductivímetro		**pHimetro**	
CE (µS/cm):	742	pH:	7,42
TDS (ppm):	371	mV:	-32,5
NaCl (%):	1,5	T (ºC):	20,0
T (ºC)	-		

Identificación del Contacto:			
Nombre:	María Méndez	Dirección:	Calle Jahuel s/n, Sta. Maria
Teléfono:	(34) 583 289, 589 427	e-mail:	valtelinaltda@tie.cl
Observaciones: Rolando Herrera			

Coordenadas en Datum PSAD-56

FICHA POZOS SECTOR ACUÍFERO ACONCAGUA, PROYECTO DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DGA

				Subsector Acuífero:	San Felipe – Los Andes
Fecha:	19/11/08	Hora:	12:15	**Código Pozo:**	P07

Identificación Pozo			
Nombre Predio:	Agr. Cerro Mauco	Localidad:	Pío Río
Comuna:	San Felipe	Uso predio:	Agrícola
Fecha Construcción:	-	Uso agua:	Aplicaciones pesticidas
Coord. UTM Norte:	6373820 m		
Coord. UTM Este	337704 m		
Cota Topográfica:	646 msnm		
Datos Pozo			
Profundidad:	8 m		
Profundidad Captación:	-		
Diámetro:	1,20 m		
Tipo operación:	-		
Nivel Estático:	-		
Nivel Dinámico:	2,10 m		
Caudal:	-		

Observaciones:
El agua se utiliza para aplicación de pesticidas en parronales





Parámetros físico-químicos medidos			
Conductivímetro		**pHimetro**	
CE (µS/cm):	647	pH:	7,23
TDS (ppm):	324	mV:	-21,9
NaCl (%):	1,2	T (ºC):	19,3
T (ºC)	-		

Identificación del Contacto:			
Nombre:	Luís Cruz	Dirección:	Carretera CH-60 s/n Pío Río
Teléfono:	(34)	e-mail:	-
Observaciones:			

Coordenadas en Datum PSAD-56

FICHA POZOS SECTOR ACUÍFERO ACONCAGUA, PROYECTO DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DGA

				Subsector Acuífero:	San Felipe – Los Andes
Fecha:	28/11/08	Hora:	10:30	**Código Pozo:**	P35

Identificación Pozo			
Nombre Predio:	Liceo Mixto	Localidad:	Los Andes
Comuna:	Los Andes	Uso predio:	Colegio
Fecha Construcción:	1998	Uso agua:	AP
Coord. UTM Norte:	6367030 m		
Coord. UTM Este	349208 m		
Cota Topográfica:	806 msnm		
Datos Pozo			
Profundidad:	165 m		
Profundidad Captación:	110-120 m		
Diámetro:	6"		
Tipo operación:	Continua		
Nivel Estático:	-		
Nivel Dinámico:	-		
Caudal:	50 l/s		
Observaciones:			





Parámetros físico-químicos medidos			
Conductivímetro		**pHimetro**	
CE (µS/cm):	659	pH:	7,3
TDS (ppm):	297	mV:	-30
NaCl (%):	1,2	T (ºC):	16,9
T (ºC)	-		

Identificación del Contacto:			
Nombre:	Jorge Peña Torres	Dirección:	San Rafael 1450
Teléfono:	(34) 408 175	e-mail:	jpena@liceomixto.cl
Observaciones:			

Coordenadas en Datum PSAD-56

FICHA POZOS SECTOR ACUÍFERO ACONCAGUA, PROYECTO DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DGA

				Subsector Acuífero:	San Felipe – Los Andes
Fecha:	28/11/08	Hora:		**Código Pozo:**	P36

Identificación Pozo			
Nombre Predio:	-	Localidad:	Rinconada
Comuna:		Uso predio:	Residencial
Fecha Construcción:	-	Uso agua:	Consumo AP
Coord. UTM Norte:	6370163 m		
Coord. UTM Este	340617 m		
Cota Topográfica:	695 msnm		
Datos Pozo			
Profundidad:	>30 m		
Profundidad Captación:	-		
Diámetro:	1,5 m		
Tipo operación:	Continua		
Nivel Estático:	-		
Nivel Dinámico:	-		
Caudal:	50 l/s		

Observaciones:

Pozo que abastece de agua a parcelas de agrado, la información la entrega un trabajador que estaba reparando la bomba





Parámetros físico-químicos medidos			
Conductivímetro		**pHimetro**	
CE (µS/cm):	655	pH:	7,4
TDS (ppm):	327	mV:	-36,7
NaCl (%):	1,3	T (ºC):	18,2
T (ºC)	-		

Identificación del Contacto:			
Nombre:	-	Dirección:	Rol E-815 Rinconada
Teléfono:	-	e-mail:	-
Observaciones:			

Coordenadas en Datum PSAD-56

FICHA POZOS SECTOR ACUÍFERO ACONCAGUA, PROYECTO DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DGA

				Subsector Acuífero:	Aconcagua-Las Vegas
Fecha:	19/11/08	Hora:	16:30	**Código Pozo:**	P10

Identificación Pozo			
Nombre Predio:	Agr. Millahue	Localidad:	Panquehue
Comuna:	Panquehue	Uso predio:	Agrícola
Fecha Construcción:	1994	Uso agua:	Riego
Coord. UTM Norte:	6374337 m		
Coord. UTM Este	331047 m		
Cota Topográfica:	552 msnm		
Datos Pozo			
Profundidad:	50 m		
Profundidad Captación:	30 m		
Diámetro:	20 cm		
Tipo operación:	Continua		
Nivel Estático:	3,30 m		
Nivel Dinámico:	-		
Caudal:	-		

Observaciones:

Fundo El Palomar, Ex Aconex





Parámetros físico-químicos medidos			
Conductivímetro		**pHimetro**	
CE (µS/cm):	516	pH:	7,21
TDS (ppm):	260	mV:	-21,1
NaCl (%):	1,1	T (ºC):	18,0
T (ºC)	-		

Identificación del Contacto:			
Nombre:	Prudencio Córdova Silva	Dirección:	-
Teléfono:	(34) 591 060	e-mail:	pcordovas@hotmail.com
Observaciones:			

Coordenadas en Datum PSAD-56

FICHA POZOS SECTOR ACUÍFERO ACONCAGUA, PROYECTO DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DGA

				Subsector Acuífero:	Aconcagua-Las Vegas
Fecha:	19/11/08	Hora:	15:00	**Código Pozo:**	P11

Identificación Pozo			
Nombre Predio:	APR	Localidad:	La Pirca
Comuna:	Panquehue	Uso predio:	APR
Fecha Construcción:	1987	Uso agua:	APR
Coord. UTM Norte:	6371510 m		
Coord. UTM Este	326307 m		
Cota Topográfica:	505 msnm		
Datos Pozo			
Profundidad:	4,95 m		
Profundidad Captación:	-		
Diámetro:	2 m		
Tipo operación:	Continua		
Nivel Estático:	-		
Nivel Dinámico:	2,0 m		
Caudal:	-		
Observaciones:			





Parámetros físico-químicos medidos			
Conductivímetro		**pHimetro**	
CE (µS/cm):	787	pH:	7,23
TDS (ppm):	393	mV:	-21,9
NaCl (%):	1,5	T (ºC):	19,2
T (ºC)	-		

Identificación del Contacto:			
Nombre:	Luís Jiménez	Dirección:	Calle B. O'Higgins casa 3
Teléfono:	-	e-mail:	-
Observaciones: Población Los Libertadores			

Coordenadas en Datum PSAD-56

FICHA POZOS SECTOR ACUÍFERO ACONCAGUA, PROYECTO DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DGA

				Subsector Acuífero:	Aconcagua-Las Vegas
Fecha:	21/11/08	Hora:	16:45	**Código Pozo:**	P12

Identificación Pozo			
Nombre Predio:	Chile Tabacos	Localidad:	Chagres
Comuna:	Catemu	Uso predio:	Industrial
Fecha Construcción:	-	Uso agua:	Riego - AP
Coord. UTM Norte:	6368653 m		
Coord. UTM Este	316813 m		
Cota Topográfica:	407 msnm		
Datos Pozo			
Profundidad:	4 m		
Profundidad Captación:	-		
Diámetro:	3 m		
Tipo operación:	Continua		
Nivel Estático:	1,99 m		
Nivel Dinámico:	-		
Caudal:	-		

Observaciones:

Bodegas Chile Tabacos





Parámetros físico-químicos medidos			
Conductivímetro		**pHimetro**	
CE (µS/cm):	622	pH:	7,18
TDS (ppm):	312	mV:	19,1
NaCl (%):	1,3	T (ºC):	18,6
T (ºC)	-		

Identificación del Contacto:			
Nombre:	Luís Pérez	Dirección:	Camino Internacional s/n
Teléfono:	(34) 611 064	e-mail:	Luis_perez@bat.com
Observaciones: Chagres, Catemu			

Coordenadas en Datum PSAD-56

FICHA POZOS SECTOR ACUÍFERO ACONCAGUA, PROYECTO DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DGA

				Subsector Acuífero:	Aconcagua-Las Vegas
Fecha:	27/11/08	Hora:	15:00	**Código Pozo:**	P13

Identificación Pozo			
Nombre Predio:	Casa Particular	Localidad:	Lo Campo
Comuna:	Panquehue	Uso predio:	Residencial
Fecha Construcción:	2003	Uso agua:	Riego
Coord. UTM Norte:	6369217 m		
Coord. UTM Este	322036 m		
Cota Topográfica:	459 msnm		
Datos Pozo			
Profundidad:	5,0 m		
Profundidad Captación:	4,7 m		
Diámetro:	1''		
Tipo operación:	Continua		
Nivel Estático:	2,0 m		
Nivel Dinámico:	-		
Caudal:	20 l/s		
Observaciones:			



Parámetros físico-químicos medidos			
Conductivímetro		**pHimetro**	
CE (µS/cm):	674	pH:	6,98
TDS (ppm):	337	mV:	-10,2
NaCl (%):	1,3	T (ºC):	19,8
T (ºC)	-		

Identificación del Contacto:			
Nombre:	Bernardo Moreno	Dirección:	Lo Campo s/n Panquehue
Teléfono:	(09)1803134	e-mail:	-
Observaciones:			

Coordenadas en Datum PSAD-56

FICHA POZOS SECTOR ACUÍFERO ACONCAGUA, PROYECTO DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DGA

				Subsector Acuífero:	Nogales
Fecha:	25/11/08	Hora:	12:00	**Código Pozo:**	P23

Identificación Pozo			
Nombre Predio:	Parcela 41	Localidad:	Los Caleos
Comuna:	Nogales	Uso predio:	Agrícola
Fecha Construcción:	1990	Uso agua:	Riego
Coord. UTM Norte:	6385237 m		
Coord. UTM Este	293833 m		
Cota Topográfica:	297 msnm		
Datos Pozo			
Profundidad:	8 m		
Profundidad Captación:	7,5		
Diámetro:	2 m		
Tipo operación:	Discontinua		
Nivel Estático:	3 m		
Nivel Dinámico:	-		
Caudal:	30 l/min		

Observaciones:

Uso en verano

Plantación Frutillas

A 200 m planteles de pavos SOPRAVAL

Acumulación de guano





Parámetros físico-químicos medidos			
Conductivímetro		**pHimetro**	
CE (µS/cm):	711	pH:	6,5
TDS (ppm):	355	mV:	-
NaCl (%):	1,4	T (ºC):	17,4
T (ºC)	-		

Identificación del Contacto:			
Nombre:	Vitervo Saavedra	Dirección:	Parcela 41, Los Caleos
Teléfono:	(34) 721813	e-mail:	-
Observaciones:			

Coordenadas en Datum PSAD-56

FICHA POZOS SECTOR ACUÍFERO ACONCAGUA, PROYECTO DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DGA

				Subsector Acuífero:	Nogales
Fecha:	25/11/08	Hora:	10:20	**Código Pozo:**	P24

Identificación Pozo			
Nombre Predio:	Fundo Litre	Localidad:	-
Comuna:	Nogales	Uso predio:	Agrícola
Fecha Construcción:	1993	Uso agua:	Riego
Coord. UTM Norte:	6374869 m		
Coord. UTM Este	294717 m		
Cota Topográfica:	207 msnm		
Datos Pozo			
Profundidad:	5 m		
Profundidad Captación:	-		
Diámetro:	1,5 m		
Tipo operación:	Continua		
Nivel Estático:	2,4 m		
Nivel Dinámico:	-		
Caudal:	10 l/min		





Observaciones:

Riego de plantación de arándanos

Parámetros físico-químicos medidos			
Conductivímetro		**pHimetro**	
CE (µS/cm):	665	pH:	7,24
TDS (ppm):	332	mV:	-23,3
NaCl (%):	1,4	T (ºC):	18,2
T (ºC)	-		

Identificación del Contacto:			
Nombre:	Claudia Fuentevilla	Dirección:	Panamericana N Km 114
Teléfono:	(33) 281 127, (09)1381262	e-mail:	claudiafuentevilla@gmail.com
Observaciones:			

Coordenadas en Datum PSAD-56

FICHA POZOS SECTOR ACUÍFERO ACONCAGUA, PROYECTO DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DGA

				Subsector Acuífero:	Llayllay
Fecha:	24/11/08	Hora:	12:00	**Código Pozo:**	P14

Identificación Pozo			
Nombre Predio:	Parc. Los Loros	Localidad:	Los Loros
Comuna:	Llayllay	Uso predio:	Agrícola
Fecha Construcción:	Marzo 2005	Uso agua:	Riego
Coord. UTM Norte:	6362861 m		
Coord. UTM Este	322238 m		
Cota Topográfica:	409 msnm		
Datos Pozo			
Profundidad:	37 m		
Profundidad Captación:	-		
Diámetro:	10"		
Tipo operación:	Discontinua		
Nivel Estático:	13,67 m		
Nivel Dinámico:	20,78 m		
Caudal:	30 l/s		

Observaciones:

Parrones, cerezos, damascos





Parámetros físico-químicos medidos			
Conductivímetro		**pHimetro**	
CE (µS/cm):	1150	pH:	7,00
TDS (ppm):	530	mV:	-9,9
NaCl (%):	2,1	T (ºC):	19,1
T (ºC)	-		

Identificación del Contacto:			
Nombre:	Patricio Carvajal	Dirección:	Parcela Los Loros
Teléfono:	(34) 611 639	e-mail:	namallayllay@nama.cl
Observaciones: Realizan análisis 1 vez al año			

Coordenadas en Datum PSAD-56

FICHA POZOS SECTOR ACUÍFERO ACONCAGUA, PROYECTO DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DGA

				Subsector Acuífero:	Llayllay
Fecha:	24/11/08	Hora:	13:00	**Código Pozo:**	P15

Identificación Pozo			
Nombre Predio:	Particular	Localidad:	Llayllay
Comuna:	Llayllay	Uso predio:	Domicilio particular
Fecha Construcción:	2005	Uso agua:	Riego jardín
Coord. UTM Norte:	6364730 m		
Coord. UTM Este	315216 m		
Cota Topográfica:	380 msnm		
Datos Pozo			
Profundidad:	5 m		
Profundidad Captación:	-		
Diámetro:	-		
Tipo operación:	Discontinua		
Nivel Estático:	2 m		
Nivel Dinámico:	-		
Caudal:	2 l/s		

Observaciones:

Sólo riego del jardín





Parámetros físico-químicos medidos			
Conductivímetro		**pHimetro**	
CE (µS/cm):	1698	pH:	7,2
TDS (ppm):	899	mV:	-21,6
NaCl (%):	3,3	T (ºC):	20,7
T (ºC)	-		

Identificación del Contacto:			
Nombre:	Eva Hormazabal	Dirección:	Las Palmas casa nº 1
Teléfono:	(34) 611 681	e-mail:	
Observaciones:			

Coordenadas en Datum PSAD-56

FICHA POZOS SECTOR ACUÍFERO ACONCAGUA, PROYECTO DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DGA

				Subsector Acuífero:	Quillota
Fecha:	24/11/08	Hora:	16:40	**Código Pozo:**	P17

Identificación Pozo			
Nombre Predio:	Agr. Agromol	Localidad:	
Comuna:	Hijuelas	Uso predio:	Agrícola
Fecha Construcción:	1978	Uso agua:	AP
Coord. UTM Norte:	6367677 m		
Coord. UTM Este	307295 m		
Cota Topográfica:	343 msnm		
Datos Pozo			
Profundidad:	5 m		
Profundidad Captación:	-		
Diámetro:	1,5		
Tipo operación:	Continuo		
Nivel Estático:	3,20 m		
Nivel Dinámico:	-		
Caudal:	2 l/s		

Observaciones:
Pozo en casa patronal, ubicada dentro de fundo con plantaciones de paltos y clementinas.





Parámetros físico-químicos medidos			
Conductivímetro		**pHimetro**	
CE (µS/cm):	512	pH:	6,83
TDS (ppm):	256	mV:	-0,5
NaCl (%):	0,7	T (ºC):	18,1
T (ºC)	-		

Identificación del Contacto:			
Nombre:	Eduardo Montero	Dirección:	La Sombra, Romeral s/n
Teléfono:	(34) 272 378	e-mail:	agricolaagromol@gmail.com
Observaciones:			

Coordenadas en Datum PSAD-56

FICHA POZOS SECTOR ACUÍFERO ACONCAGUA, PROYECTO DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DGA

				Subsector Acuífero:	Quillota
Fecha:	24/11/08	Hora:	15:42	**Código Pozo:**	P18

Identificación Pozo			
Nombre Predio:	San Luís	Localidad:	-
Comuna:	Hijuelas	Uso predio:	Agrícola
Fecha Construcción:	-	Uso agua:	Riego
Coord. UTM Norte:	6366281 m		
Coord. UTM Este	300769 m		
Cota Topográfica:	263 msnm		
Datos Pozo			
Profundidad:	30 m		
Profundidad Captación:	25 m		
Diámetro:	-		
Tipo operación:	Continua		
Nivel Estático:	-		
Nivel Dinámico:	-		
Caudal:	-		

Observaciones:
Invernaderos





Parámetros físico-químicos medidos			
Conductivímetro		**pHimetro**	
CE (µS/cm):	614	pH:	6,88
TDS (ppm):	347	mV:	-3,2
NaCl (%):	1,3	T (ºC):	19,0
T (ºC)	-		

Identificación del Contacto:			
Nombre:	Agrícola CEGEDE	Dirección:	-
Teléfono:	-	e-mail:	agricola05@tie.cl
Observaciones:			

Coordenadas en Datum PSAD-56

FICHA POZOS SECTOR ACUÍFERO ACONCAGUA, PROYECTO DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DGA

				Subsector Acuífero:	Quillota
Fecha:	25/11/08	Hora:	13:20	**Código Pozo:**	P19

Identificación Pozo			
Nombre Predio:	-	Localidad:	Los Olivos
Comuna:	Calera	Uso predio:	Agrícola
Fecha Construcción:	2004	Uso agua:	Doméstico
Coord. UTM Norte:	6371963 m		
Coord. UTM Este	297977 m		
Cota Topográfica:	241 msnm		
Datos Pozo			
Profundidad:	-		
Profundidad Captación:	-		
Diámetro:	3,4 m		
Tipo operación:	Discontinuo		
Nivel Estático:	7 m		
Nivel Dinámico:	-		
Caudal:	20 l/min		

Observaciones:

2 años que ya no se usa el pozo para riego, sólo uso doméstico

Plantación de paltos





Parámetros físico-químicos medidos			
Conductivímetro		**pHimetro**	
CE (µS/cm):	551	pH:	6,71
TDS (ppm):	276	mV:	6,4
NaCl (%):	1,1	T (ºC):	18,8
T (ºC)	-		

Identificación del Contacto:			
Nombre:	Leandro Díaz	Dirección:	Parcela 11
Teléfono:	-	e-mail:	-
Observaciones:			

Coordenadas en Datum PSAD-56

FICHA POZOS SECTOR ACUÍFERO ACONCAGUA, PROYECTO DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DGA

				Subsector Acuífero:	Quillota
Fecha:	25/11/08	Hora:	14:20	**Código Pozo:**	P20

Identificación Pozo			
Nombre Predio:	INIA	Localidad:	Chorrillos
Comuna:	La Cruz	Uso predio:	Oficinas
Fecha Construcción:	1990	Uso agua:	Riego Jardín
Coord. UTM Norte:	6366494 m		
Coord. UTM Este	291468 m		
Cota Topográfica:	175 msnm		
Datos Pozo			
Profundidad:	20 m		
Profundidad Captación:	18 m		
Diámetro:	1,5 m		
Tipo operación:	Continuo		
Nivel Estático:	15 m		
Nivel Dinámico:	-		
Caudal:	20 l/min		

Observaciones:

Oficinas INIA





Parámetros físico-químicos medidos			
Conductivímetro		**pHimetro**	
CE (µS/cm):	636	pH:	6,96
TDS (ppm):	318	mV:	-7,5
NaCl (%):	1,2	T (ºC):	18,2
T (ºC)	-		

Identificación del Contacto:			
Nombre:	Marcos Astroza	Dirección:	Chorrillos 86
Teléfono:	(34) 470 390	e-mail:	mastroza@inia.cl
Observaciones:			

Coordenadas en Datum PSAD-56

FICHA POZOS SECTOR ACUÍFERO ACONCAGUA, PROYECTO DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DGA

				Subsector Acuífero:	Quillota
Fecha:	25/11/08	Hora:	15:40	**Código Pozo:**	P21

Identificación Pozo			
Nombre Predio:	C. Centauro	Localidad:	Quillota
Comuna:	Quillota	Uso predio:	Industrial
Fecha Construcción:	1960	Uso agua:	Industrial
Coord. UTM Norte:	6361219 m		
Coord. UTM Este	290654 m		
Cota Topográfica:	128 msnm		
Datos Pozo			
Profundidad:	20 m		
Profundidad Captación:	18 m		
Diámetro:	2 m		
Tipo operación:	Continua		
Nivel Estático:	10 m		
Nivel Dinámico:	12 m		
Caudal:	14 l/s		
Observaciones: Conservas Centauro			





Parámetros físico-químicos medidos			
Conductivímetro		**pHimetro**	
CE (µS/cm):	868	pH:	7,03
TDS (ppm):	434	mV:	-11,2
NaCl (%):	1,7	T (ºC):	23,2
T (ºC)	-		

Identificación del Contacto:			
Nombre:	Silvio Bozzolo	Dirección:	Av. 21 de Mayo 150
Teléfono:	(34) 313 232	e-mail:	sbozzolo.centauro@gmail.com
Observaciones:			

Coordenadas en Datum PSAD-56

FICHA POZOS SECTOR ACUÍFERO ACONCAGUA, PROYECTO DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DGA

				Subsector Acuífero:	Quillota
Fecha:	26/11/08	Hora:	15:00	**Código Pozo:**	P22

Identificación Pozo			
Nombre Predio:	San Pedro	Localidad:	Troncal San Pedro
Comuna:	Quillota	Uso predio:	Residencial
Fecha Construcción:	1990	Uso agua:	Riego Jardín
Coord. UTM Norte:	6355495 m		
Coord. UTM Este	285243 m		
Cota Topográfica:	85 msnm		
Datos Pozo			
Profundidad:	3,6 m		
Profundidad Captación:	3,4 m		
Diámetro:	1,5 m		
Tipo operación:	Continua		
Nivel Estático:	2,85		
Nivel Dinámico:	-		
Caudal:	20 l/s		
Observaciones:			





Parámetros físico-químicos medidos			
Conductivímetro		**pHimetro**	
CE (µS/cm):	665	pH:	7,15
TDS (ppm):	332	mV:	-17,1
NaCl (%):	1,3	T (ºC):	18,7
T (ºC)	-		

Identificación del Contacto:			
Nombre:	Marisol Sepúlveda	Dirección:	Parcela 1B
Teléfono:	(34) 312 569	e-mail:	msepulvedatornero@gmail.com
Observaciones: Paradero 12, Troncal San Pedro			

Coordenadas en Datum PSAD-56

FICHA POZOS SECTOR ACUÍFERO ACONCAGUA, PROYECTO DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DGA

				Subsector Acuífero:	Quillota
Fecha:	25/11/08	Hora:	16:00	**Código Pozo:**	P38

Identificación Pozo			
Nombre Predio:	F. La Querencia	Localidad:	San Pedro
Comuna:	Quillota	Uso predio:	Agrícola
Fecha Construcción:	1980	Uso agua:	Riego
Coord. UTM Norte:	6357534 m		
Coord. UTM Este	288342 m		
Cota Topográfica:	96 msnm		
Datos Pozo			
Profundidad:	6,5 m		
Profundidad Captación:	5,0 m		
Diámetro:	3,2 m		
Tipo operación:	Continua		
Nivel Estático:	2,2		
Nivel Dinámico:	-		
Caudal:	20 l/min		

Observaciones:

Plantaciones de Paltos, Naranjos





Parámetros físico-químicos medidos			
Conductivímetro		**pHimetro**	
CE (µS/cm):	743	pH:	6,98
TDS (ppm):	371	mV:	-8,5
NaCl (%):	1,5	T (ºC):	19,4
T (ºC)	-		

Identificación del Contacto:			
Nombre:	René Cuevas	Dirección:	Paradero 2 Camino Troncal
Teléfono:	(34) 3144 180	e-mail:	rcuevas@tie.cl
Observaciones: San Pedro			

Coordenadas en Datum PSAD-56

FICHA POZOS SECTOR ACUÍFERO ACONCAGUA, PROYECTO DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DGA

				Subsector Acuífero:	Aconcagua-Las Vegas
Fecha:	20/11/08	Hora:	16:00	**Código Pozo:**	P13

Identificación Pozo			
Nombre Predio:	Las Mercedes	Localidad:	Las Mercedes
Comuna:	Catemu	Uso predio:	Agrícola
Fecha Construcción:	1992	Uso agua:	Riego
Coord. UTM Norte:	6378295 m		
Coord. UTM Este	318678 m		
Cota Topográfica:	443 msnm		
Datos Pozo			
Profundidad:	30 m		
Profundidad Captación:	26 m		
Diámetro:	6"		
Tipo operación:	Discontinua		
Nivel Estático:	3-5 m		
Nivel Dinámico:	-		
Caudal:	-		

Observaciones:
Agrícola San Guillermo
Duraznos, Peras





Parámetros físico-químicos medidos			
Conductivímetro		**pHimetro**	
CE (µS/cm):	709	pH:	7,16
TDS (ppm):	354	mV:	-18,4
NaCl (%):	1,4	T (ºC):	19,4
T (ºC)	-		

Identificación del Contacto:			
Nombre:	Enrique Pérez	Dirección:	-
Teléfono:	(34) 631 988	e-mail:	-
Observaciones:			

Coordenadas en Datum PSAD-56

FICHA POZOS SECTOR ACUÍFERO ACONCAGUA, PROYECTO DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DGA

				Subsector Acuífero:	Aconcagua-Las Vegas
Fecha:	20/11/08	Hora:	15:00	**Código Pozo:**	P33

Identificación Pozo			
Nombre Predio:		Localidad:	
Comuna:	Catemu	Uso predio:	Agrícola
Fecha Construcción:	2000	Uso agua:	Riego
Coord. UTM Norte:	6374127 m		
Coord. UTM Este	317648 m		
Cota Topográfica:	426 msnm		
Datos Pozo			
Profundidad:	30 m		
Profundidad Captación:	26 m		
Diámetro:	6"		
Tipo operación:	Continua		
Nivel Estático:	7 m		
Nivel Dinámico:	-		
Caudal:	-		

Observaciones:
Uso de apoyo relleno tranque Parronales
Propiedad de Agrícola San Guillermo, al igual que el P13





Parámetros físico-químicos medidos			
Conductivímetro		**pHimetro**	
CE (µS/cm):	707	pH:	7,27
TDS (ppm):	361	mV:	-24,9
NaCl (%):	1,4	T (ºC):	20,1
T (ºC)	-		

Identificación del Contacto:			
Nombre:	Guillermo Pruzzo	Dirección:	Parcela nº 8 La Colonia
Teléfono:	(34) 631 988	e-mail:	-
Observaciones:			

Coordenadas en Datum PSAD-56

FICHA POZOS SECTOR ACUÍFERO ACONCAGUA, PROYECTO DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DGA

				Subsector Acuífero:	Rabuco
Fecha:	24/11/08	Hora:	14:00	**Código Pozo:**	P16

Identificación Pozo			
Nombre Predio:	Sauzal	Localidad:	Hijuelas
Comuna:	Hijuelas	Uso predio:	Agrícola
Fecha Construcción:	2005	Uso agua:	Riego
Coord. UTM Norte:	6357471 m		
Coord. UTM Este	303987 m		
Cota Topográfica:	333 msnm		
Datos Pozo			
Profundidad:	53 m		
Profundidad Captación:	51 m		
Diámetro:	8"		
Tipo operación:	Discontinuo		
Nivel Estático:	10 m		
Nivel Dinámico:	35 m		
Caudal:	6 l/s		

Observaciones:
Uso 100% en verano, 60% en invierno
Limoneros





Parámetros físico-químicos medidos			
Conductivímetro		**pHimetro**	
CE (µS/cm):	292	pH:	7,42
TDS (ppm):	146	mV:	-30,4
NaCl (%):	0,5	T (ºC):	
T (ºC)	-		

Identificación del Contacto:			
Nombre:	Hugo Cristo	Dirección:	Parcela Sauzal s/n Hijuelas
Teléfono:	(09)5991876	e-mail:	hcritif@hotmail.com
Observaciones:			

Coordenadas en Datum PSAD-56

FICHA POZOS SECTOR ACUÍFERO ACONCAGUA, PROYECTO DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DGA

				Subsector Acuífero:	Rabuco
Fecha:	24/11/08	Hora:	14:43	**Código Pozo:**	P32

Identificación Pozo			
Nombre Predio:	Parcela 24 a	Localidad:	Hijuelas
Comuna:	Hijuelas	Uso predio:	Agrícola
Fecha Construcción:	2005	Uso agua:	Riego
Coord. UTM Norte:	6361078 m		
Coord. UTM Este	302761 m		
Cota Topográfica:	306 msnm		
Datos Pozo			
Profundidad:	4 m		
Profundidad Captación:	-		
Diámetro:	2,5 m		
Tipo operación:	Continua		
Nivel Estático:	1,45		
Nivel Dinámico:	-		
Caudal:	50 l/min		

Observaciones:
Uso riego de flores y yerberas, invernaderos
Informan que el filtro se tapa con una materia oscura, el agua no se aprecia turbia





Parámetros físico-químicos medidos			
Conductivímetro		**pHimetro**	
CE (µS/cm):	690	pH:	7,17
TDS (ppm):	345	mV:	-19,1
NaCl (%):	1,5	T (ºC):	18,5
T (ºC)	-		

Identificación del Contacto:			
Nombre:	YerbaTerra Ltda.	Dirección:	Parcela 24 A
Teléfono:	(08) 9234663	e-mail:	-
Observaciones:			

Coordenadas en Datum PSAD-56

FICHA POZOS SECTOR ACUÍFERO ACONCAGUA, PROYECTO DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DGA

				Subsector Acuífero:	Limache
Fecha:	26/11/08	Hora:	10:15	**Código Pozo:**	P25

Identificación Pozo			
Nombre Predio:	El Bajo	Localidad:	El Bajo
Comuna:	Olmué	Uso predio:	Agrícola
Fecha Construcción:	1960	Uso agua:	Riego jardín
Coord. UTM Norte:	6346423 m		
Coord. UTM Este	297029 m		
Cota Topográfica:	144 msnm		
Datos Pozo			
Profundidad:	6 m		
Profundidad Captación:	5,4 m		
Diámetro:	1,8 m		
Tipo operación:	Continua		
Nivel Estático:	2 m		
Nivel Dinámico:	-		
Caudal:	20 l/s		
Observaciones:			





Parámetros físico-químicos medidos			
Conductivímetro		**pHimetro**	
CE (µS/cm):	753	pH:	7,23
TDS (ppm):	377	mV:	-21,5
NaCl (%):	1,5	T (°C):	16,6
T (°C)	17,4		

Identificación del Contacto:			
Nombre:	Héctor Vergara	Dirección:	El bajo 5871
Teléfono:	442248	e-mail:	
Observaciones:			

Coordenadas en Datum PSAD-56

FICHA POZOS SECTOR ACUÍFERO ACONCAGUA, PROYECTO DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DGA

				Subsector Acuífero:	Limache
Fecha:	26/11/08	Hora:	11:00	**Código Pozo:**	P26

Identificación Pozo			
Nombre Predio:	6	Localidad:	Limache
Comuna:	Limache	Uso predio:	Riego
Fecha Construcción:	1990	Uso agua:	Riego
Coord. UTM Norte:	6347032 m		
Coord. UTM Este	289382 m		
Cota Topográfica:	78 msnm		
Datos Pozo			
Profundidad:	6,5 m		
Profundidad Captación:	6,0m		
Diámetro:	2,5 m		
Tipo operación:	Continua		
Nivel Estático:	2,2 m		
Nivel Dinámico:	-		
Caudal:	100 l/min.		
Observaciones:			





Parámetros físico-químicos medidos			
Conductivímetro		**pHimetro**	
CE (µS/cm):	706	pH:	7,72
TDS (ppm):	353	mV:	6,1
NaCl (%):	1,4	T (ºC):	17,3
T (ºC)	17,4		

Identificación del Contacto:			
Nombre:	Álvaro Nida López – Yolanda López.	Dirección:	Av. Isman 679
Teléfono:	-	e-mail:	alvaronidalopez@yahoo.es
Observaciones: -			

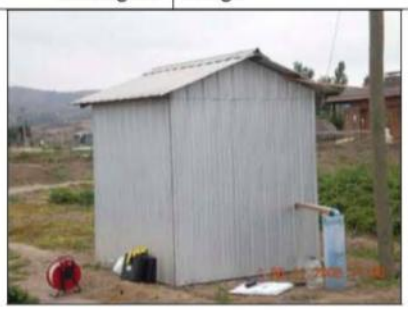
Coordenadas en Datum PSAD-56

FICHA POZOS SECTOR ACUÍFERO ACONCAGUA, PROYECTO DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DGA

				Subsector Acuífero:	Limache
Fecha:	26/11/08	Hora:	11:51	**Código Pozo:**	P27

Identificación Pozo			
Nombre Predio:	Agrícola R&Q	Localidad:	Limache
Comuna:	Limache	Uso predio:	Riego
Fecha Construcción:	2000	Uso agua:	Riego
Coord. UTM Norte:	6350180 m		
Coord. UTM Este	283171 m		
Cota Topográfica:	27 msnm		
Datos Pozo			
Profundidad:	34 m		
Profundidad Captación:	33 m		
Diámetro:	8 '		
Tipo operación:	Todo el año		
Nivel Estático:	10,5 m		
Nivel Dinámico:	30 m		
Caudal:	2 l/s		

Observaciones: Nivel dinámico es más grande, ya que el pozo no se alcanza a estabilizar (ΔT= 1,5 se seca).





Parámetros físico-químicos medidos			
Conductivímetro		**pHimetro**	
CE (µS/cm):	832	pH:	7,02
TDS (ppm):	415	mV:	-10,7
NaCl (%):	1,7	T (ºC):	17,7
T (ºC)	17,4		

Identificación del Contacto:			
Nombre:	Silvia Quiroga	Dirección:	Parcela 59 B. Poste 95 Los Laureles.
Teléfono:	411571/068462712	e-mail:	agroforestafrut@gmail.com
Observaciones:			

Coordenadas en Datum PSAD-56

FICHA POZOS SECTOR ACUÍFERO ACONCAGUA, PROYECTO DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DGA

				Subsector Acuífero:	Aconcagua Desembocadura
Fecha:	27/11/08	Hora:	11:52	**Código Pozo:**	P28

Identificación Pozo			
Nombre Predio:	Parcela La Libertad	Localidad:	Tolengo
Comuna:	Limache	Uso predio:	Pecuario
Fecha Construcción:	2005	Uso agua:	Riego
Coord. UTM Norte:	6354935		
Coord. UTM Este	276372		
Cota Topográfica:	29 msnm		
Datos Pozo			
Profundidad:	6 m		
Profundidad Captación:	5 m		
Diámetro:	1,5 m		
Tipo operación:	Continua		
Nivel Estático:	-		
Nivel Dinámico:	4,2 m		
Caudal:	100 l/min.		
Observaciones:			





Parámetros físico-químicos medidos			
Conductivímetro		**pHimetro**	
CE (µS/cm):	546	pH:	6,91
TDS (ppm):	273	mV:	-4,9
NaCl (%):	1,1	T (°C):	18,7
T (°C)	25		

Identificación del Contacto:			
Nombre:	Mauricio Middleton	Dirección:	Km 33 K. CH 60
Teléfono:	316573	e-mail:	mauricio_middleton@live.cl
Observaciones: -			

Coordenadas en Datum PSAD-56

4.2.3 2ª Campaña de muestreo Aconcagua

FICHA POZOS SECTOR ACUÍFERO ACONCAGUA, PROYECTO DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DGA

				Subsector Acuífero:	San Felipe – Los Andes
Fecha:	05-02-09	Hora:	16:00	**Código Pozo:**	A01

Identificación Pozo			
Nombre Predio:	Agr. El Triunfo	Localidad:	El Monte
Comuna:	San Esteban	Uso predio:	Agrícola
Fecha Construcción:	(1994-1996)	Uso agua:	Riego
Coord. UTM Norte:	6.3759.86 m		
Coord. UTM Este	354.838 m		
Cota Topográfica:	974 msnm		
Datos Pozo			
Profundidad:	-		
Profundidad Captación:	-		
Diámetro:	20 cm		
Tipo operación:	Discontinuo		
Nivel Estático:	-		
Nivel Dinámico:	-		
Caudal:	2 L/s		





Observaciones:
Pozo de riego, llenan tranque.
Plantaciones de paltos, parronales.

Método toma de muestra:
Bomba

Parámetros físico-químicos medidos en terreno			
CE (µS/cm):	472	pH:	7,45
TDS (ppm):	230	mV:	-19,2
T (ºC):	19,0	OD (ppm)	5,8

Identificación del Contacto:			
Nombre:	Alfonso Gutiérrez	Dirección:	Camino San Francisco s/n
Teléfono:	(34) 481 056 - 57	e-mail:	aj. gutierreza@yahoo.es
Observaciones: -			

Coordenadas en Datum PSAD-56

FICHA POZOS SECTOR ACUÍFERO ACONCAGUA, PROYECTO DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DGA

				Subsector Acuífero:	San Felipe – Los Andes
Fecha:	05-02-09	Hora:	11:45	**Código Pozo:**	A02

Identificación Pozo			
Nombre Predio:	Agrifutura S.A.	Localidad:	San Esteban
Comuna:	San Esteban	Uso predio:	Agrícola
Fecha Construcción:	(1996-1998)	Uso agua:	Riego
Coord. UTM Norte:	6.365.528 m		
Coord. UTM Este	357.539 m		
Cota Topográfica:	930 msnm		
Datos Pozo			
Profundidad:	190 m		
Profundidad Captación:	120 m		
Diámetro:	20 cm		
Tipo operación:	Discontinua		
Nivel Estático:	-		
Nivel Dinámico:	60 m		
Caudal:	50 L/s		
Observaciones: Pozo ubicado fuera del predio agrícola. Cercano a río 100 m.			
Método toma de muestra: Bomba			





Parámetros físico-químicos medidos en terreno			
CE (µS/cm):	452	pH:	7,29
TDS (ppm):	223	mV:	-11
T (ºC):	18,6	OD (ppm)	6,72

Identificación del Contacto:			
Nombre:	Gastón Figueroa	Dirección:	-
Teléfono:	9 3468410	e-mail:	gfigueroa@asichile.cl
Observaciones:			

Coordenadas en Datum PSAD-56

FICHA POZOS SECTOR ACUÍFERO ACONCAGUA, PROYECTO DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DGA

				Subsector Acuífero:	San Felipe – Los Andes
Fecha:	03-02-09	Hora:	15:30	**Código Pozo:**	A03

Identificación Pozo			
Nombre Predio:	EXSER	Localidad:	San Felipe
Comuna:	San Felipe	Uso predio:	Agroindustria
Fecha Construcción:	1995	Uso agua:	Agroindustria
Coord. UTM Norte:	6.374.451 m		
Coord. UTM Este	339.458 m		
Cota Topográfica:	660 msnm		
Datos Pozo			
Profundidad:	50 m		
Profundidad Captación:	30 m		
Diámetro:	0,5 m		
Tipo operación:	Discontinuo		
Nivel Estático:	-		
Nivel Dinámico:	-		
Caudal:	22 L/s		
Observaciones:			
Método toma de muestra: Bomba			





Parámetros físico-químicos medidos en terreno			
CE (µS/cm):	376	pH:	7,78
TDS (ppm):	188	mV:	-38
T (°C):	15,29	OD (ppm)	15,29

Identificación del Contacto:			
Nombre:	Fernando Fernández	Dirección:	Michimalongo 1701
Teléfono:	(34) 510893	e-mail:	lfuentes@exser.cl
Observaciones:			

Coordenadas en Datum PSAD-56

FICHA POZOS SECTOR ACUÍFERO ACONCAGUA, PROYECTO DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DGA

				Subsector Acuífero:	San Felipe – Los Andes
Fecha:	03-02-09	Hora:	16:00	**Código Pozo:**	A04

Identificación Pozo			
Nombre Predio:	APR	Localidad:	Lo Herrera
Comuna:	San Felipe	Uso predio:	APR
Fecha Construcción:	-	Uso agua:	APR
Coord. UTM Norte:	6.379.767 m		
Coord. UTM Este	336.518 m		
Cota Topográfica:	648 msnm		
Datos Pozo			
Profundidad:	94 m		
Profundidad Captación:	56 m		
Diámetro:	0,4 m		
Tipo operación:	Discontinuo		
Nivel Estático:	61,2 m		
Nivel Dinámico:	29 m		
Caudal:	26 L/s		
Observaciones: Pozo Profundo de Agua Potable Rural, Lo Herrera			
Método toma de muestra: Bomba			





Parámetros físico-químicos medidos en terreno			
CE (µS/cm):	237	pH:	7,75
TDS (ppm):	119	mV:	-36,9
T (ºC):	17,86	OD (ppm)	6,25

Identificación del Contacto:			
Nombre:	Romina Aranda	Dirección:	21 de Mayo s/n
Teléfono:	(34) 519258	e-mail:	raranda_0906@hotmail.com
Observaciones:			

Coordenadas en Datum PSAD-56

FICHA POZOS SECTOR ACUÍFERO ACONCAGUA, PROYECTO DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DGA

				Subsector Acuífero:	
Fecha:	02-02-09	Hora:	16:35	**Código Pozo:**	A05

Identificación Pozo			
Nombre Predio:	Agr. Peppi	Localidad:	Santa Rosa
Comuna:	Llayllay	Uso predio:	Agrícola
Fecha Construcción:	1992	Uso agua:	Riego
Coord. UTM Norte:	6.359.890 m		
Coord. UTM Este	317.832 m		
Cota Topográfica:	408 msnm		
Datos Pozo			
Profundidad:	72 m		
Profundidad Captación:	-		
Diámetro:	12''		
Tipo operación:	-		
Nivel Estático:	-		
Nivel Dinámico:	-		
Caudal:	45 L/s		
Observaciones:			
Método toma de muestra: Bomba			





Parámetros físico-químicos medidos en terreno			
CE (µS/cm):	244	pH:	6,92
TDS (ppm):	114	mV:	-14,4
T (ºC):	14,5	OD (ppm)	14,5

Identificación del Contacto:			
Nombre:	Andrés Huerta	Dirección:	-
Teléfono:	(34) 611950	e-mail:	admensenada@peppi.cl
Observaciones:			

Coordenadas en Datum PSAD-56

FICHA POZOS SECTOR ACUÍFERO ACONCAGUA, PROYECTO DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DGA

				Subsector Acuífero:	Llayllay
Fecha:	02-02-09	Hora:	11:30	**Código Pozo:**	A06

Identificación Pozo			
Nombre Predio:	APR	Localidad:	El Salitre
Comuna:	Llayllay	Uso predio:	APR
Fecha Construcción:	2005	Uso agua:	APR
Coord. UTM Norte:	6.364.522 m		
Coord. UTM Este	318.603 m		
Cota Topográfica:	394 msnm		
Datos Pozo			
Profundidad:	7 m		
Profundidad Captación:	4 m		
Diámetro:	1 m		
Tipo operación:	Continua		
Nivel Estático:	-		
Nivel Dinámico:	2,95		
Caudal:	-		
Observaciones: Pozo de agua potable rural Población El Salitre, LLayllay			
Método toma de muestra: Bomba			





Parámetros físico-químicos medidos en terreno			
CE (µS/cm):	512	pH:	7,36
TDS (ppm):	248	mV:	-36,2
T (ºC):	14,2	OD (ppm)	-

Identificación del Contacto:			
Nombre:	Mario Diaz	Dirección:	Población El Salitre
Teléfono:	09 8 4906567	e-mail:	-
Observaciones:			

Coordenadas en Datum PSAD-56

FICHA POZOS SECTOR ACUÍFERO ACONCAGUA, PROYECTO DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DGA

				Subsector Acuífero:	Aconcagua-Las Vegas
Fecha:	02-02-09	Hora:		**Código Pozo:**	A07

Identificación Pozo			
Nombre Predio:	APR	Localidad:	Las vegas
Comuna:	Llayllay	Uso predio:	APR
Fecha Construcción:	1997	Uso agua:	APR
Coord. UTM Norte:	6.366.148 m		
Coord. UTM Este	313.421 m		
Cota Topográfica:	377 msnm		
Datos Pozo			
Profundidad:	50 m		
Profundidad Captación:	30 m		
Diámetro:	1 m		
Tipo operación:	Continua		
Nivel Estático:	1,5 m		
Nivel Dinámico:	2,5 m		
Caudal:	3,6 L/s		
Observaciones: Pozo profundo agua potable rural Las Vegas			
Método toma de muestra: Bomba			





Parámetros físico-químicos medidos en terreno			
CE (µS/cm):	495	pH:	7,17
TDS (ppm):	239	mV:	-25,8
T (ºC):	13,2	OD (ppm)	-

Identificación del Contacto:			
Nombre:	Ramón Henríquez	Dirección:	Calle El Molino, Las Vegas
Teléfono:	(34) 612006	e-mail:	-
Observaciones:			

Coordenadas en Datum PSAD-56

FICHA POZOS SECTOR ACUÍFERO ACONCAGUA, PROYECTO DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DGA

				Subsector Acuífero:	Llayllay
Fecha:	02-02-09	Hora:	15:15	**Código Pozo:**	A08

Identificación Pozo			
Nombre Predio:	-	Localidad:	-
Comuna:	Llayllay	Uso predio:	Residencial - Agrícola
Fecha Construcción:	-	Uso agua:	Agrícola
Coord. UTM Norte:	6.361.004 m		
Coord. UTM Este	320.409 m		
Cota Topográfica:	418 msnm		
Datos Pozo			
Profundidad:	-		
Profundidad Captación:	-		
Diámetro:	40 cm		
Tipo operación:	-		
Nivel Estático:	-		
Nivel Dinámico:	-		
Caudal:	-		
Observaciones:			
Método toma de muestra: Bomba			





Parámetros físico-químicos medidos en terreno			
CE (µS/cm):	460	pH:	7,4
TDS (ppm):	221	mV:	-38
T (ºC):	16	OD (ppm)	-

Identificación del Contacto:			
Nombre:	-	Dirección:	-
Teléfono:	-	e-mail:	-
Observaciones:			

Coordenadas en Datum PSAD-56

FICHA POZOS SECTOR ACUÍFERO ACONCAGUA, PROYECTO DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DGA

				Subsector Acuífero:	Quillota
Fecha:	02-02-09	Hora:	14:00	**Código Pozo:**	A09

Identificación Pozo			
Nombre Predio:	Sitio 3	Localidad:	Sector La Febre
Comuna:	Hijuelas	Uso predio:	Residencial-Agrícola
Fecha Construcción:	-	Uso agua:	Agrícola
Coord. UTM Norte:	6.364.387 m		
Coord. UTM Este	306.919 m		
Cota Topográfica:	320 msnm		
Datos Pozo			
Profundidad:	4 m		
Profundidad Captación:	3,5 m		
Diámetro:	1 m		
Tipo operación:	Discontinua		
Nivel Estático:	3 m		
Nivel Dinámico:	3,4 m		
Caudal:	-		





Observaciones:
Riego de planta y flores invernaderos

Método toma de muestra:
Bomba

Parámetros físico-químicos medidos en terreno			
CE (µS/cm):	535	pH:	6,94
TDS (ppm):	259	mV:	-12,1
T (ºC):	13,8	OD (ppm)	-

Identificación del Contacto:			
Nombre:	Marcos Galdámez	Dirección:	-
Teléfono:	8 7746717	e-mail:	mgaldamess@gmail.com
Observaciones:			

Coordenadas en Datum PSAD-56

FICHA POZOS SECTOR ACUÍFERO ACONCAGUA, PROYECTO DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DGA

				Subsector Acuífero:	Quillota
Fecha:	04-02-09	Hora:	12:15	**Código Pozo:**	A10

Identificación Pozo			
Nombre Predio:	Sopraval	Localidad:	Artificio
Comuna:	La Calera	Uso predio:	Industrial
Fecha Construcción:	-	Uso agua:	Industrial
Coord. UTM Norte:	6.371.810 m		
Coord. UTM Este	294.468 m		
Cota Topográfica:	209 msnm		
Datos Pozo			
Profundidad:	12 m		
Profundidad Captación:	8 m		
Diámetro:	2 m		
Tipo operación:	Discontinua		
Nivel Estático:	-		
Nivel Dinámico:	6 m		
Caudal:	-		
Observaciones:			
Método toma de muestra: Bomba			





Parámetros físico-químicos medidos en terreno			
CE (µS/cm):	806	pH:	7,53
TDS (ppm):	403	mV:	-24,5
T (ºC):	19	OD (ppm)	4,95

Identificación del Contacto:			
Nombre:	Javier Caroca	Dirección:	J.J. Godoy, Artificio
Teléfono:	(33) 299190	e-mail:	jcaroca@sopraval-cl
Observaciones:			

Coordenadas en Datum PSAD-56

FICHA POZOS SECTOR ACUÍFERO ACONCAGUA, PROYECTO DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DGA

				Subsector Acuífero:	Quillota
Fecha:	04-02-09	Hora:	13:05	**Código Pozo:**	A11

Identificación Pozo			
Nombre Predio:	Parcela 8	Localidad:	La Tetera
Comuna:	Quillota	Uso predio:	Residencial
Fecha Construcción:	1993	Uso agua:	Riego Jardín
Coord. UTM Norte:	6.358.214 m		
Coord. UTM Este	291.240 m		
Cota Topográfica:	113 msnm		
Datos Pozo			
Profundidad:	3,15 m		
Profundidad Captación:	3,00 m		
Diámetro:	1 m		
Tipo operación:	Discontinua		
Nivel Estático:	-		
Nivel Dinámico:	2,25		
Caudal:	0,5 L/s		
Observaciones: Sólo uso riego Jardín			
Método toma de muestra: Bomba			





Parámetros físico-químicos medidos en terreno			
CE (µS/cm):	872	pH:	7,02
TDS (ppm):	436	mV:	3,9
T (ºC):	18,9	OD (ppm)	1,35

Identificación del Contacto:			
Nombre:	Fernando Vallejos	Dirección:	Caupolicán, Parcela 8
Teléfono:	-	e-mail:	-
Observaciones:			

Coordenadas en Datum PSAD-56

FICHA POZOS SECTOR ACUÍFERO ACONCAGUA, PROYECTO DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DGA

				Subsector Acuífero:	Limache
Fecha:	04-02-09	Hora:	16:50	**Código Pozo:**	A12

Identificación Pozo			
Nombre Predio:	-	Localidad:	Limache
Comuna:	Limache	Uso predio:	Agrícola
Fecha Construcción:	-	Uso agua:	Riego
Coord. UTM Norte:	6.345.363 m		
Coord. UTM Este	294.140 m		
Cota Topográfica:	128 msnm		
Datos Pozo			
Profundidad:	35 m		
Profundidad Captación:	-		
Diámetro:	6 m		
Tipo operación:	Discontinua		
Nivel Estático:	10 m		
Nivel Dinámico:	-		
Caudal:	-		





Observaciones:
Parronales, uva de exportación.

Método toma de muestra:
Bomba

Parámetros físico-químicos medidos en terreno			
CE (µS/cm):	394	pH:	7,25
TDS (ppm):	197	mV:	-7,2
T (ºC):	20,15	OD (ppm)	-

Identificación del Contacto:			
Nombre:	Bruno Lencioni Mansur	Dirección:	-
Teléfono:	9 7418513	e-mail:	Bruno_lencioni@hotmail.com
Observaciones:			

Coordenadas en Datum PSAD-56

FICHA POZOS SECTOR ACUÍFERO ACONCAGUA, PROYECTO DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DGA

				Subsector Acuífero:	Aconcagua Desembocadura
Fecha:	04-02-09	Hora:	14:45	**Código Pozo:**	A13

Identificación Pozo			
Nombre Predio:	-	Localidad:	Con-Con
Comuna:	Con-Con	Uso predio:	Industrial
Fecha Construcción:	1970	Uso agua:	Riego Jardín
Coord. UTM Norte:	6.354.486 m		
Coord. UTM Este	267.570 m		
Cota Topográfica:	3 msnm		
Datos Pozo			
Profundidad:	5,5 m		
Profundidad Captación:	-		
Diámetro:	1,5		
Tipo operación:	Discontinua		
Nivel Estático:	4 m		
Nivel Dinámico:	-		
Caudal:	-		
Observaciones: Sólo riego jardín			
Método toma de muestra: Bomba			





Parámetros físico-químicos medidos en terreno			
CE (µS/cm):	668	pH:	7,15
TDS (ppm):	334	mV:	-3,4
T (ºC):	20	OD (ppm)	3,15

Identificación del Contacto:			
Nombre:	Daniel Escudero	Dirección:	Av. Borgoño LTE7-B3
Teléfono:	(32) 2812262	e-mail:	alti@vicentealtiycia.cl
Observaciones: Empresa de mantención industrial			

Coordenadas en Datum PSAD-56

FICHA POZOS SECTOR ACUÍFERO ACONCAGUA, PROYECTO DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DGA

				Subsector Acuífero:	Aconcagua Desembocadura
Fecha:	04-02-09	Hora:	15:50	**Código Pozo:**	A14

Identificación Pozo			
Nombre Predio:	-	Localidad:	-
Comuna:	Limache	Uso predio:	Residencial-Agrícola
Fecha Construcción:	-	Uso agua:	Riego
Coord. UTM Norte:	6.354.538 m		
Coord. UTM Este	273.837 m		
Cota Topográfica:	27 msnm		
Datos Pozo			
Profundidad:	5,96 m		
Profundidad Captación:	-		
Diámetro:	1,5 m		
Tipo operación:	Discontinua		
Nivel Estático:	3,24 m		
Nivel Dinámico:	-		
Caudal:	-		

Observaciones:
El agua se utiliza para riego de flores y plantas en invernaderos.

Método toma de muestra:
Bomba





Parámetros físico-químicos medidos en terreno			
CE (µS/cm):	640	pH:	7,46
TDS (ppm):	320	mV:	-18
T (ºC):	18,5	OD (ppm)	2,09

Identificación del Contacto:			
Nombre:	Marcela Cisternas	Dirección:	La Victoria 28 Limache
Teléfono:	9 4771114	e-mail:	Marcela.cisternas64@hotmail.com
Observaciones:			

Coordenadas en Datum PSAD-56

FICHA POZOS SECTOR ACUÍFERO ACONCAGUA, PROYECTO DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DGA

				Subsector Acuífero:	Nogales
Fecha:	04-02-09	Hora:	11:00	**Código Pozo:**	A15

Identificación Pozo			
Nombre Predio:	Agr. Alto Calibre	Localidad:	Nogales
Comuna:	Nogales	Uso predio:	Agrícola
Fecha Construcción:	-	Uso agua:	Riego
Coord. UTM Norte:	6.377.545 m		
Coord. UTM Este	292.102 m		
Cota Topográfica:	219 msnm		
Datos Pozo			
Profundidad:	80 m		
Profundidad Captación:	70 m		
Diámetro:	30 cm		
Tipo operación:	Discontinuo		
Nivel Estático:	-		
Nivel Dinámico:	-		
Caudal:	45 L/s		
Observaciones: El pozo se ubica a 700 m de tranque donde se tomó la muestra			
Método toma de muestra: Bomba			





Parámetros físico-químicos medidos en terreno			
CE (µS/cm):	579	pH:	6,83
TDS (ppm):	289	mV:	14,5
T (ºC):	19,11	OD (ppm)	7,12

Identificación del Contacto:			
Nombre:	Héctor Roldán	Dirección:	Parcela 17, El Olivo Nogales
Teléfono:	(33) 263307	e-mail:	roldanhernandez.mauricio@gmail.com
Observaciones:			

Coordenadas en Datum PSAD-56

FICHA POZOS SECTOR ACUÍFERO ACONCAGUA, PROYECTO DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DGA

				Subsector Acuífero:	San Felipe – Los Andes
Fecha:	05-02-09	Hora:	15:30	**Código Pozo:**	P01

Identificación Pozo			
Nombre Predio:	Agr. El Triunfo	Localidad:	El Monte
Comuna:	San Esteban	Uso predio:	Agrícola
Fecha Construcción:	(1996-1998)	Uso agua:	Riego
Coord. UTM Norte:	6.374.906 m		
Coord. UTM Este	354.559 m		
Cota Topográfica:	931 msnm		
Datos Pozo			
Profundidad:	60 m		
Profundidad Captación:	-		
Diámetro:	12''		
Tipo operación:	Discontinuo		
Nivel Estático:	-		
Nivel Dinámico:	> 42 m		
Caudal:	10 L/s		
Observaciones: Hasta los 42 m el Pozómetro no indicó presencia de agua.			
Método toma de muestra: Bomba			





Parámetros físico-químicos medidos en terreno			
CE (µS/cm):	452	pH:	7,45
TDS (ppm):	226	mV:	-20
T (ºC):	22,1	OD (ppm)	4,6

Identificación del Contacto:			
Nombre:	Alfonso Gutiérrez	Dirección:	Camino San Francisco s/n
Teléfono:	(34) 481 056 - 57	e-mail:	aj. gutierreza@yahoo.es
Observaciones: Pozo muestreado en el 21/11/08			

Coordenadas en Datum PSAD-56

FICHA POZOS SECTOR ACUÍFERO ACONCAGUA, PROYECTO DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DGA

				Subsector Acuífero:	Llayllay
Fecha:	02-02-09	Hora:	12:15	**Código Pozo:**	P15

Identificación Pozo			
Nombre Predio:	Particular	Localidad:	Llayllay
Comuna:	Llayllay	Uso predio:	Domicilio particular
Fecha Construcción:	2005	Uso agua:	Riego jardín
Coord. UTM Norte:	6.364.730 m		
Coord. UTM Este	315.216 m		
Cota Topográfica:	380 msnm		
Datos Pozo			
Profundidad:	5 m		
Profundidad Captación:	-		
Diámetro:	-		
Tipo operación:	Discontinua		
Nivel Estático:	1,3 m		
Nivel Dinámico:	-		
Caudal:	2 l/s		





Observaciones:
Sólo riego del jardín

Método toma de muestra:
Bomba

Parámetros físico-químicos medidos en terreno			
CE (µS/cm):	694	pH:	7,27
TDS (ppm):	341	mV:	-31,4
T (ºC):	14,1	OD (ppm)	-

Identificación del Contacto:			
Nombre:	Eva Hormazabal	Dirección:	Las Palmas casa nº 1
Teléfono:	(34) 611 681	e-mail:	-
Observaciones: Pozo muestreado anteriormente el 24-11-08			

Coordenadas en Datum PSAD-56

FICHA POZOS SECTOR ACUÍFERO ACONCAGUA, PROYECTO DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DGA

				Subsector Acuífero:	Aconcagua Desembocadura
Fecha:	04-02-09	Hora:	15:15	**Código Pozo:**	P29

Identificación Pozo			
Nombre Predio:	Fundo Colnito	Localidad:	PQE IND Coca Cola
Comuna:	Concón	Uso predio:	-
Fecha Construcción:	1985	Uso agua:	Particular
Coord. UTM Norte:	6.354.745 m		
Coord. UTM Este	269.429 m		
Cota Topográfica:	9 msnm		
Datos Pozo			
Profundidad:	8 m		
Profundidad Captación:	6 m		
Diámetro:	10''		
Tipo operación:	Continua		
Nivel Estático:	3 m		
Nivel Dinámico:	-		
Caudal:	20 l/ min.		
Observaciones: Pozo bajo una loza de cemento.			
Método toma de muestra: Bomba			





Parámetros físico-químicos medidos en terreno			
CE (µS/cm):	511	pH:	7,27
TDS (ppm):	256	mV:	-8,3
T (ºC):	18,2	OD (ppm)	1,28

Identificación del Contacto:			
Nombre:	Juan Eltit	Dirección:	Fundo Colnito S/N Concón
Teléfono:	09-3244402	e-mail:	campoeducativo@hotmail.com
Observaciones: Pozo muestreado el 27-11-2008			

Coordenadas en Datum PSAD-56

5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO CON ACP

5.1 Formulación del ACP

Sea **X** un conjunto de datos, conformado por *m* valores observados de *n* variables originales consideradas como variables aleatorias.

$$\mathbf{X} = \left[x_{ij}\right] = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}, \text{con} \begin{matrix} i = 1...m \\ j = 1...n \end{matrix}$$

$$\mathbf{X} = \mathbf{x}_j = \left[\mathbf{x}_1 \quad \mathbf{x}_2 \quad \dots \quad \mathbf{x}_n\right], \text{con j} = 1..n$$

Se pide realizar una transformación de los datos desde *n* variables originales interrelacionados a *p* variables o factores independientes, asegurando que éstas tengan el máximo de variación total de las variables originales.

$$\begin{matrix} \mathbf{x}_j & \rightarrow & \mathbf{y}_k \\ j = 1...n & \rightarrow & k = 1...p \text{ , con } p < n \\ \text{va. correlacionadas} & \rightarrow & \text{va. no correlacionadas} \\ \text{variación total de x} & \approx & \text{variación total de y} \end{matrix}$$

$$\mathbf{Y} = \mathbf{y}_k = \left[\mathbf{y}_1 \quad \mathbf{y}_2 \quad \dots \quad \mathbf{y}_p\right], \text{con } k = 1...p$$

En un primer paso no se considera reducción del número de variables, es decir $p = n$ y $j = k$. La transformación consiste entonces en expresar las variables nuevas $\mathbf{y}_j$ como una combinación lineal de las variables originales $\mathbf{x}_j$, o bien cada uno de los valores observados originales se combina linealmente para determinar el valor no observado de la variable nueva.

$$\left.\begin{matrix} y_1 = & b_{11} \cdot x_1 + b_{21} \cdot x_2 + ... + b_{n1} \cdot x_n \\ y_2 = & b_{12} \cdot x_1 + b_{22} \cdot x_2 + ... + b_{n2} \cdot x_n \\ & \\ y_n = & b_{1n} \cdot x_1 + b_{2n} \cdot x_2 + ... + b_{nn} \cdot x_n \end{matrix}\right\} = \mathbf{Y} = \mathbf{X} \cdot \mathbf{B}$$

Por otra parte, la varianza de $\mathbf{X}$ (datos en variables originales) es la matriz de covarianzas $\mathbf{S}$, positiva y simétrica, y puede descomponerse espectralmente en base a una matriz de vectores propios $\mathbf{T}$ y una matriz diagonal de valores propios $\mathbf{D}$.

$$\mathbf{S} = \mathbf{T} \cdot \mathbf{D} \cdot \mathbf{T}^T$$

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & \cdots & t_{1n} \\ t_{21} & t_{22} & \cdots & t_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ t_{n1} & t_{n2} & \cdots & t_{nn} \end{bmatrix} \quad \mathbf{D} = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \lambda_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \lambda_n \end{bmatrix}$$

La matriz de vectores propios $\mathbf{T}$ es ortogonal y tiene un número de columnas igual al número de variables originales, es decir que éstas definen direcciones ortogonales (no correlacionadas o independientes) por lo que constituyen un sistema de coordenadas y se les llama componentes principales. La variable $\mathbf{Y}$ se puede obtener entonces a partir de la proyección de $\mathbf{X}$ en la dirección de los componentes principales.

$$\mathbf{Y} = \mathbf{X} \cdot \mathbf{T} \quad \text{o bien} \quad \mathbf{y}_j = \mathbf{X} \cdot \mathbf{t}_j \ , \text{con} \ \ j = 1...n \Rightarrow \text{combinación lineal}$$

$$Cov(\mathbf{y}_i, \mathbf{y}_j) = Cov(\mathbf{X} \cdot \mathbf{t}_i, \mathbf{X} \cdot \mathbf{t}_j) = \mathbf{t}_i^T \cdot \mathbf{S} \cdot \mathbf{t}_j = \lambda_j \cdot \mathbf{t}_i^T \cdot \mathbf{t}_j = 0 \text{, si } i \neq j \Rightarrow \text{independientes}$$

Por otra parte, cada vector propio tiene asociado un valor propio que da cuenta de la variación de los datos en torno a la dirección del vector propio, mientras que la variación total está dada por la suma de los valores propios. Además, los vectores propios tienen valores propios decrecientes, es decir, el primer vector propio o componente principal tiene un valor propio mayor que aquél del segundo vector propio, y a su vez éste vector tiene un valor propio mayor que el tercero y así sucesivamente. Esto implica que la varianza de los datos en torno al primer componente principal es mayor a la del segundo, y la de éste es mayor que la del tercero, es decir la varianza de los datos es abarcada o contenida por los componentes principales en forma decreciente, lo que se refleja en el gráfico de sedimentación (Figura 5.1).

$$\mathbf{t} \text{ es vector propio de matriz } \mathbf{A} \text{ ssi } \mathbf{A} \cdot \mathbf{t} = \lambda \cdot \mathbf{t} \Rightarrow \mathbf{t} \leftrightarrow \lambda$$

$$\text{Variación total} = Var(X) = traza(S) = \sum_{j=1}^{n} \lambda_j$$

$$\text{Variación parcial} = Var(\mathbf{x}_j) = \lambda_j \text{ , con } j = 1...n$$

$$\text{además } \lambda_j > \lambda_{j+1}, \text{con } j = 1...n-1$$

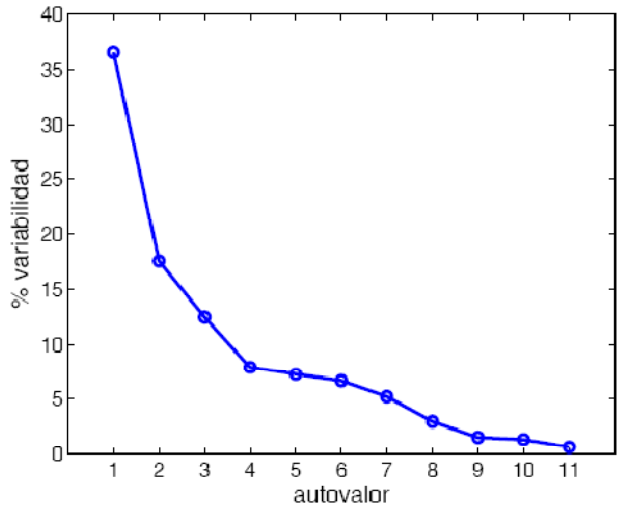


Figura 5.1: Gráfico de sedimentación teórico.

Además, dada la transformación de las variables originales X en nuevas variables, los componentes principales, se conserva la misma varianza y éstas no están interrelacionadas.

$$\text{Var}(\mathbf{y}_j) = \text{Var}(\mathbf{x}_j) = \lambda_j$$

Para cumplir el objetivo de reducir el número de variables nuevas, pero sin perder mucha información es necesario determinar la variabilidad explicada que consiste en el cociente entre la varianza total de las nuevas variables y la varianza total de las variables originales. En este punto es necesario aplicar un criterio para definir el número de variables nuevas $p < n$ (es decir $j \neq k$), tal que la pérdida de información esté en relación a la complejidad del problema.

$$\%\text{Varianza explicada} = \frac{\text{Var}(Y)}{\text{Var}(X)} \cdot 100 = \frac{\sum_{k=1}^{p} \lambda_k}{\sum_{j=1}^{n} \lambda_j} \cdot 100, \text{ con } p < n$$

Si bien los fundamentos se han presentado en base a la matriz de covarianzas, también es posible utilizar la matriz de correlaciones, dependiendo de los objetivos de las características de los datos. La matriz de covarianzas da mayor peso a aquellos parámetros con mayor varianza por lo que pueden existir parámetros pequeños que no sean tomados en cuenta por sus valores pequeños. Mientras que la matriz de correlación da igual peso a todas los parámetros, además que evita efectos de escalas permitiendo trabajar con variables con distintas unidades. Usar la matriz de correlación es equivalente a normalizar y estandarizar los valores observados de cada variable y luego obtener la matriz de covarianzas. Para aplicar la metodología se recomienda utilizar la matriz de correlación, de modo que se asigne igual peso a todas las variables.

5.2 Procedimiento del ACP

5.2.1 Requisitos

El conjunto de datos requiere ciertas características de modo que el ACP se aplique adecuadamente, y por tanto deben chequearse antes de que esta se realice. En términos generales se refieren a la cantidad mínima de datos y a la verificación que exista alta correlación entre variables.

Respecto a la cantidad de datos disponibles cabe decir que mientras mayor es la razón entre valores observados y variables mejor, ya que valores bajos aumentan la posibilidad de obtener correlaciones falsas y que no representen al universo. Respecto a lo anterior, en la literatura técnica se propone que exista al menos 5 veces más datos observables que variables.

La literatura menciona varias alternativas para chequear las interrelaciones entre variables, es decir para verificar que existe una estructura interna en los datos. Para la aplicación de la metodología se recomienda usar al menos los tres primeros de los criterios que se presentan a continuación.

- Visualizar matriz de correlación: los coeficientes de esta matriz toman valores entre -1 y 1. Estos deben ser variados y no nulos con algún nivel de significancia, de modo que reflejen la correlación entre variables.

Variables	V1	V2	V3	V4	V5
V1	**1,00**	**0,35**	**0,79**	**0,60**	**-0,30**
V2	**0,35**	**1,00**	**0,72**	**0,46**	0,14
V3	**0,79**	**0,72**	**1,00**	**0,55**	0,01
V4	**0,60**	**0,46**	**0,55**	**1,00**	-0,03
V5	**-0,30**	0,14	0,01	-0,03	**1,00**

- Determinante de matriz de correlaciones: este valor debe ser bajo, aunque no nulo, de modo que indique que las variables están linealmente relacionadas.
- Test de esfericidad de Bartlett: consiste en un test estadístico en donde se contrasta la matriz de correlaciones con la matriz identidad (valores 1 en la diagonal y 0 fuera de ella), siendo la hipótesis nula (H0) que ambas sean iguales. Por lo tanto si se rechaza H0, indica que las variables están relacionadas. A partir de la matriz de correlación se puede calcular un estadístico que distribuye χ^2 con $(K^2 - K)/2$ grados de libertad, donde *K* es el número de variables, y por tanto si el nivel de significancia es menor al aceptado, por ejemplo 5%, se debe rechazar la hipótesis nula.
- Test de Kaisser-Mayer-Olkin: consiste evaluar el valor del coeficiente KMO, el cual contrasta la magnitud de los coeficientes de correlación observados con la magnitud de los coeficientes de correlación parcial. Un valor del coeficiente KMO entre 0,5 y 1,0, implica que existen correlaciones entre las variables.
- Correlación múltiple (CM): este índice estadístico toma valores entre 0 y 1, y cuantifica la correlación entre una variable y el resto. Por lo tanto deben ser altos de modo que indique correlación entre variables.
- Matriz de correlación anti-imagen: los coeficientes de esta matriz (coeficientes de correlación parcial cambiados de signo) tienen que ser pequeños fuera de la diagonal y próximos a 1 en ella.
- Medida de adecuación muestral (MSA): consiste en la diagonal de la matriz de correlación anti-imagen. Valores no bajos reflejan que existe correlación entre variables.

5.2.2 Selección de factores

Generalmente hay un conjunto reducido de componentes principales, los primeros, que son los que explican la mayor parte de la variabilidad total, mientras que los otros suelen contribuir relativamente poco. Por lo tanto se debe definir el número de componentes principales que se considerará, es decir la cantidad de variables nuevas, de modo tal que se obtenga un sistema simplificado con baja pérdida de información.

Dado que el procedimiento para obtener los factores explica en forma decreciente la varianza total, es posible obtener un gráfico, llamado curva o gráfico de sedimentación, en donde se presenta el valor propio asociado a cada factor en forma decreciente (Figura 5.2). Este gráfico puede ser complementado con la varianza explicada acumulada.

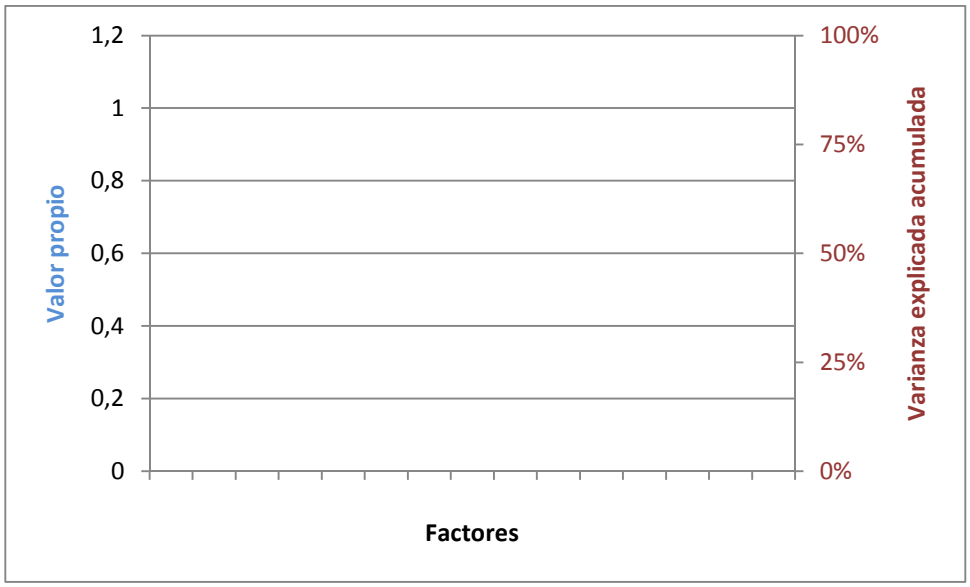


Figura 5.2: Gráfico de sedimentación.

La selección del número de factores puede ser realizada en base a varios criterios que se presentan a continuación, sin embargo todos ellos consideran una cantidad tal que la pérdida de información no sea significativa, es decir aceptar un nivel de explicación de la varianza total. En cualquier caso, los criterios son guías y su aplicación depende de cada caso.

- Porcentaje explicado fijo: adoptar un valor de varianza total explicada, por ejemplo 90%. En el caso de la Figura 5.2 bastaría considerar hasta el factor 4.
- Criterio de Kaisser: sólo considerar factores con valor propio mayor a 1,0. En el caso de la Figura 5.2 bastaría considerar hasta el factor 6.
- Criterio de Kaisser-Jollife: sólo considerar factores con valores propios mayores a 0,7. En el caso de la Figura 5.2 bastaría considerar hasta el factor 9.
- Scree-Test de Catell: considerar sólo primeros factores hasta un cambio de pendiente importante en la curva de sedimentación. En el caso de la Figura 5.2 bastaría considerar hasta el factor 5.

5.2.3 Matriz de factores

Una vez definido el número de componentes principales a considerar, es decir el número de variables nuevas, es posible obtener la matriz de factores, con n filas y p columnas, y que constituye la correlación entre las variables originales y las nuevas. Esta matriz relaciona las variables originales y las nuevas o factores, y en caso de matrices ortogonales, está conformada por coeficientes de correlación o factoriales. Esta matriz contiene información relevante para la interpretación de los factores, pues representa el grado de explicación de una variable en un determinado factor.

	y_1	y_2	$\cdots$	y_p
x_1	a_{11}	a_{21}	$\cdots$	a_{1p}
x_2	a_{21}	a_{22}	$\cdots$	a_{2p}
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$
x_n	a_{n1}	a_{n2}	$\cdots$	a_{np}

5.2.4 Interpretación de factores

Dado que las nuevas variables no son observables, resulta necesaria una interpretación de los factores obtenidos, es decir conocer su significado real y con ello permitir extraer conclusiones al problema.

Es recomendable dar un nombre a cada factor, de acuerdo al conocimiento del problema. Para que un factor o nueva variable sea fácilmente interpretable debe tener las siguientes características:

- los coeficientes factoriales son próximos a 1,
- una variable tiene coeficientes elevados sólo en un factor,
- no existir factores con coeficientes similares.

En el caso que lo anterior no ocurra, es posible realizar rotación de los ejes para alcanzar dichas características.

- Ortogonales: mantienen la independencia de factores, aunque cambia la varianza explicada de cada factor, la varianza acumulada se mantiene: Varimax (optimiza por factores), Quartimax (optimiza por variables) y Equimax (optimiza por variables y por factores a la vez)
- Oblicuas: no mantienen independencia de factores y por tanto modifica la relación entre variables: Oblimin y Promax

5.2.5 Puntuaciones factoriales

Luego de obtener la matriz de factores y entregar una interpretación a los factores, se tiene un conjunto de variables (factores) más reducido que el original. A partir de la transformación realizada es posible determinar el valor de las variables observadas según las nuevas variables.

$$\mathbf{Y}_{ik} = \mathbf{X}_{ij} \cdot \mathbf{t}_k$$

$$\begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{1p} \\ y_{21} & y_{22} & \cdots & y_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{m1} & y_{m2} & \cdots & y_{mp} \end{bmatrix}_{m\times p} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}_{m\times n} \cdot \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & \cdots & t_{1p} \\ t_{21} & t_{22} & \cdots & t_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ t_{p1} & t_{p2} & \cdots & t_{pp} \end{bmatrix}_{p\times p}$$

5.2.6 Representaciones gráficas

Dado que los factores constituyen un nuevo sistema de coordenadas definido por los vectores propios de mayor explicación de la varianza total, teóricamente es posible

representar gráficamente los valores de las variables no observadas, sin embargo en la práctica esto es factible cuando existen sólo dos o tres factores.

El gráfico que indica sólo dos factores se llama **Biplot-variables** (o de saturaciones) y consiste en un diagrama de dispersión en el que los factores definen los ejes del espacio, las variables son los puntos del diagrama y la unión de estos con el origen son vectores de las variables (Figura 5.3). Las coordenadas de una variable en cada factor son las saturaciones de la variable en dicho factor, es decir los valores de la matriz factorial. A continuación se presenta un detalle con toda la información contenida en el gráfico Biplot-variables.

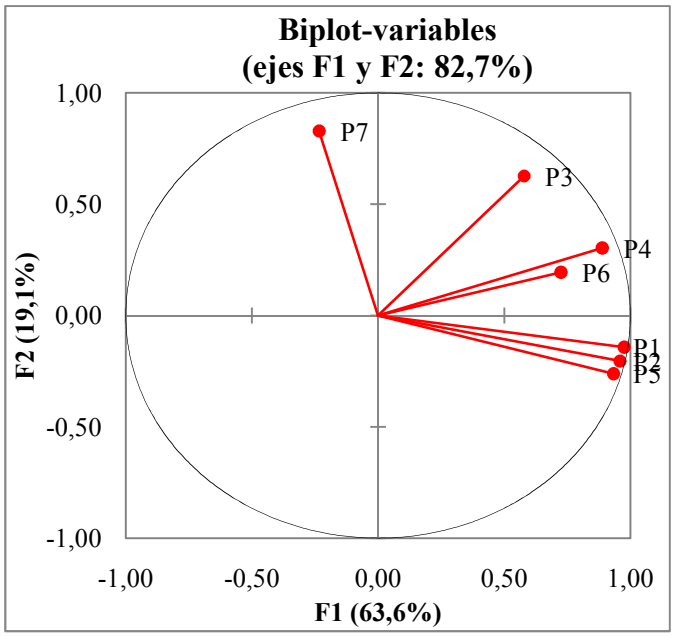


Figura 5.3: Gráfico Biplot-variables.

Cada variable queda representada por un vector desde el origen, y con una dirección determinada de acuerdo a su relación con los factores representados. En este gráfico se puede apreciar varias relaciones entre las variables según la longitud de cada vector y el ángulo entre ellos o con los ejes, así como la varianza explicada por ambos factores.

En las abscisas y ordenadas se presenta el porcentaje de la variable explicada por cada factor, de modo que la suma de ambas indica la varianza total explicada con ambos

factores. En este caso el factor 1 y factor 2 explican el 82,7% de la varianza total, 63,6% y 19,1%, respectivamente.

El coseno del ángulo entre cada vector y los ejes de los factores (donde factor 1 es la abscisa y factor 2 es la ordenada) indica el grado de relación con el factor respectivo, por ejemplo: un ángulo cercano a 90º refleja nula relación, un ángulo cercano a cero refleja alta correlación positiva. Del mismo modo el grado de relación entre las variables está marcado por el coseno del ángulo entre ambos vectores, por ejemplo ángulos cercanos a 270º reflejan alta correlación negativa, es decir una variable aumenta en la medida que la otra disminuye. En este caso variables P1, P2 y P5 están muy relacionadas debido al pequeño ángulo entre vectores. Sin embargo la variable P7 no está relacionada con P4 y P6 (muy relacionadas entre ellas), debido al ángulo casi perpendicular entre ellos.

La longitud del vector de cada variable indica el peso relativo de cada una de ellas respecto a las otras, por lo que es deseable encontrar longitudes similares y cercanas a 1. En caso que la longitud sea baja, indica que dicho parámetro tiene menor representación con las componentes principales del gráfico, o bien posee buena representación en factores no graficados. En el caso de la Figura 5.3 sólo la variable P6 está levente menos representada en los dos factores, pero no marcadamente.

El gráfico (Figura 5.4) que indica las puntuaciones factoriales (puntos azules) de cada observación se llama **Biplot-valores** y consiste en un diagrama de dispersión en donde los ejes son dos factores seleccionados. Este gráfico puede ser contener puntuaciones factoriales de observaciones adicionales (puntos naranjos) que no fueron utilizadas en los cálculos.

Esta representación, en conjunto con características de los puntos de observación (coordenadas, posición en acuífero, cercanía a ciudades o industrias, momento del muestreo, etc.) permite apreciar tendencias espaciales y/o temporales, o similitudes entre ellos, o incluso entre datos de bases de datos distintas En el ejemplo de la Figura 5.4 se aprecia que varios pozos se agrupan tanto en zonas aguas arriba y aguas abajo, como en zonas agrícolas. Por otra parte, se ha agregado observaciones adicionales (puntos naranjos), pudiendo ser agrupadas en la zona de vertientes.

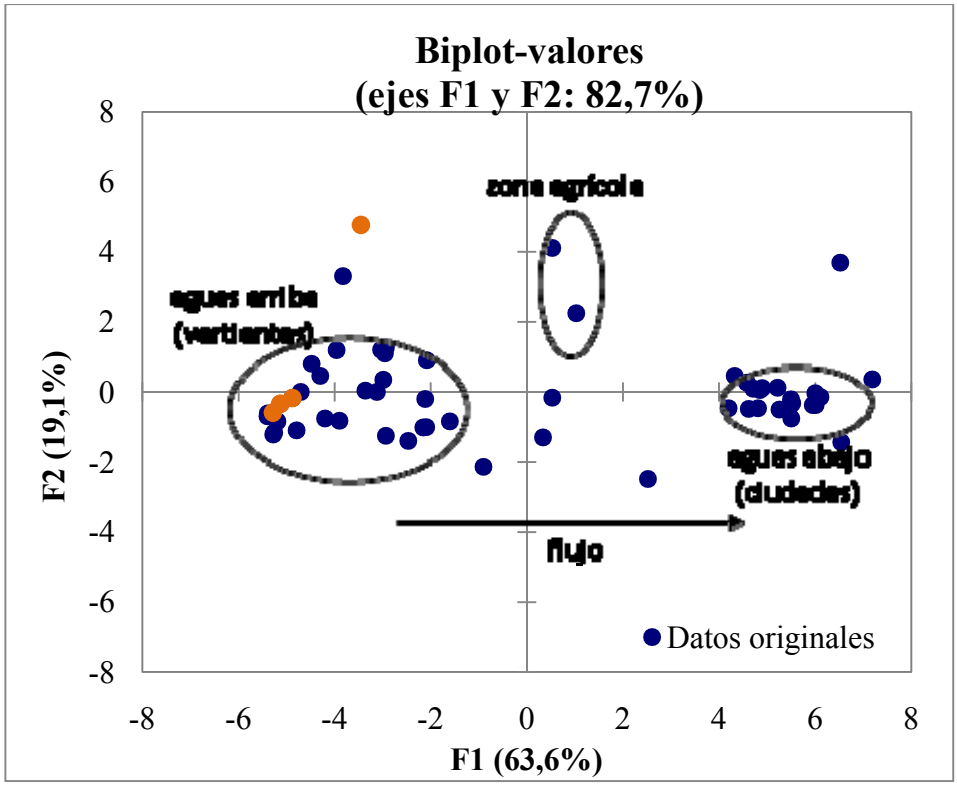


Figura 5.4: Gráfico Biplot-valores.

En resumen, la formulación matemática del ACP constituye una herramienta estadística que permite reducir el número de variables sin perder mucha información, cuando se trabaja con bases de datos de variables correlacionadas. El ACP consiste en una serie de pasos secuenciales, que deben ser realizados con criterio profesional para obtener conclusiones relevantes al problema en cuestión. Los pasos son los siguientes: a) base de datos y requisitos, b) selección de factores, c) matriz de factores, d) interpretación de factores, e) puntuaciones factoriales y f) representaciones gráficas. Existen varias herramientas computacionales que facilitan el ACP, sobre todo cuando la base de datos es extensa.

5.2.7 Ejemplo de aplicación

Para ejemplificar la aplicación del ACP se analizó la estadística de pozos a nivel nacional de la DGA para el periodo 2000-2005, complementando la información con los datos de otros estudios (Tabla 5.1).

Tabla 5.1: Base de datos química a nivel nacional en período 2000-2005.

Pozo	Sector acuífero	Fecha	SDT (mg/L)	Cl (mg/L)	Na (mg/L)	SO_4 (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	NO_3 (mg/L)	K (mg/L)
Ppr1	Loa	22-06-2000	5.740	2.119,0	1.275,0	379,1	408,8	72,9	0,2	82,5
Ppr2	Loa	23-06-2000	5.720	2.399,0	1.228,0	298,3	321,0	126,0	3,4	95,7
Ppr4	Loa	24-06-2000	6.280	2.512,0	1.258,0	442,5	408,8	126,0	7,3	105,0
Ppr5	Loa	25-06-2000	5.007	2.064,0	1.250,0	412,4	329,0	72,9	12,7	86,3
P-01	Loa	26-06-2000	5.200	2.395,0	1.274,0	456,5	425,0	82,6	0,6	107,7
P-04	Loa	27-06-2000	5.450	2.295,0	1.175,0	370,4	392,8	87,5	2,3	91,0
P-07	Loa	28-06-2000	5.140	2.212,0	1.100,0	313,3	369,0	92,4	10,5	147,9
P-09	Loa	29-06-2000	5.440	2.221,0	1.136,0	365,4	369,0	92,4	9,2	87,9
P-10	Loa	30-06-2000	5.340	2.184,0	1.116,0	327,3	377,0	77,8	12,0	86,0
P-12	Loa	01-07-2000	4.900	2.171,0	1.175,0	321,3	377,0	92,4	11,1	99,5
P-16	Loa	02-07-2000	5.900	2.474,0	1.246,0	350,4	505,0	38,9	4,5	94,5
P-18	Loa	03-07-2000	5.980	2.531,0	1.200,0	415,4	481,0	63,2	1,9	86,5
P-19	Loa	04-07-2000	5.530	2.233,0	1.131,0	331,3	481,0	38,9	0,9	88,0
P-21	Loa	05-07-2000	5.140	2.159,0	1.100,0	346,4	449,0	29,2	1,1	101,0
P-24	Loa	06-07-2000	5.040	2.209,0	1.106,0	278,3	385,0	77,8	2,4	103,0
P-25	Loa	07-07-2000	5.220	2.184,0	1.119,0	403,4	481,0	24,3	16,4	113,8
P-26	Loa	08-07-2000	6.220	2.556,0	1.350,0	390,4	513,0	34,0	2,6	108,0
P-27	Loa	09-07-2000	6.290	2.568,0	1.237,0	313,3	465,0	38,9	0,1	96,8
P-30	Loa	10-07-2000	5.770	2.482,0	1.251,0	318,3	513,0	29,2	0,1	89,0
Qe2/11	Loa	01-06-2000	3.975	1.150,0	805,0	110,1	134,0	51,3	0,1	34,8
Vert. Ojo de Opache	Loa	20-03-2000	5.400	2.380,0	1.160,0	332,3	283,0	120,0	1,9	75,3
Aguadalateca	Loa	20-03-2000	1.060	71,0	70,4	331,3	147,0	18,2	0,0	2,4
Tatio Salida	Loa	20-03-2000	5.270	2.610,0	1.630,0	75,1	87,4	10,2	0,0	221,0
Baños Turi	Loa	15-06-2000	1.694	720,0	381,0	96,1	97,2	44,2	0,2	49,3
Cupo	Loa	15-06-2000	2.390	861,0	349,0	208,2	165,0	126,0	0,0	40,9
Paniri	Loa	20-03-2000	346	10,0	8,0	10,0	34,8	11,5	10,0	2,0
Paniri	Loa	15-06-2000	328	10,0	5,0	10,0	36,3	11,9	0,0	2,0
Vertiente en Río Salado	Loa	20-03-2000	6.100	2.770,0	1.660,0	127,1	356,0	106,0	0,0	17,0
Ojos Sn Pedro	Loa	15-06-2000	918	144,8	60,0	89,1	50,6	41,1	0,0	16,9
Pozo Chiu - Chiu	Loa	09-02-2000	1.848	858,5	471,5	7,5	74,0	31,0	2,1	36,5

Tabla 5.1: Base de datos química a nivel nacional en período 2000-2005.

Estudiosalin1	Los Choros	01-05-2005	1.298	114,0	102,3	210,4	86,8	28,1	8,2	2,8
Estudiosalin2	Los Choros	02-05-2005	1.660	258,9	120,5	206,9	99,7	59,0	11,0	4,2
Estudiosalin3	Los Choros	03-05-2005	1.472	246,0	131,7	240,2	101,9	42,1	8,5	4,2
Estudiosalin4	Los Choros	04-05-2005	1.732	361,7	172,1	328,7	153,6	64,0	15,5	5,0
Estudiosalin5	Los Choros	05-05-2005	1.354	229,3	127,6	206,9	97,6	39,5	8,2	3,9
Estudiosalin6	Los Choros	06-05-2005	1.316	253,7	137,8	219,6	96,9	41,4	10,9	4,6
Estudiosalin7	Los Choros	07-05-2005	2.758	680,9	342,7	619,3	250,3	104,3	18,3	8,1
Estudiosalin8	Los Choros	08-05-2005	2.034	376,4	182,3	423,7	164,4	70,5	18,0	5,7
Estudiosalin9	Los Choros	09-05-2005	1.520	383,3	197,9	213,2	108,0	43,4	13,1	5,2
Estudiosalin10	Los Choros	10-05-2005	1.964	369,4	169,7	285,5	134,8	50,2	4,2	9,7
Estudiosalin11	Los Choros	11-05-2005	1.507	362,4	180,4	247,2	117,1	48,4	7,8	5,5
Estudiosalin12	Los Choros	12-05-2005	2.029	352,0	182,8	286,2	124,5	54,7	3,4	8,9
Estudiosalin13	Los Choros	13-05-2005	1.634	355,4	166,9	289,1	137,4	53,1	0,8	8,2
Estudiosalin14	Los Choros	14-05-2005	2.308	565,9	220,6	310,3	175,8	72,4	2,7	12,8
Estudiosalin15	Los Choros	15-05-2005	2.586	582,0	225,8	325,9	178,7	86,1	2,3	11,6
Estudiosalin16	Los Choros	16-05-2005	2.474	1.083,8	534,6	562,5	191,1	111,0	3,3	14,5
Estudiosalin17	Los Choros	17-05-2005	3.286	1.111,6	650,9	559,7	198,3	100,6	2,2	14,5
Estudiosalin18	Los Choros	18-05-2005	3.266	975,7	404,2	425,0	176,8	142,2	0,5	16,3
Estudiosalin19	Los Choros	19-05-2005	3.080	871,2	194,7	412,3	242,7	170,8	6,4	22,8
Estudiosalin20	Los Choros	20-05-2005	4.070	1.247,5	420,8	599,4	300,0	177,3	6,9	32,1
Estudiosalin21	Los Choros	21-05-2005	5.668	1.724,9	561,4	1150,7	493,5	256,6	1,4	43,2
Estudiosalin22	Los Choros	22-05-2005	3.573	947,8	270,1	430,7	244,1	179,9	7,0	23,7
Estudiosalin23	Los Choros	23-05-2005	3.480	1.198,7	376,1	454,8	267,1	181,2	0,5	18,2
Estudiosalin24	Los Choros	24-05-2005	4.460	1.526,3	378,7	240,8	321,5	212,4	0,3	16,3
Estudiosalin25	Los Choros	25-05-2005	4.798	1.575,1	397,8	242,2	301,5	217,6	0,8	18,5
Estudiosalin26	Los Choros	26-05-2005	4.764	1.805,1	541,0	415,1	253,2	252,5	2,3	26,6
Estudiosalin27	Los Choros	27-05-2005	4.138	1.463,6	502,6	331,5	238,4	217,6	1,0	21,9
Estudiosalin28	Los Choros	28-05-2005	13.321	5.976,3	3.017,9	1326,3	484,3	484,9	2,0	107,0
Estudiosalin29	Los Choros	29-05-2005	12.024	4.923,9	2.170,2	1193,1	584,7	467,0	3,6	116,3
Estudiosalin30	Los Choros	30-05-2005	1.298	114,0	102,3	210,4	86,8	28,1	36,3	2,8
Estudiosalin31	Los Choros	31-05-2005	837	115,2	101,0	1,6	9,4	5,6	13,8	6,7
Pozo Los Choros N°1 C-3	Los Choros	03-01-2000	809	207,9	143,8	207,5	102,8	35,5	9,8	3,7

Tabla 5.1: Base de datos química a nivel nacional en período 2000-2005.

Pozo Los Choros N°4 B-2	Los Choros	04-01-2000	353	106,8	97,8	23,5	9,2	3,9	1,3	5,2
Pozo CCU en Limache	Aconcagua	21-01-2000	488	53,9	43,7	139,8	86,6	29,8	29,7	1,8
Dren Los Caleos	Aconcagua	20-04-2000	598	41,7	36,2	375,0	142,7	34,9	1,5	0,9
Pozo Albarracines	Azapa	26-12-2000	2.224	777,4	183,5	537,5	506,0	49,0	61,2	8,2
Pozo Asentamiento Alicague	La Ligua	26-10-2000	84	14,6	14,7	46,0	43,7	8,2	9,2	1,0
Pozo Gallinazos	Lluta	27-12-2000	3.791	1.477,4	671,0	1025,0	510,0	141,0	19,3	54,0
Pozo Jica B	Lluta	09-05-2002	1.740	903,2	457,0	150,0	174,0	2,0	0,0	42,0
Pozo Jica D	Pampa del Tamarugal	06-09-2000	1.979	1.019,7	422,5	130,2	207,5	15,0	2,6	44,0
Pozo Jica E	Pampa del Tamarugal	05-09-2000	1.506	818,7	306,5	13,2	158,6	7,6	1,8	35,0
Pozo Jica F	Pampa del Tamarugal	07-09-2000	1.438	478,8	366,5	344,8	96,3	28,1	0,9	54,0
Pozo Jica G	Pampa del Tamarugal	26-04-2000	544	78,9	143,0	68,8	28,3	8,9	0,2	14,8
Pozo Laonsana (Qda. Tarapacá)	Pampa del Tamarugal	06-09-2000	1.921	486,1	393,0	975,0	383,0	4,5	2,8	11,5
Pozo Qda. Aroma	Pampa del Tamarugal	25-05-2000	3.059	1.589,9	991,0	7,0	25,9	15,5	0,1	85,0
Pozo Qda. Chacarilla	Pampa del Tamarugal	07-09-2000	793	151,7	283,0	236,0	2,3	0,0	0,0	6,5
Pozo Fundo Algarrobal	Maipo	13-01-2000	568	86,8	46,0	187,3	131,3	9,6	20,0	1,3
Pozo Asentamiento Central Lo Vargas	Maipo	12-01-2000	418	29,8	42,6	101,3	76,8	20,4	16,4	2,6
Pozo Club de Golf	Maipo	13-01-2000	334	20,7	20,7	112,4	69,5	13,6	12,8	1,3
Pozo Agricola Hermanos Poblete	Maipo	11-01-2000	878	154,7	86,3	318,9	184,0	35,0	24,6	6,0
Pozo Vertedero Cerros de Renca	Maipo	10-01-2000	1.131	300,3	63,3	256,5	248,1	54,7	17,1	3,9
Pozo Estadio CORFO (Las Condes)	Maipo	13-01-2000	314	28,0	27,6	60,0	55,9	12,4	13,5	0,8
Pozo Cementerio Metropolitano	Maipo	11-01-2000	838	164,2	86,3	256,5	167,9	36,0	71,9	5,7
Pozo Parque O'Higgins	Maipo	13-04-1999	629	121,8	28,8	206,0	158,9	23,3	31,6	1,7

Tabla 5.1: Base de datos química a nivel nacional en período 2000-2005.

Pozo Asentamiento Malloco	Maipo	11-01-2000	905	148,1	97,8	318,9	187,0	29,9	21,6	5,8
Pozo INIA	Maipo	13-01-2000	911	129,9	86,3	330,9	174,9	29,9	23,3	5,9
Pozo Crucero Peralillo	Maipo	10-01-2000	251	23,5	31,1	39,9	42,3	11,1	4,8	1,9
Pozo Chacra El Olivo	Maipo	12-01-2000	1.109	182,4	103,5	325,2	219,4	39,0	96,4	5,1
Pozo APR - Casas de Colo Colo	Maipo	09-01-2003	265	15,3	55,6	70,0	30,9	6,1	9,4	0,7
Pozo Estadio CORFO (Las Condes)	Mapocho	13-01-2000	314	28,0	27,6	60,0	55,9	12,4	13,5	1,3
Pozo Club de Golf	Mapocho	13-01-2000	334	20,7	20,7	112,4	69,5	13,6	12,8	0,8

En esta base de datos, las variables originales constituyen los parámetros químicos: SDT, Cloruros, Sulfatos, Calcio, Sodio, Magnesio y Nitratos. Se utilizó el programa estadístico XLSTAT® acoplado a Excel®.

La base de datos tiene un tamaño adecuado de 7 parámetros y 60 análisis químicos, además presenta correlaciones importantes entre las variables, lo que se comprueba con: a) visualizar coeficientes de correlación, b) determinante de la matriz de correlación bajo ($7{,}8 \times 10^{-6}$) y c) se rechaza hipótesis nula en test de esfericidad de Bartlett (error de 0,01%).

A partir de los datos se obtuvo 7 factores principales con sus respectivos valores propios, tal como se presenta en Figura 5.5. Se verifica que sólo dos factores cumplen el criterio de Kaisser con el criterio de ser mayor a 1, y lo que resulta conveniente al momento de buscar representación gráfica de los resultados. Los dos primeros componentes principales representan el 82,7% de la variabilidad total ($([4{,}45 + 1{,}34] \cdot 100 / 7{,}00$), por lo que la representación de todos los parámetros originales sólo con estas dos nuevas componentes se considera adecuado. El primer factor explica 63,6% de la varianza total, mientras que el segundo factor el 19,1% de ésta.

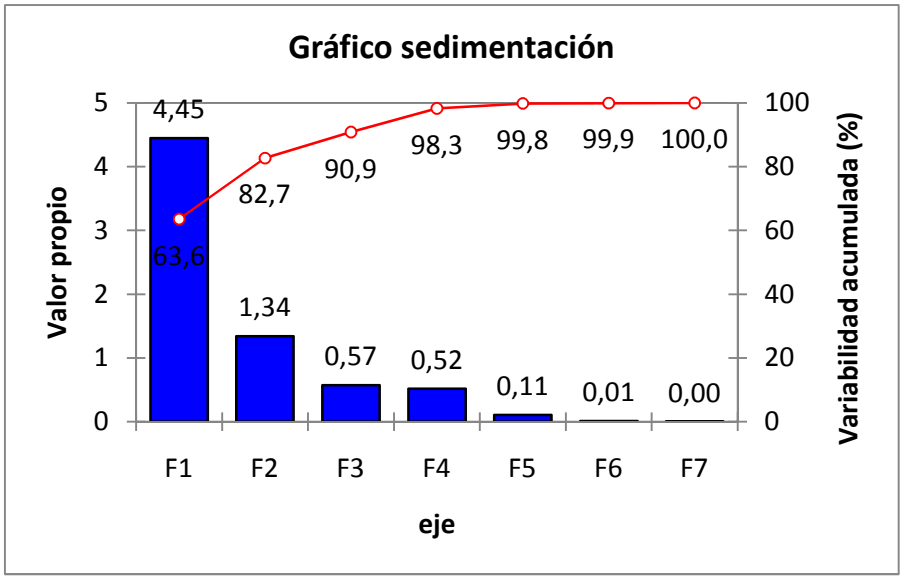


Figura 5.5: Gráfico de sedimentación de la red de medición DGA.

La matriz de factores tiene sólo dos columnas y contiene los coeficientes de correlación entre las variables originales y los factores.

	F1	F2
SDT	0,976	-0,142
Cl	0,959	-0,205
SO_4	0,579	0,627
Ca	0,889	0,303
Na	0,934	-0,262
Mg	0,725	0,194
NO_3	-0,233	0,829

Los coeficientes factoriales muestran que parámetros químicos SDT, Cl, Ca, Na y Mg están relacionados principalmente con el factor 1, el parámetro NO_3 se relaciona fuertemente con el factor 2, mientras que el parámetro SO_4 se relaciona con ambos factores. Es posible considerar las relaciones entre los parámetros en base al origen de las concentraciones o valores observados. Es así como el factor 2 se interpreta como de origen antrópico dado que los valores observados de Nitratos, única variable relacionada con éste, presenta valores de concentración sobre 10 mg/L, considerados como límite máximo en aguas subterráneas naturales sin afectación antrópica, por ejemplo de la agricultura. Por otra parte, el factor 1 se interpreta como origen natural, dado que los parámetros más correlacionados con este presentan valores esperables en aguas subterráneas sin afectación antrópica.

La Figura 3.9 muestra el gráfico Biplot-variables, la representación de las variables originales (los parámetros) mediante las nuevas variables (factores). Dada la longitud de los vectores, todos los parámetros químicos son bien representados en este espacio reducido, ya que no existe ninguno resulta muy pequeño con respecto al resto. A partir del ángulo entre los vectores presentados, se puede reconocer tres grupos de variables con un origen similar: un grupo es el Cl-SDT-Na, un segundo grupo es Ca-Mg-SO_4, y el tercero es NO_3, cuya relación con los otros grupos es baja.

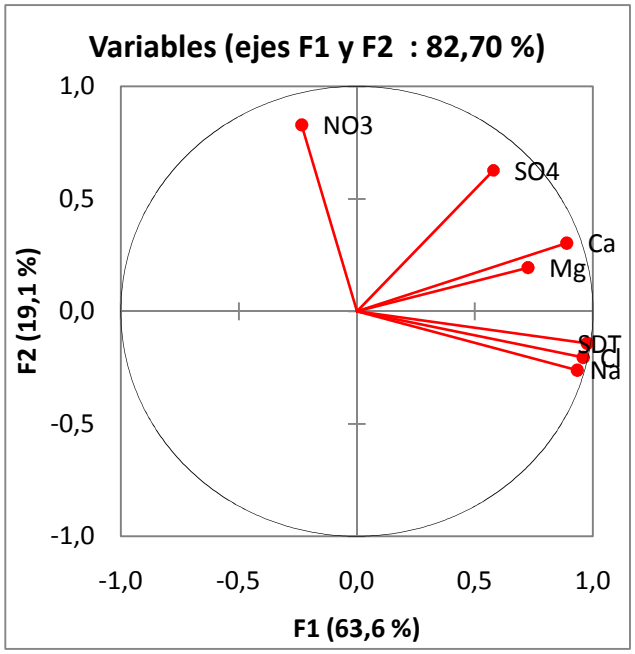


Figura 5.6: Gráfico de Biplot-variables de la red de medición DGA.

En la Figura 5.7 se muestra el gráfico Biplot-valores con las puntuaciones factoriales, es decir los valores según las nuevas variables de todos los análisis químicos de la base de datos (red de calidad de la DGA y otros estudios), pero diferenciados por acuífero. En este gráfico también se presenta la saturación de las variables y sus vectores.

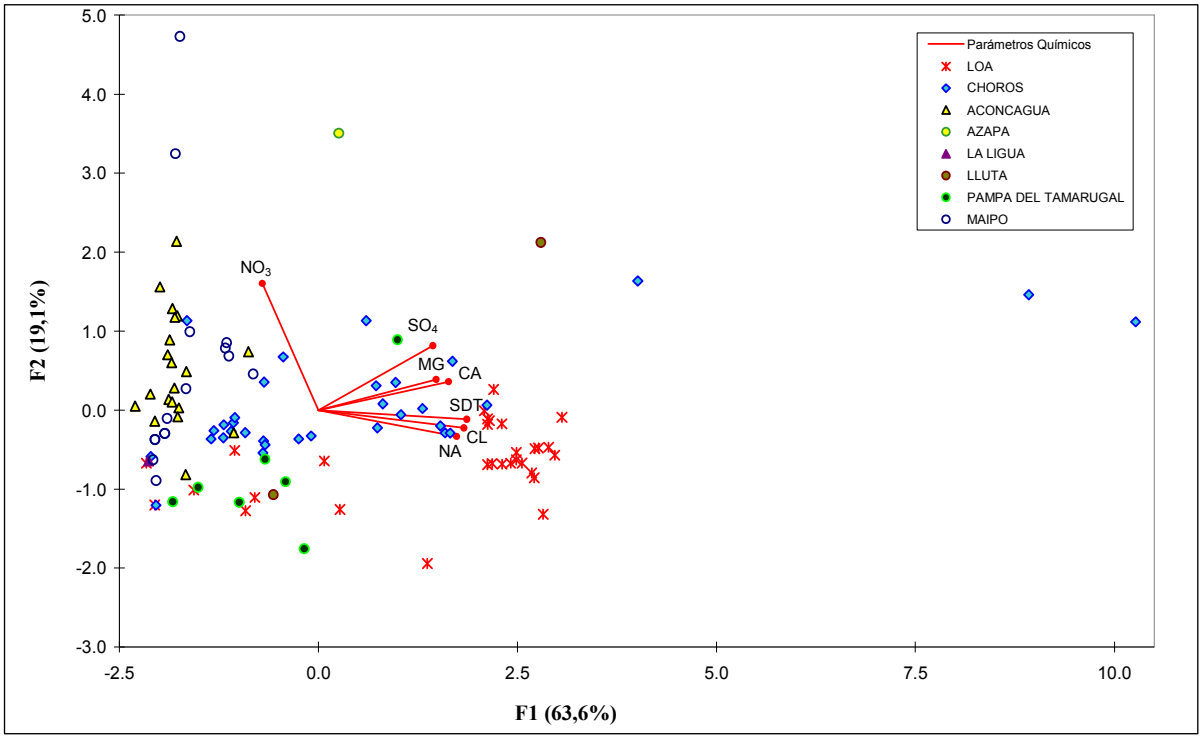


Figura 5.7: Gráfico Biplot-valores de la red de medición DGA.

El gráfico muestra que los pozos de cada acuífero se agrupan según sus características químicas y adquieren cierta tendencia. Por ejemplo, el Aconcagua y el Maipo se agrupan juntos y se dispersan en dirección del factor 2 asociado a origen antrópico o bien del NO_3, mientras que el Loa y Los Choros se agrupan juntos y se dispersan en dirección del factor 1 asociado a origen natural o bien a las sales (Magnesio, Calcio, Cloruro) de origen natural ya sea por influencia de la geología, en el caso del Loa, o por intrusión salina, en el caso de Los Choros. También se puede reconocer que los pozos de mejor calidad ubicados aguas arriba de los sectores acuíferos se agrupan en el sector inferior izquierdo.

En la Figura 5.8 se presenta de forma más clara la evolución que tienen las aguas a medida que avanzan, es decir se presenta una interpretación que considera los pozos extremos y la trayectoria del agua subterránea. Todos los pozos ubicados en la dirección del Loa, por ejemplo aquellos de la Pampa del Tamarugal y los del Lluta, presentan un grado de interacción alto con la geología. El sector acuífero Los Choros presenta los pozos con mayor grado de intrusión salina y con una actividad agrícola poco desarrollada. En el Valle

de Azapa sólo existe un pozo con información y se ubica en una zona que indica actividad agrícola o antrópica. Por último el Maipo y el Aconcagua tienen un desarrollo similar, en que el Nitrato presenta concentraciones altas, por lo que reflejan el mayor efecto de actividades humanas, por ejemplo agrícolas o de residuos urbanos.

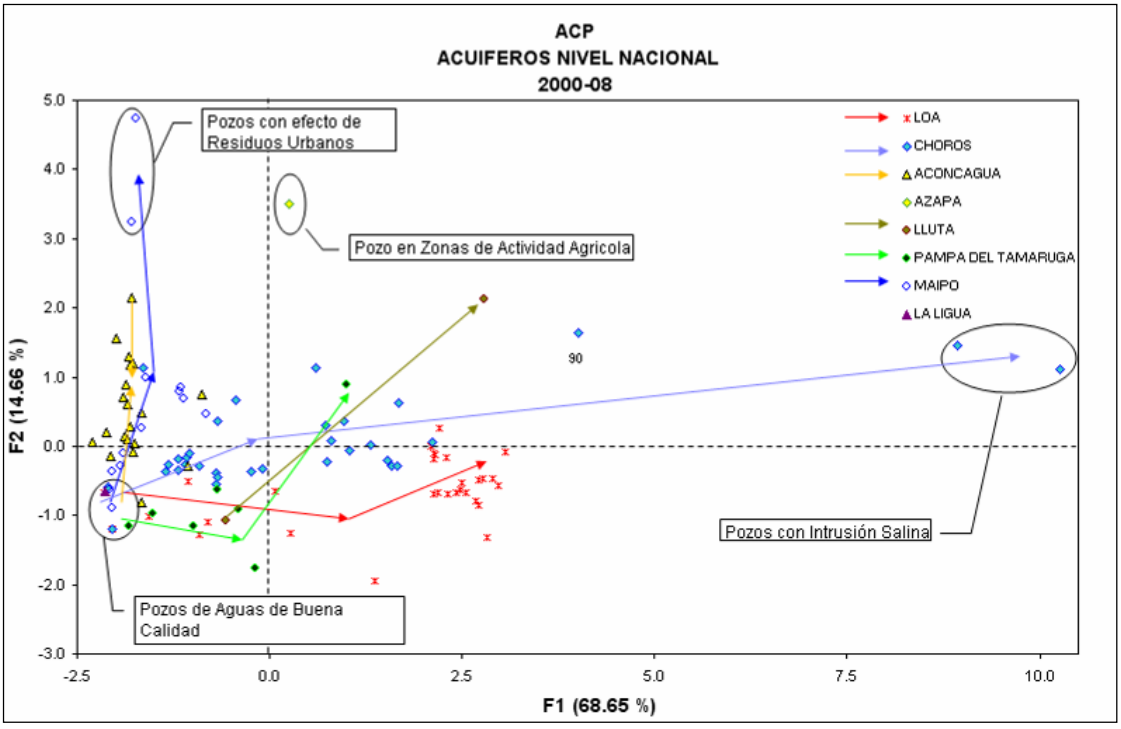


Figura 5.8: Gráfico Biplot-valores con trayectoria del agua subterránea.

Se observa que la mayor utilidad de esta herramienta es que permite comparar en forma simultánea todos los sectores acuíferos y agrupa aquellos con características similares de calidad química. Por lo que permite observar si existe un efecto debido a actividad humana, agrícola, intrusión salina o interacción con la geología de la zona.

6 RESULTADOS INTERMEDIOS DE APLICACIÓN DE METODOLOGÍA DE CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS

6.1 Mapas de interpolación e índice de calidad

6.1.1 Sector acuífero El Loa

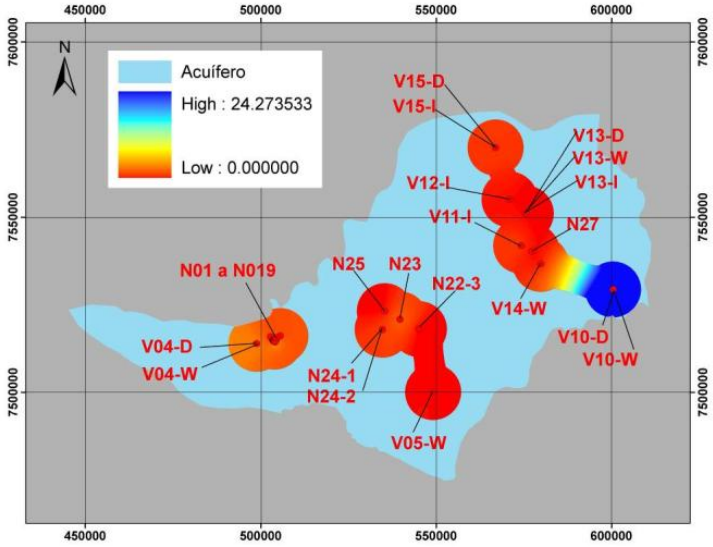


Figura 6.1: Interpolación de concentración (mg/L) de As en sector acuífero El Loa.

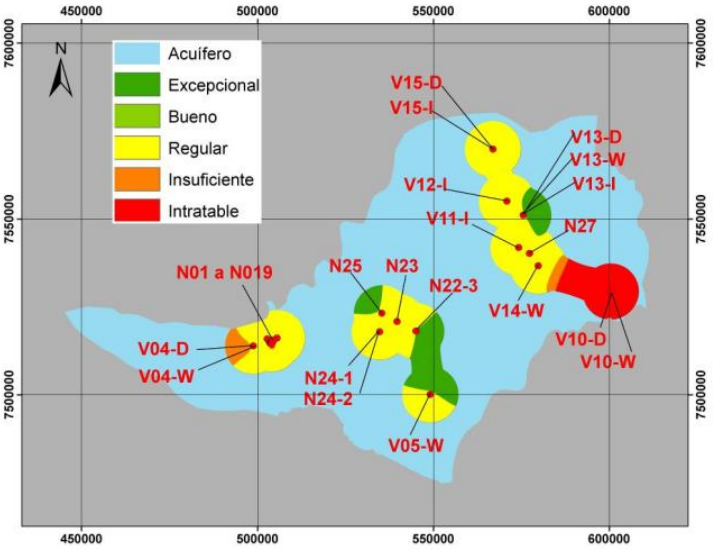


Figura 6.2: Índice calidad individual de As en sector acuífero El Loa.

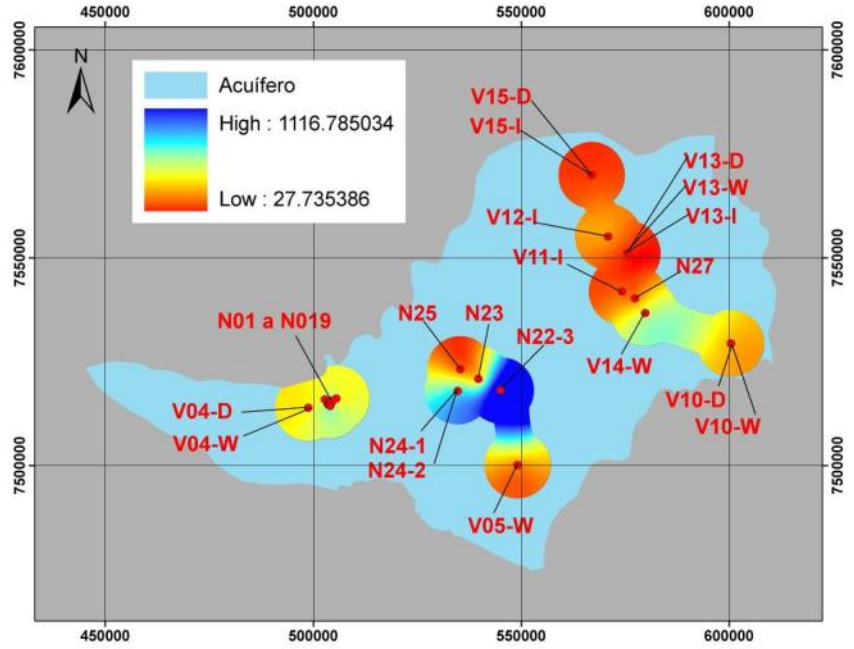


Figura 6.3: Interpolación de concentración (mg/L) de Ca en sector acuífero El Loa.

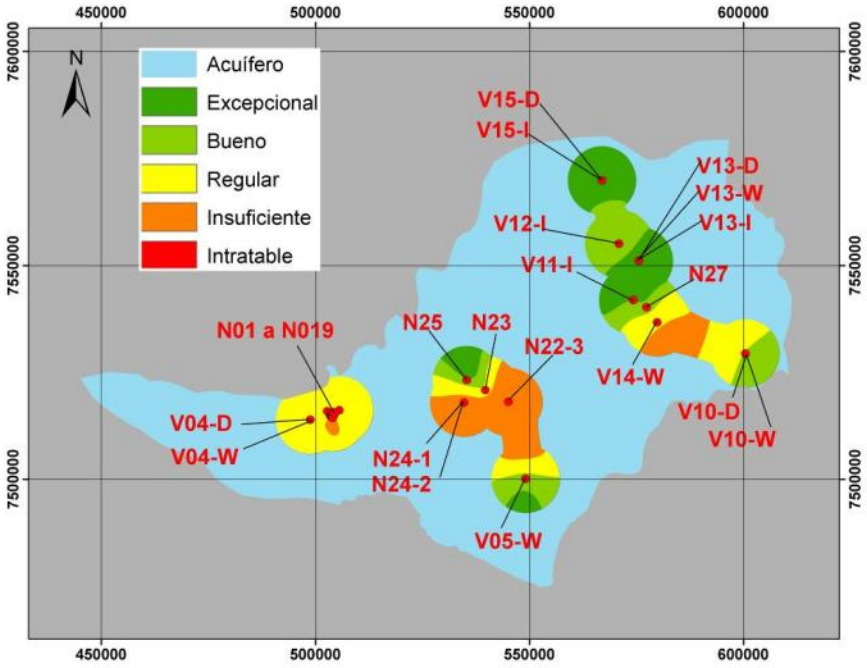


Figura 6.4: Índice calidad individual de Ca en sector acuífero El Loa.

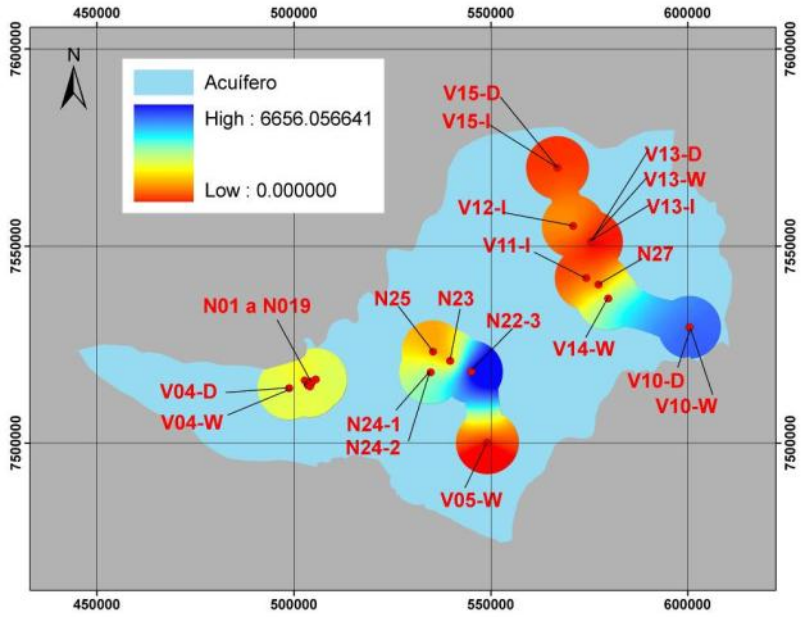


Figura 6.5: Interpolación de concentración (mg/L) de Cl en sector acuífero El Loa.

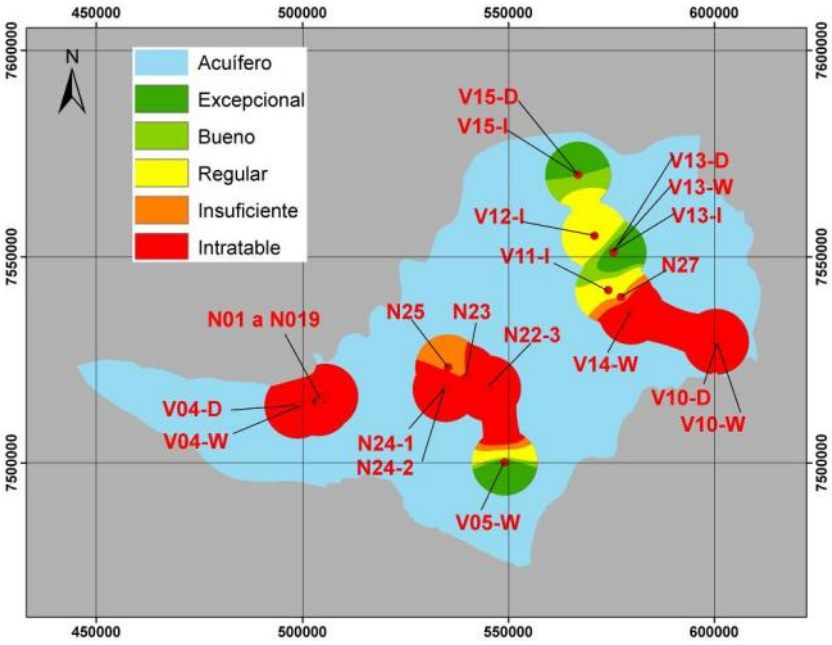


Figura 6.6: Índice calidad individual de Cl en sector acuífero El Loa.

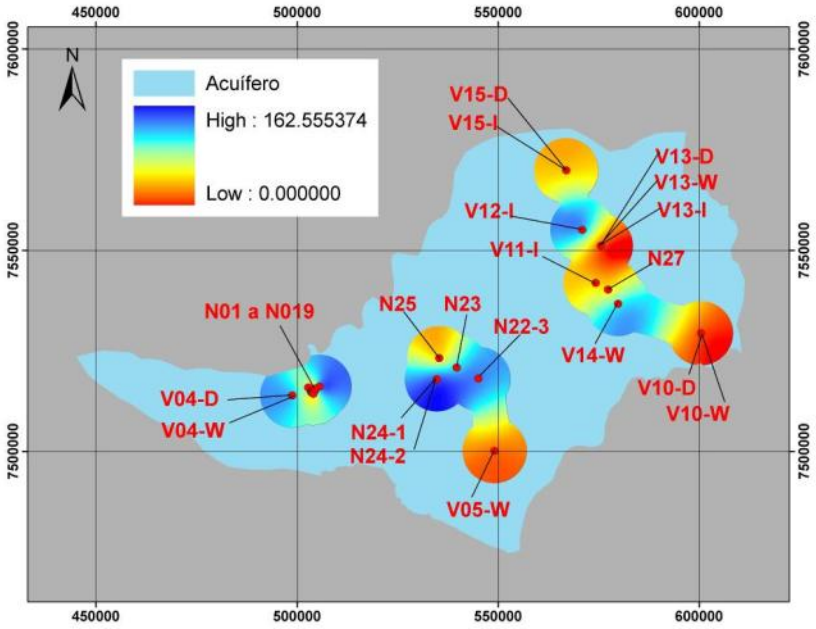


Figura 6.7: Interpolación de concentración (mg/L) de Mg en sector acuífero El Loa.

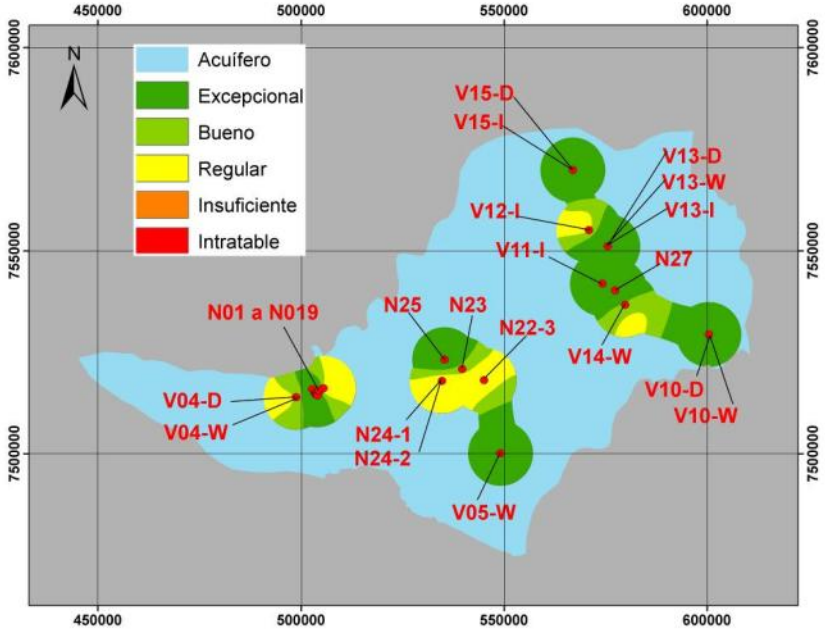


Figura 6.8: Índice calidad individual de Mg en sector acuífero El Loa.

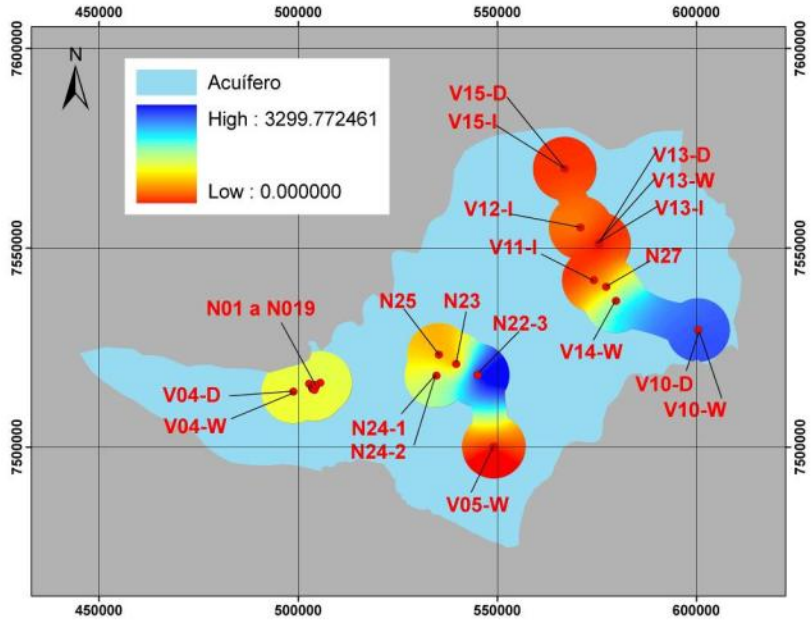


Figura 6.9: Interpolación de concentración (mg/L) de Na en sector acuífero El Loa.

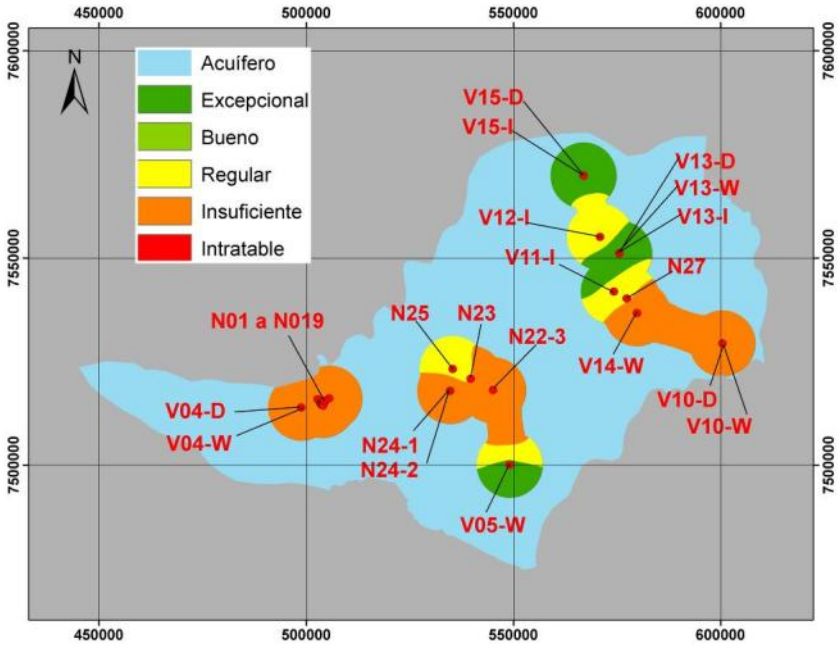


Figura 6.10: Índice calidad individual de Na en sector acuífero El Loa.

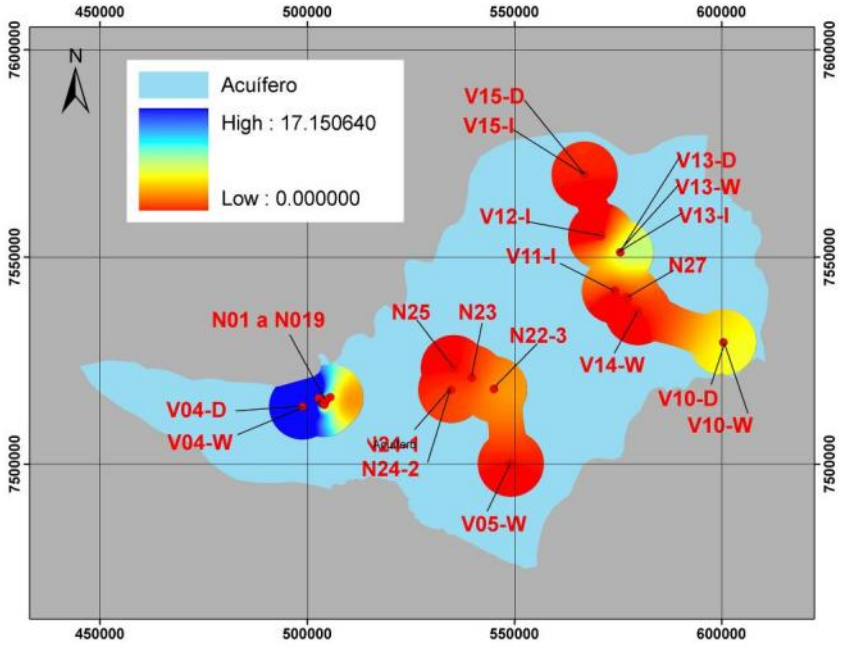


Figura 6.11: Interpolación de concentración (mg/L) de NO_3 en sector acuífero El Loa.

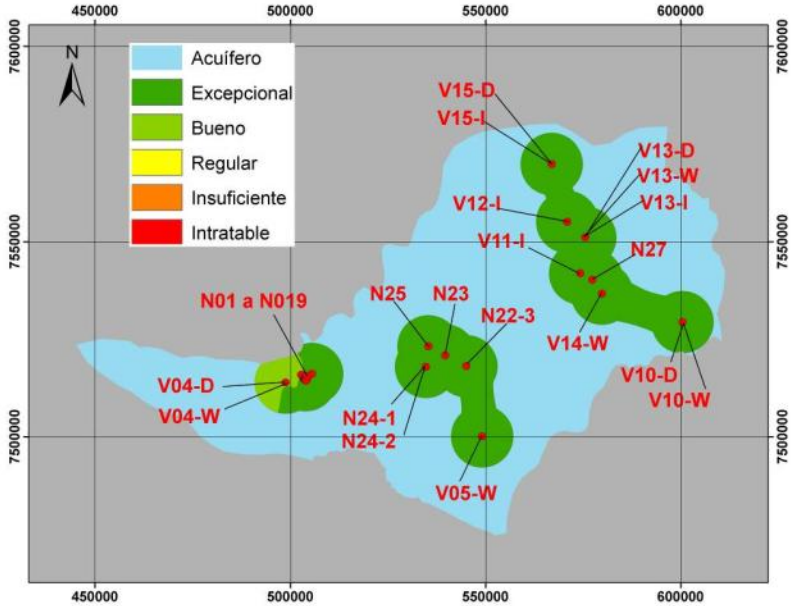


Figura 6.12: Índice calidad individual de NO_3 en sector acuífero El Loa.

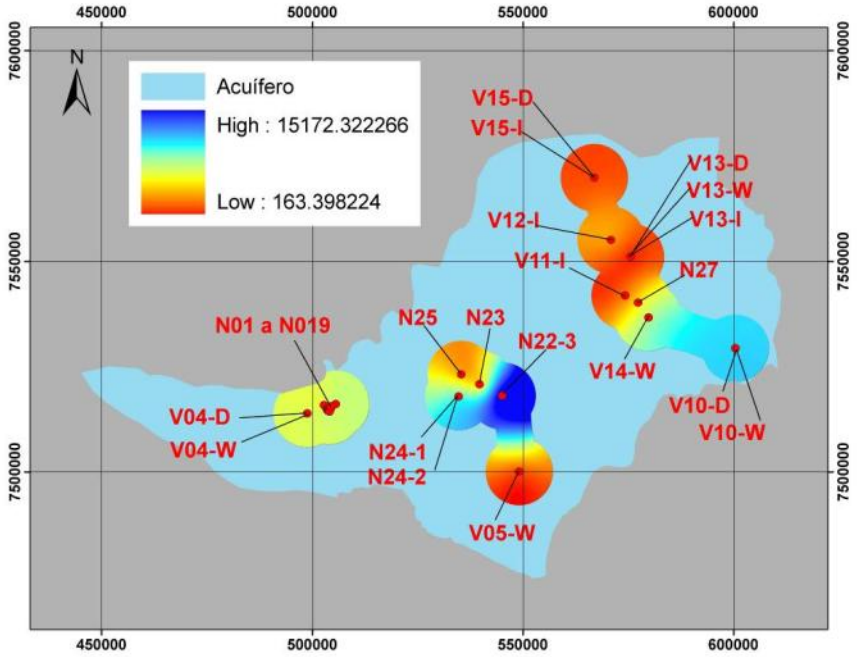


Figura 6.13: Interpolación de concentración (mg/L) de SDT en sector acuífero El Loa.

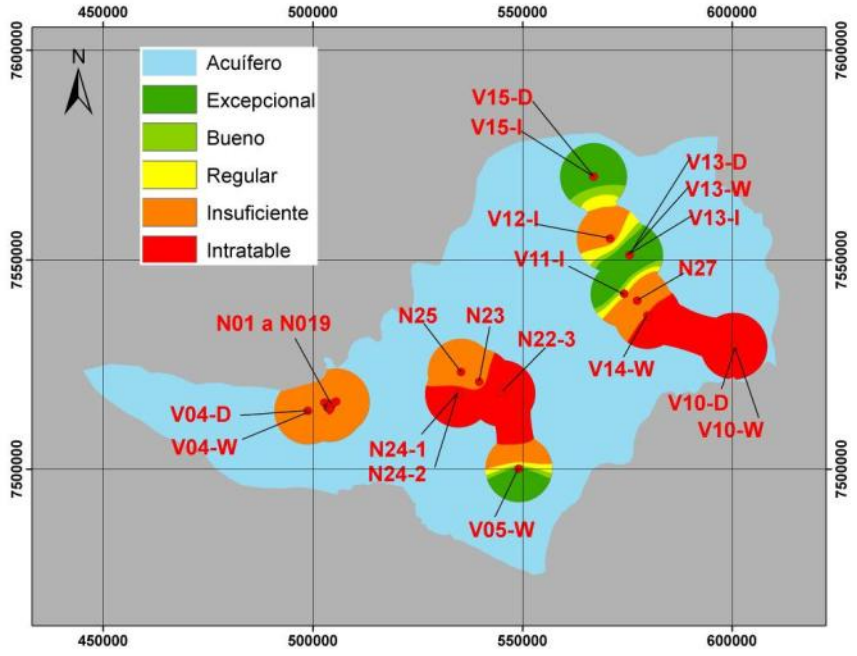


Figura 6.14: Índice calidad individual de SDT en sector acuífero El Loa.

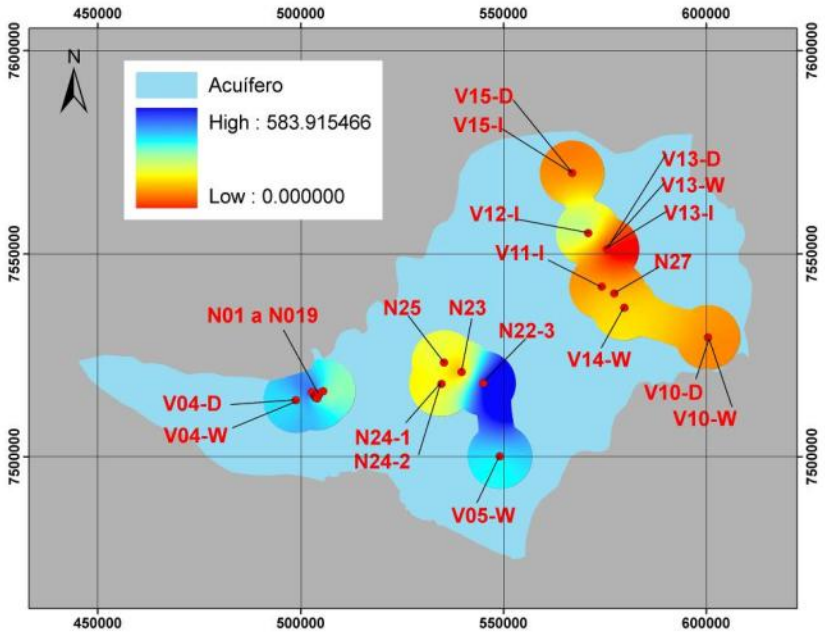


Figura 6.15: Interpolación de concentración (mg/L) de SO_4 en sector acuífero El Loa.

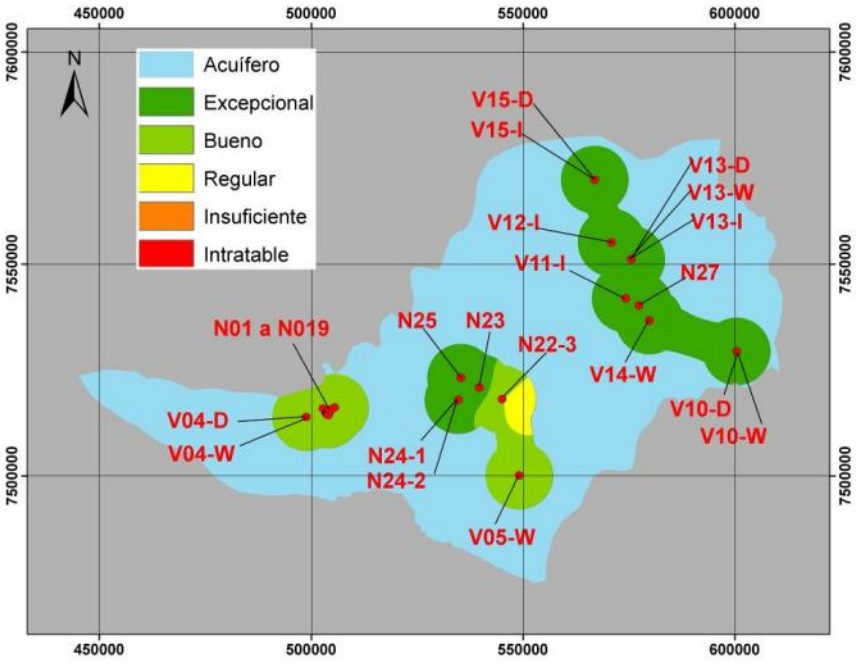


Figura 6.16: Índice calidad individual de SO_4 en sector acuífero El Loa.

6.1.2 Sector acuífero Los Choros

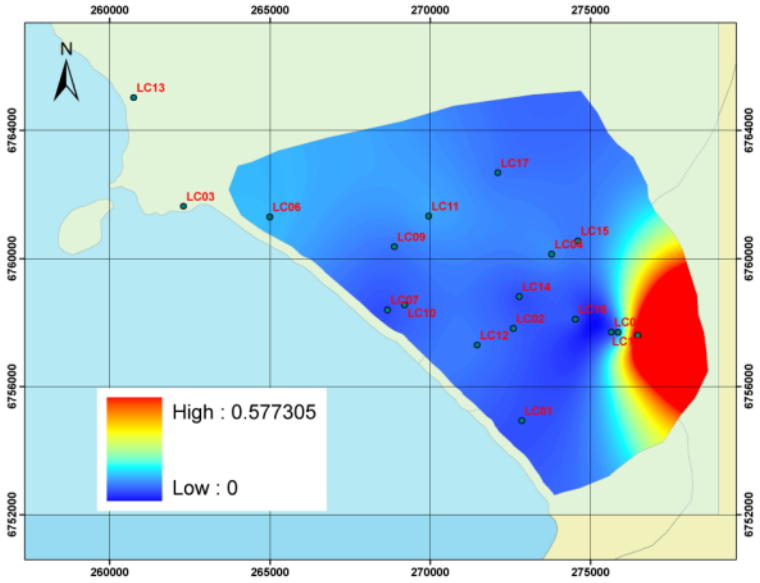


Figura 6.17: Interpolación de concentración (mg/L) de Al en acuífero Los Choros.

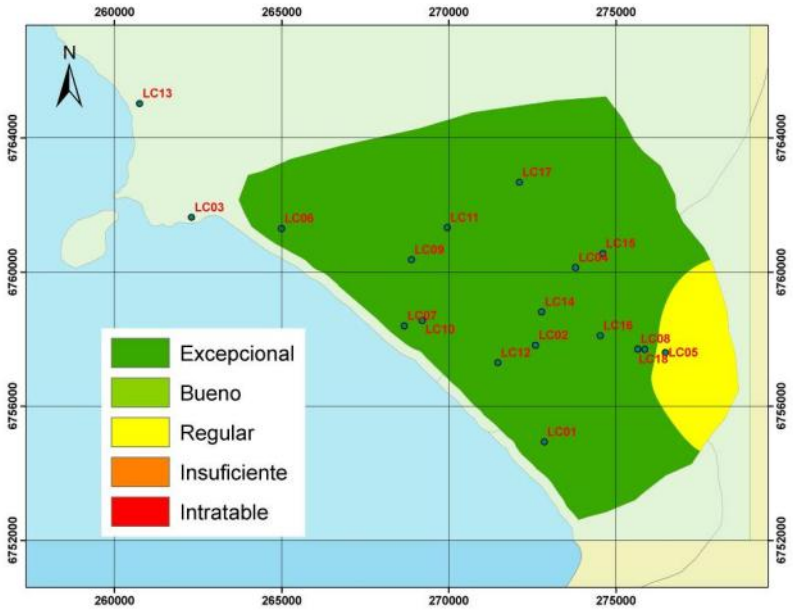


Figura 6.18: Índice calidad individual de Al en acuífero Los Choros.

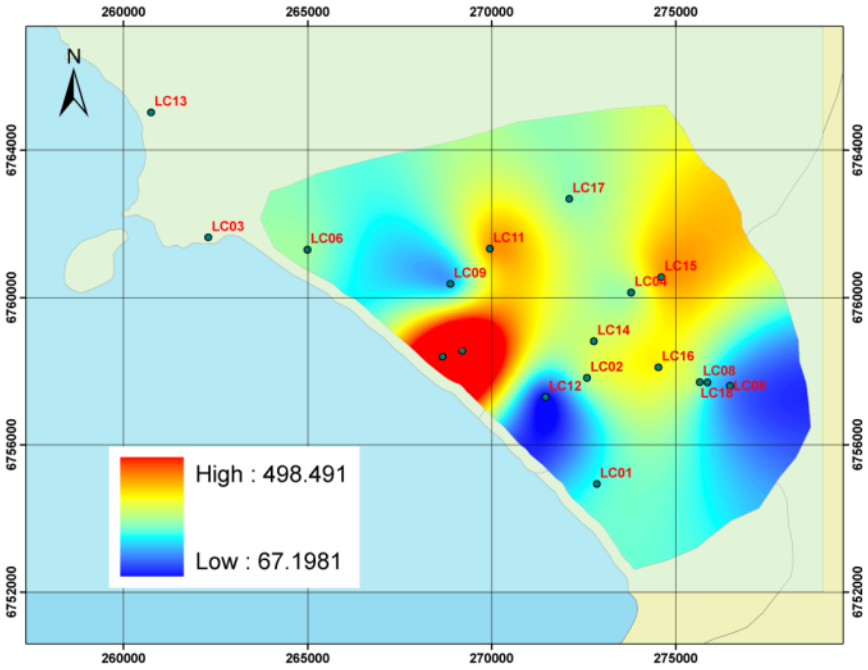


Figura 6.19: Interpolación de concentración (mg/L) de Ca en acuífero Los Choros.

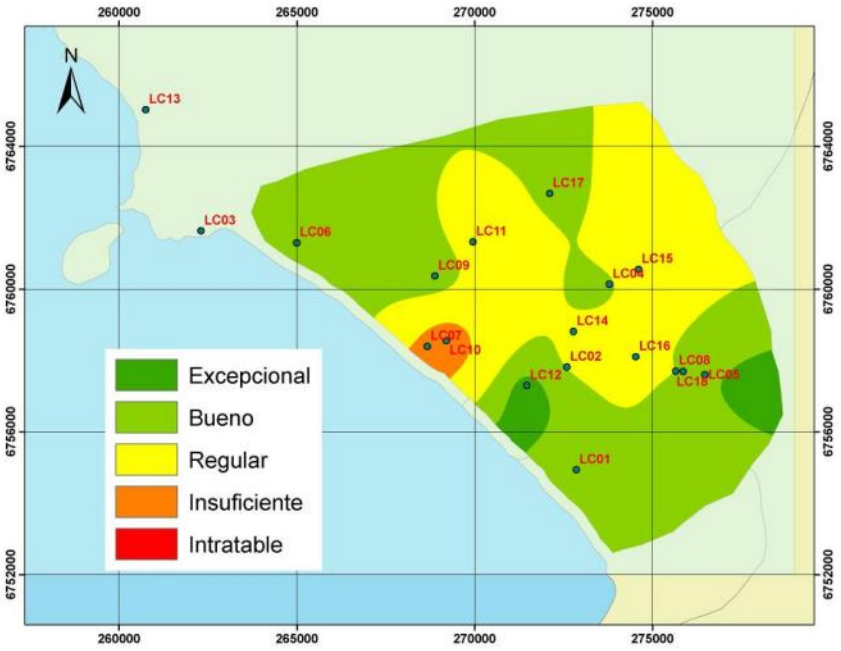


Figura 6.20: Índice calidad individual de Ca en acuífero Los Choros.

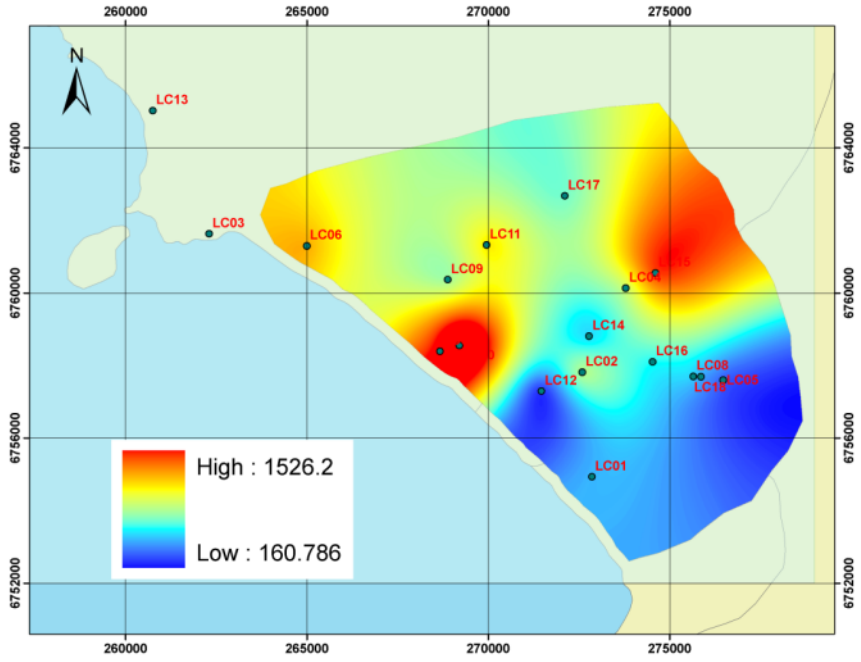


Figura 6.21: Interpolación de concentración (mg/L) de Cl en acuífero Los Choros.

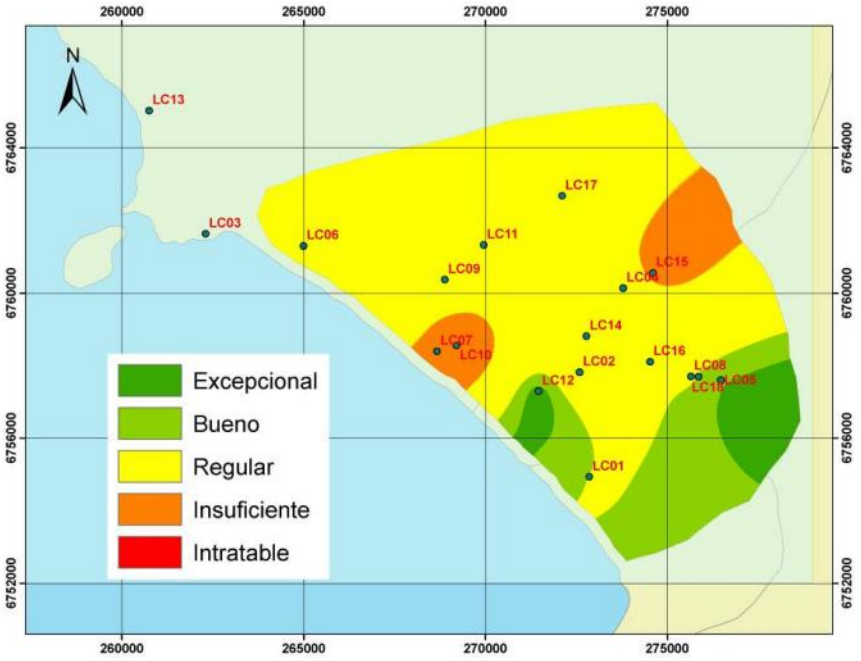


Figura 6.22: Índice calidad individual de Cl en acuífero Los Choros.

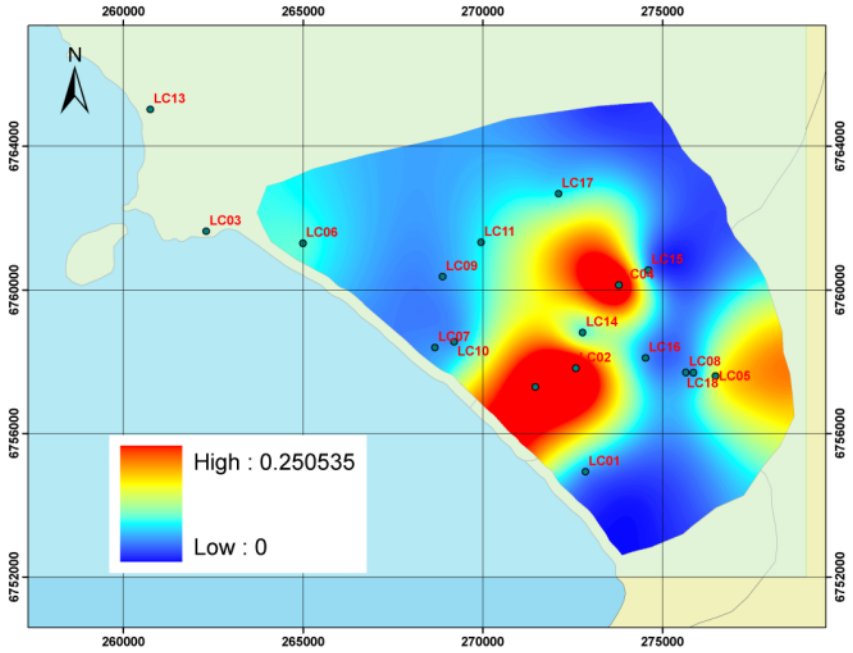


Figura 6.23: Interpolación de concentración (mg/L) de Fe en acuífero Los Choros.

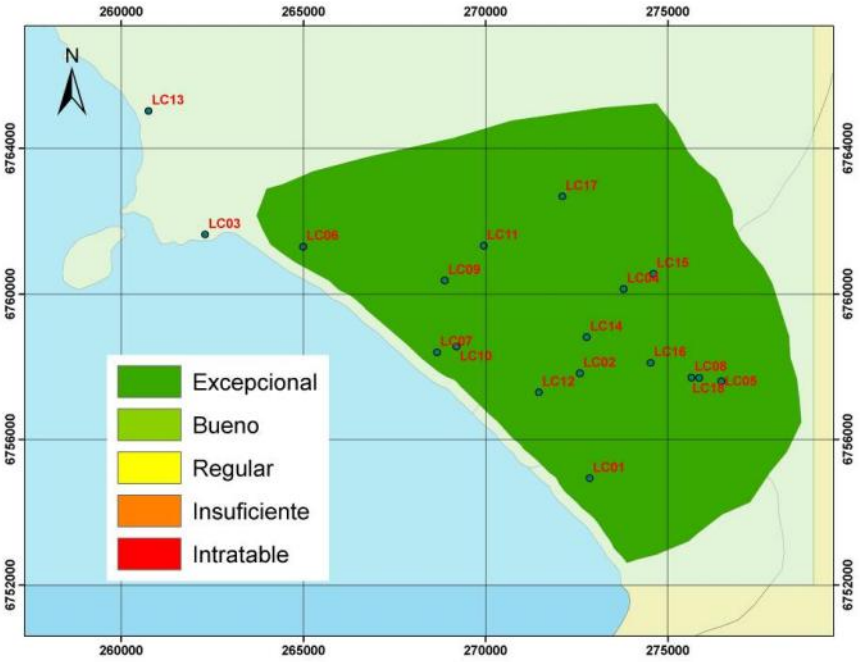


Figura 6.24: Índice calidad individual de Fe en acuífero Los Choros.

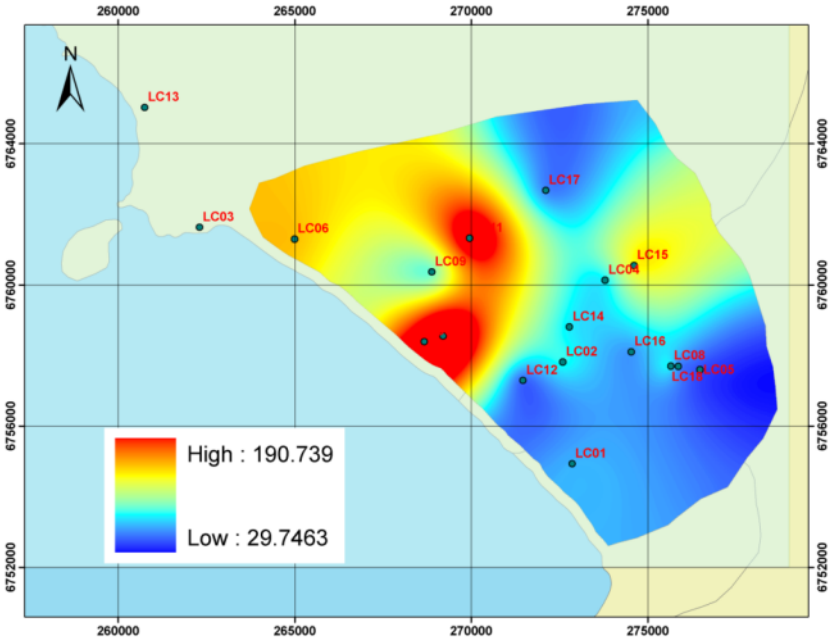


Figura 6.25: Interpolación de concentración (mg/L) de Mg en acuífero Los Choros.

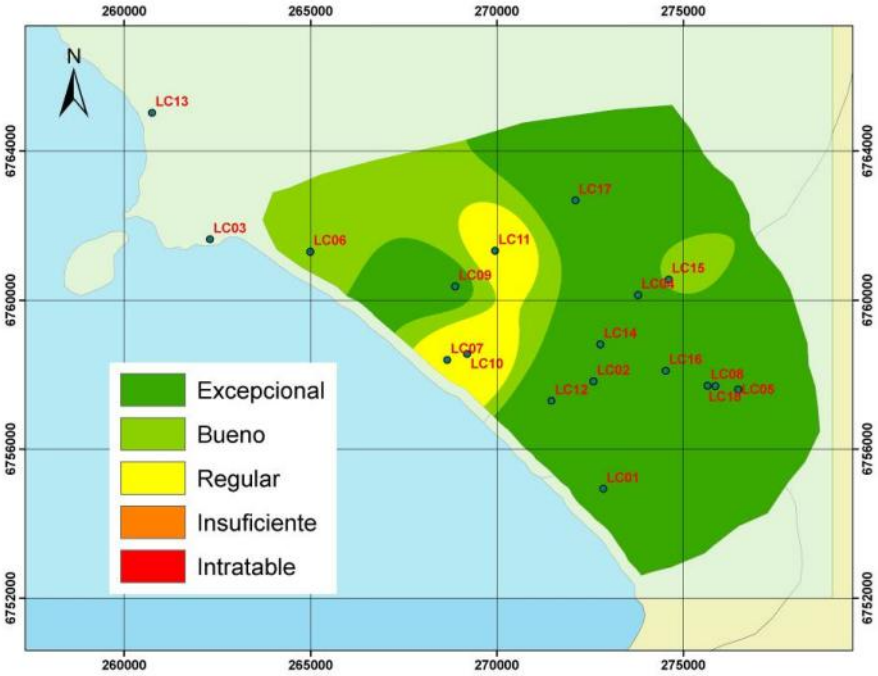


Figura 6.26: Índice calidad individual de Mg en acuífero Los Choros.

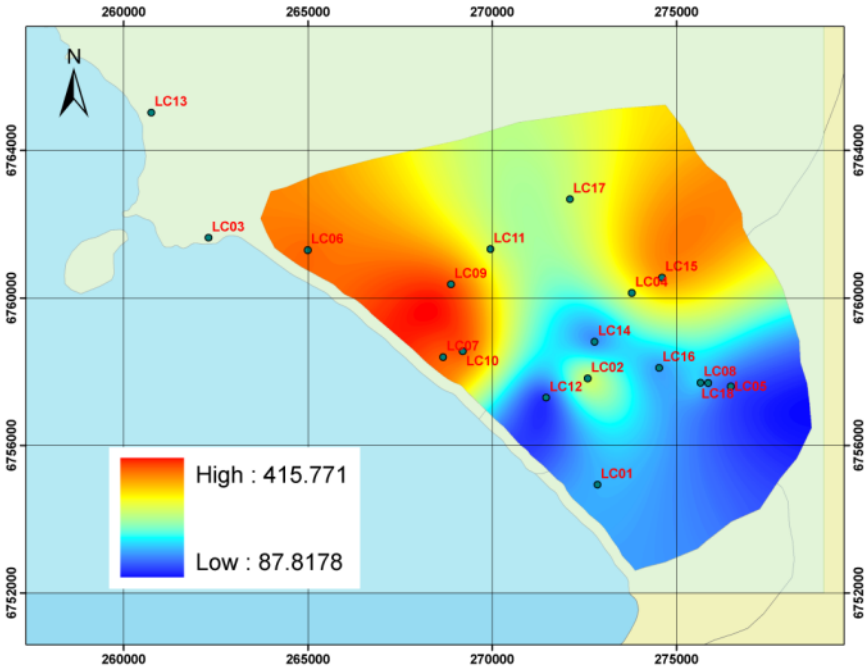


Figura 6.27: Interpolación de concentración (mg/L) de Na en acuífero Los Choros.

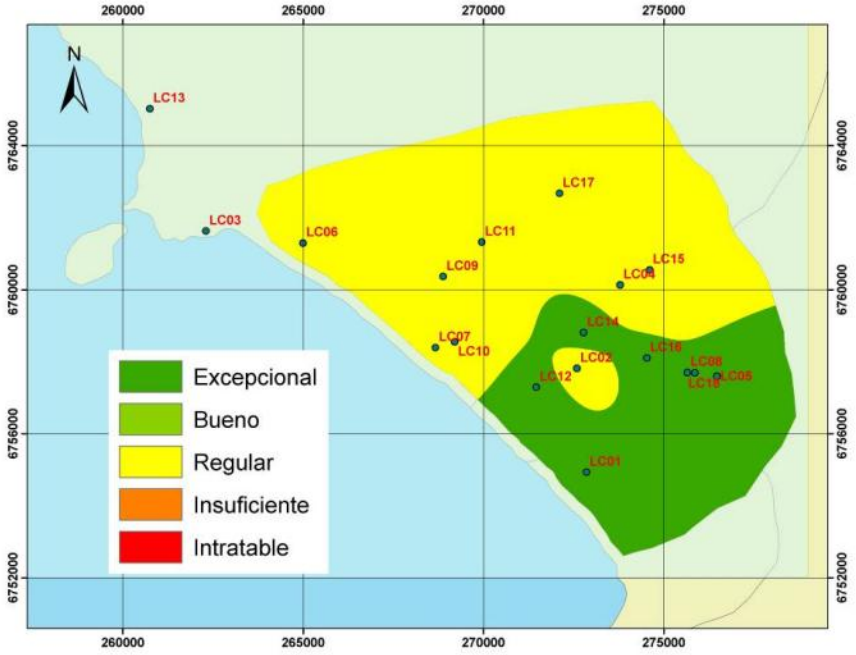


Figura 6.28: Índice calidad individual de Na en acuífero Los Choros.

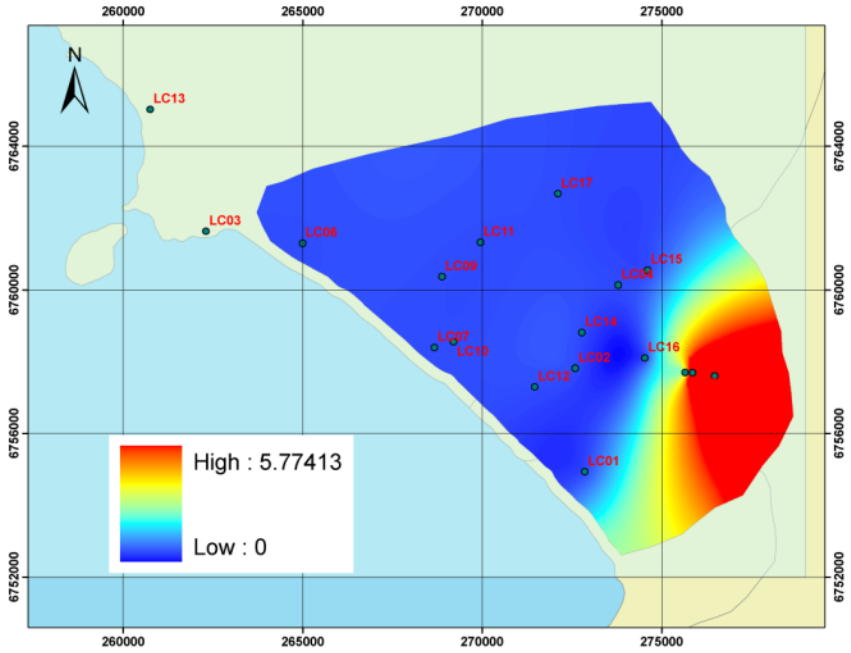


Figura 6.29: Interpolación de concentración (mg/L) de NO_3 en acuífero Los Choros.

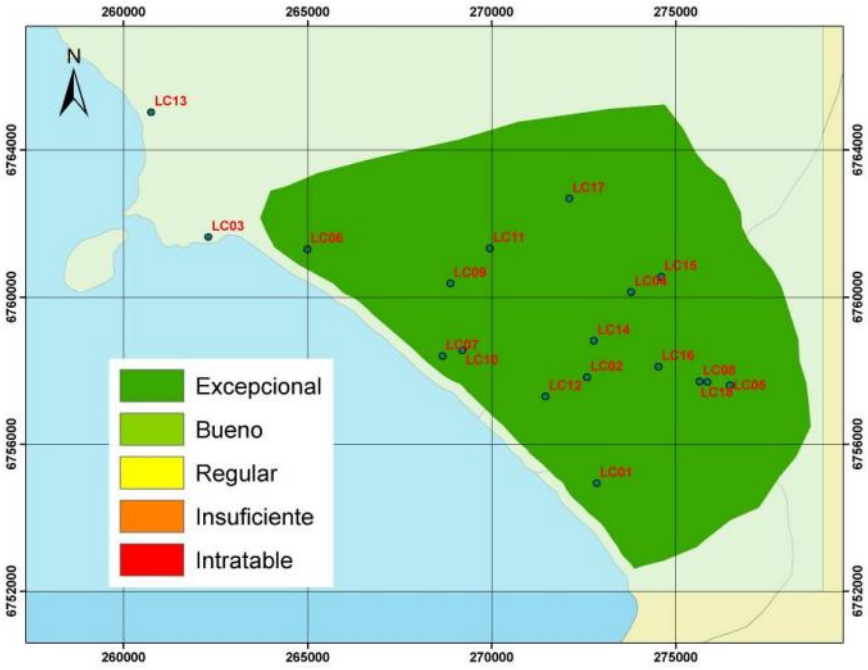


Figura 6.30: Índice calidad individual de NO_3 en acuífero Los Choros.

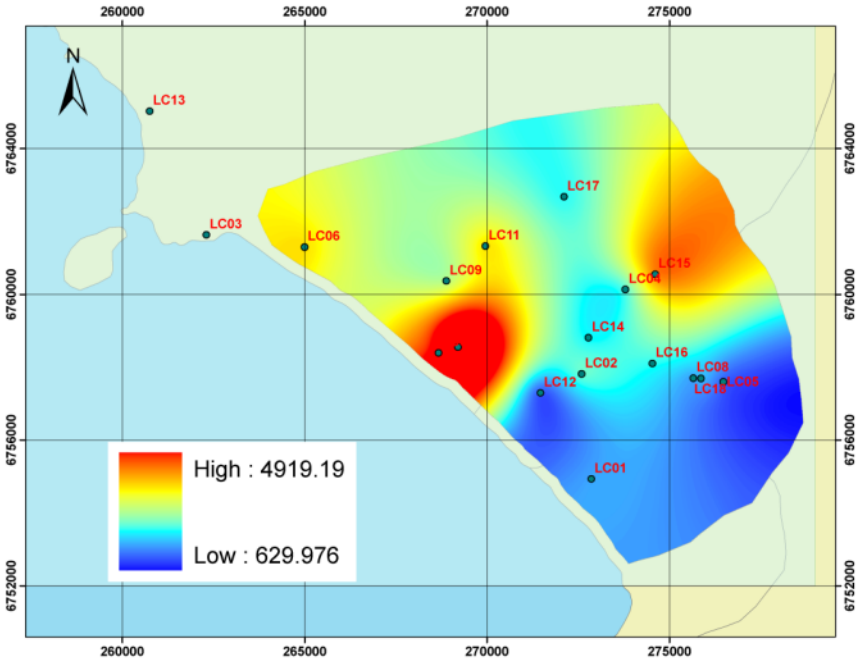


Figura 6.31: Interpolación de concentración (mg/L) de SDT en acuífero Los Choros.

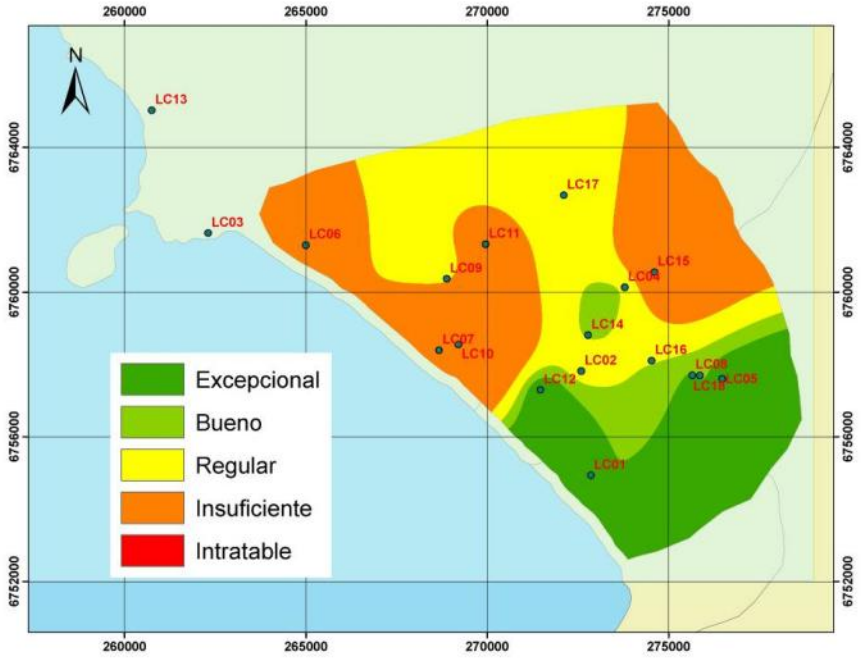


Figura 6.32: Índice calidad individual de SDT en acuífero Los Choros.

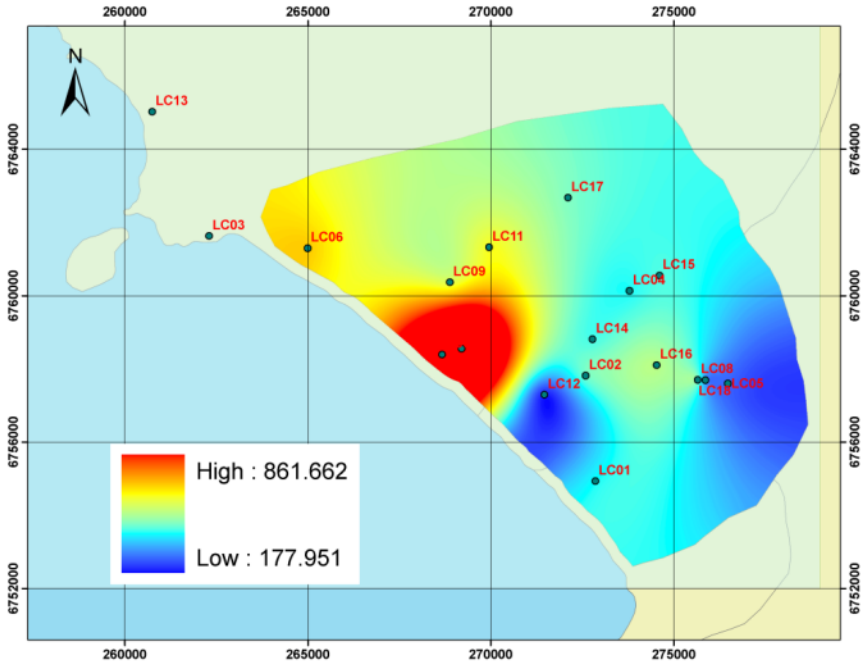


Figura 6.33: Interpolación de concentración (mg/L) de SO_4 en acuífero Los Choros.

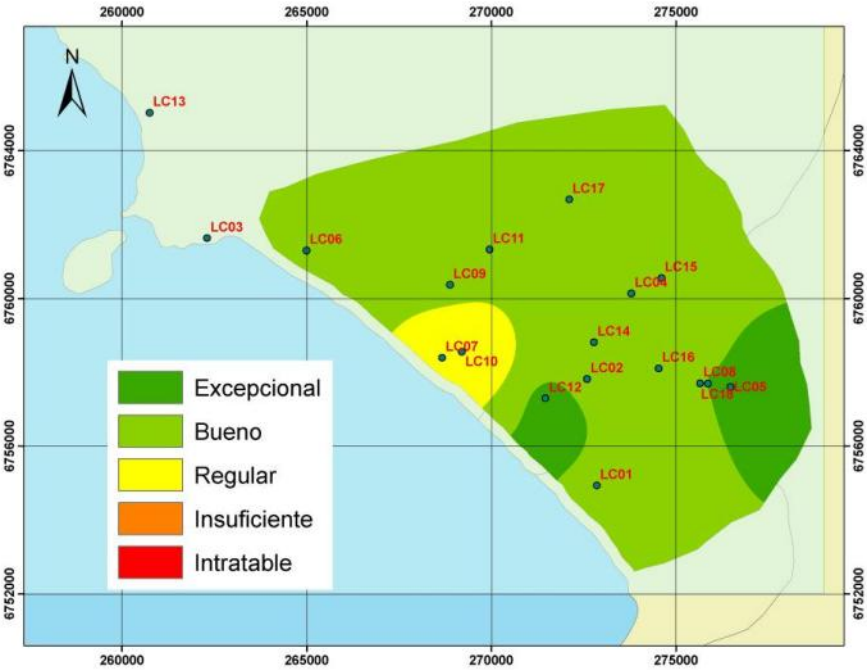


Figura 6.34: Índice calidad individual de SO_4 en acuífero Los Choros.

6.1.3 Sector acuífero Aconcagua

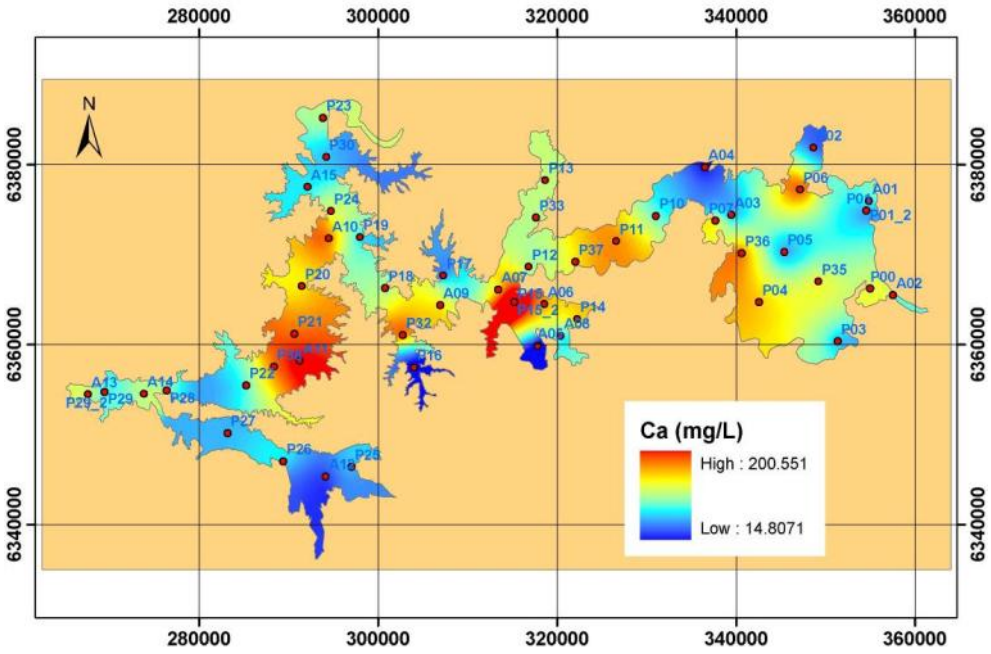


Figura 6.35: Interpolación de concentración (mg/L) de Ca en sector acuífero Aconcagua.

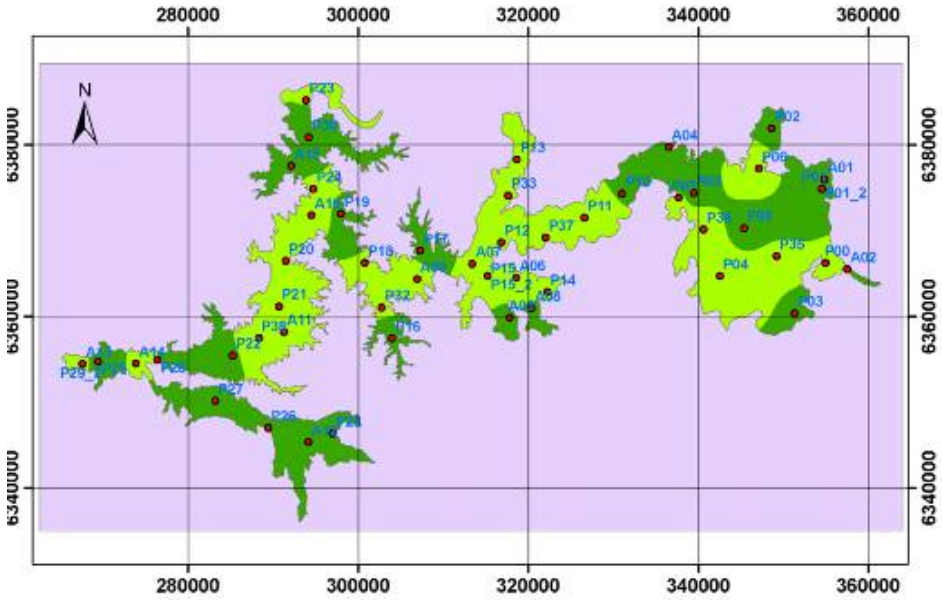


Figura 6.36: Índice de calidad individual de Ca en sector acuífero Aconcagua.

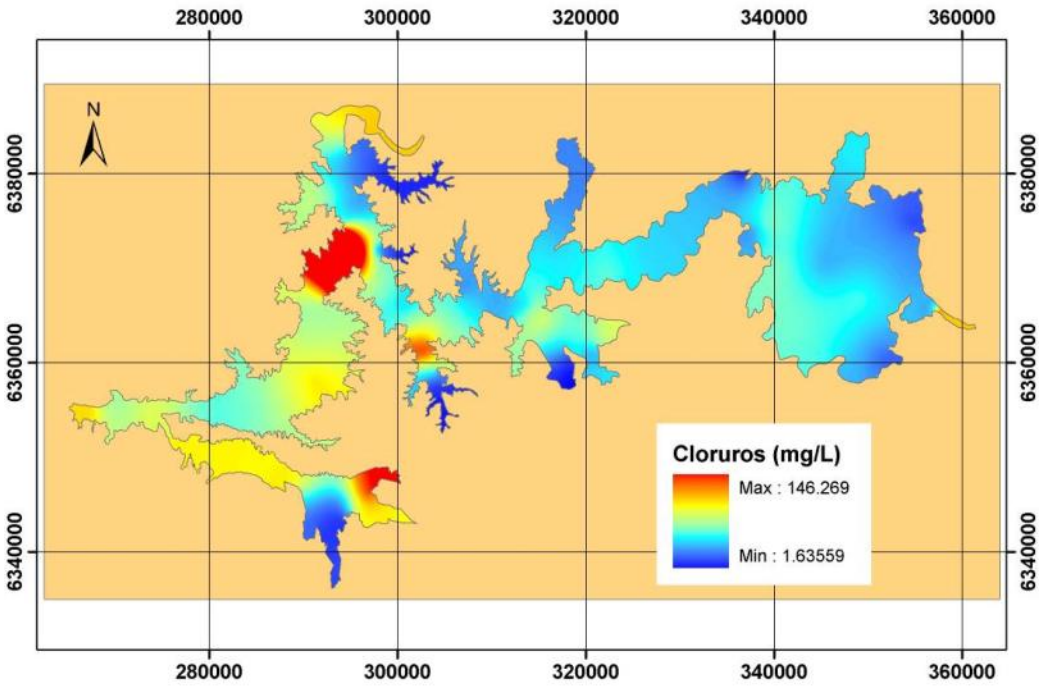


Figura 6.37: Interpolación de concentración (mg/L) de Cl en acuífero Aconcagua.

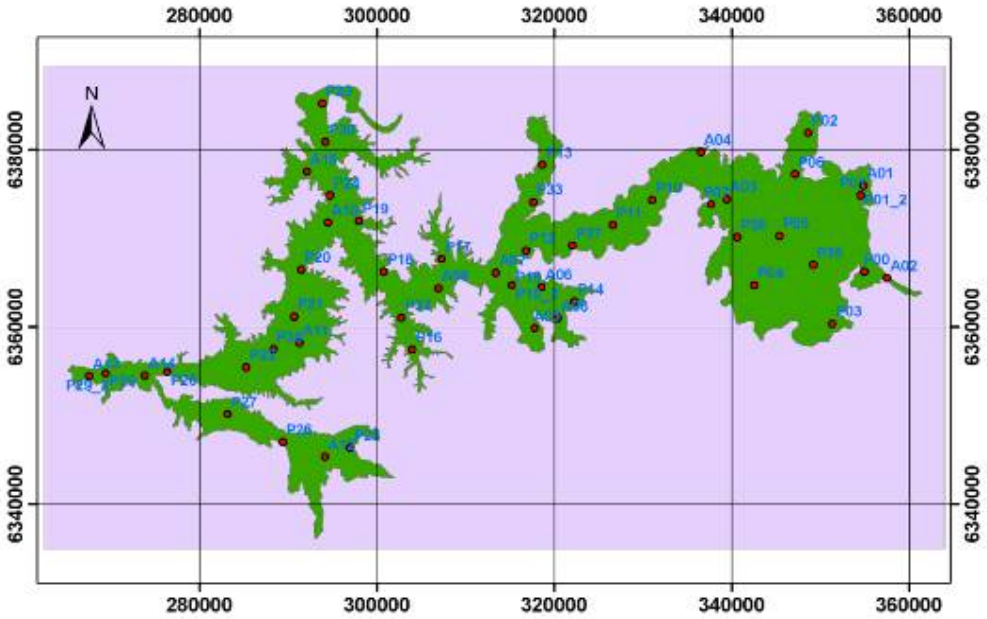


Figura 6.38: Índice de calidad individual de Cl en sector acuífero Aconcagua.

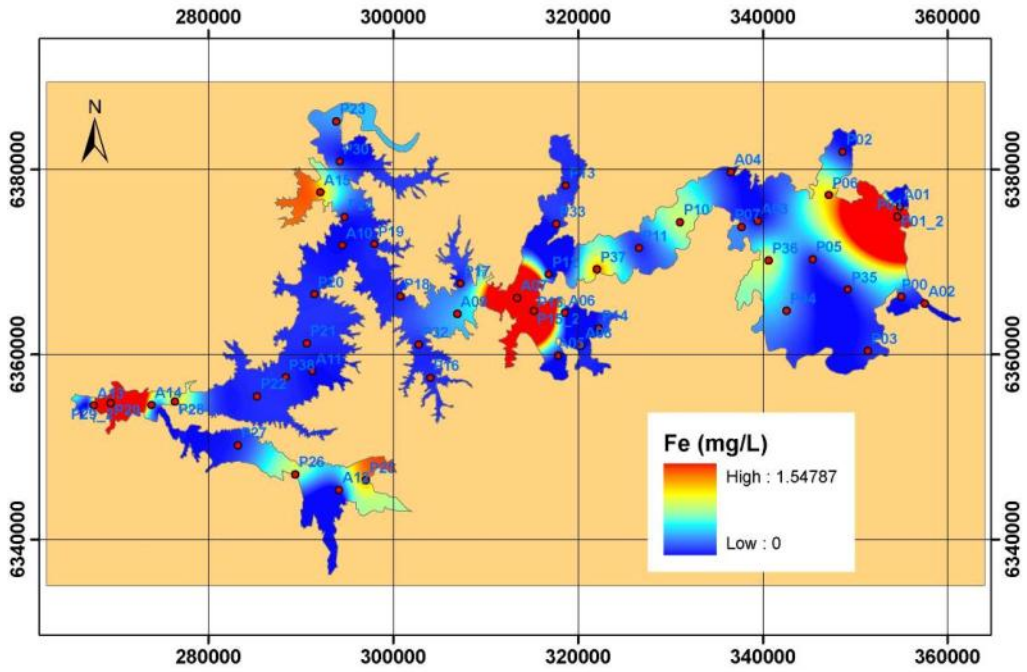


Figura 6.39: Interpolación de concentración (mg/L) de Fe en acuífero Aconcagua.

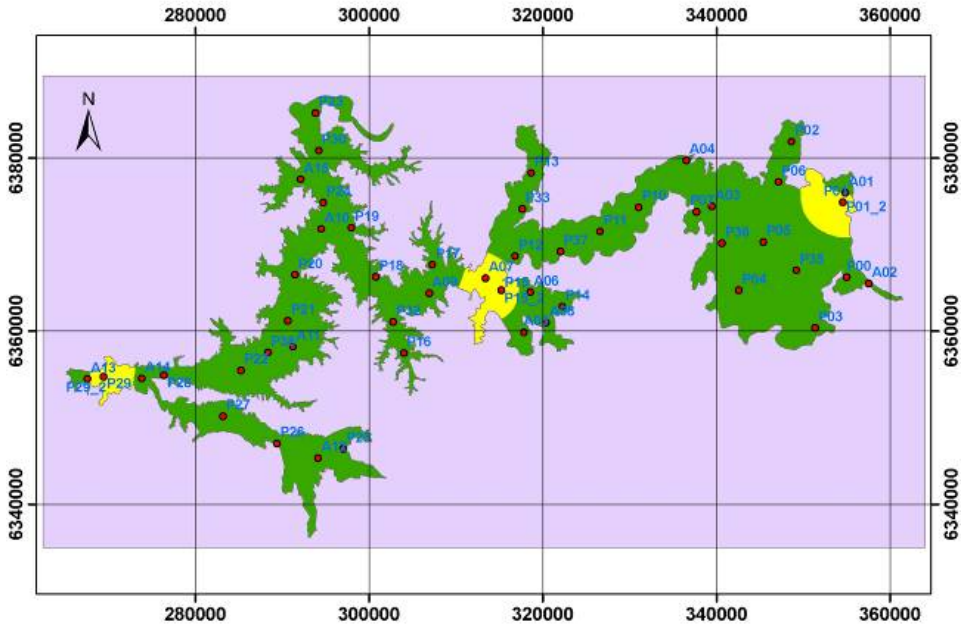


Figura 6.40: Índice de calidad individual de Fe en sector acuífero Aconcagua.

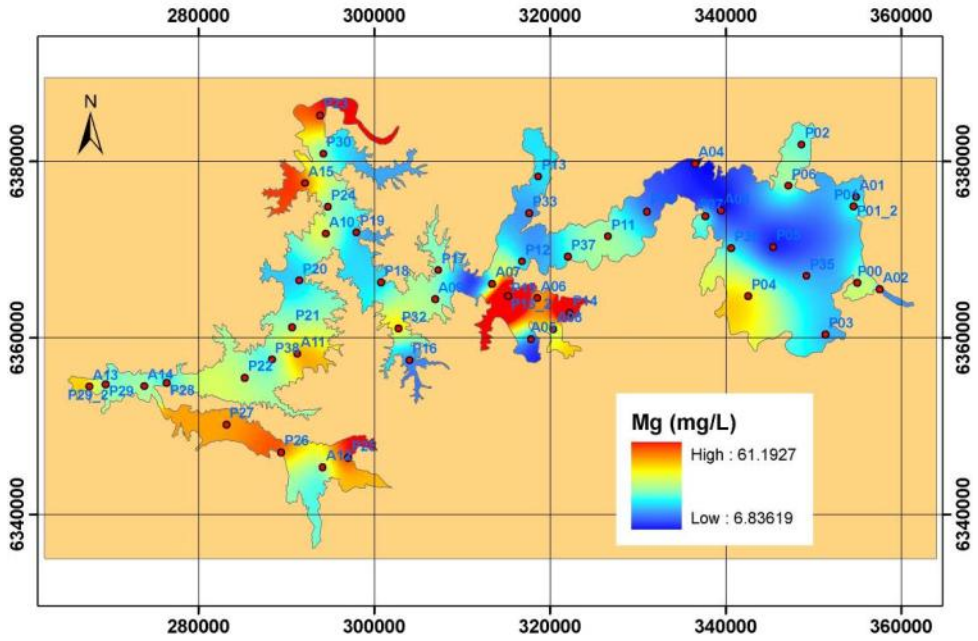


Figura 6.41: Interpolación de concentración (mg/L) de Mg en acuífero Aconcagua.

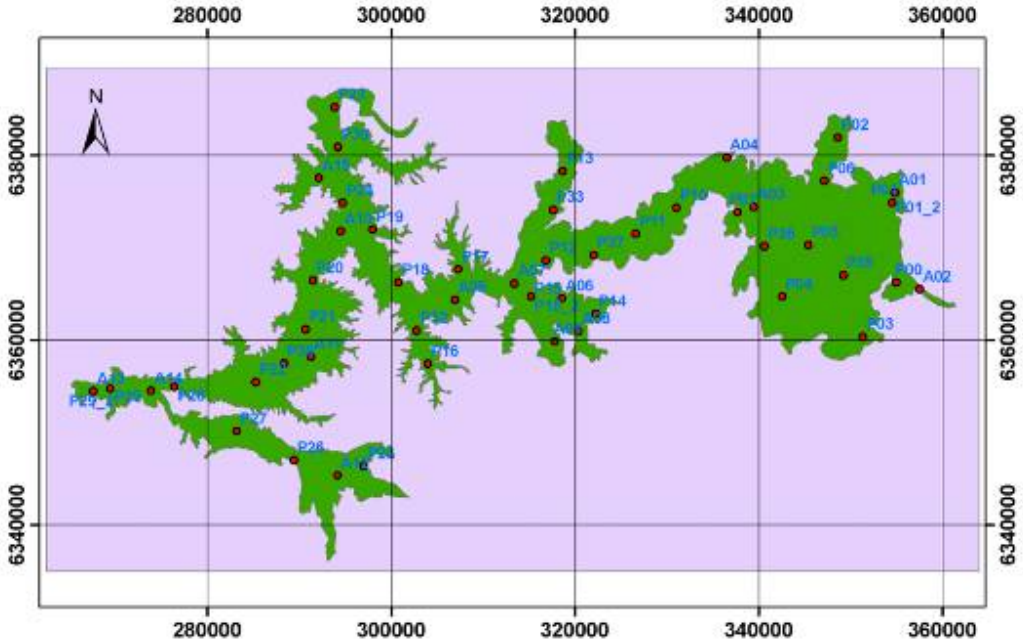


Figura 6.42: Índice de calidad individual de Mg en sector acuífero Aconcagua.

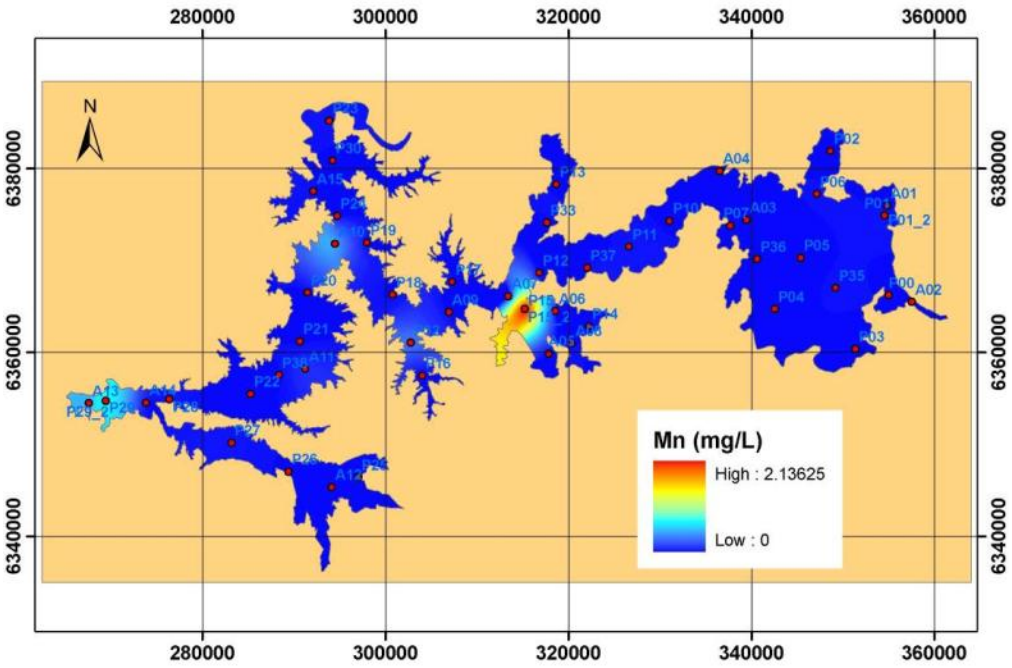


Figura 6.43: Interpolación de concentración (mg/L) de Mn en acuífero Aconcagua.

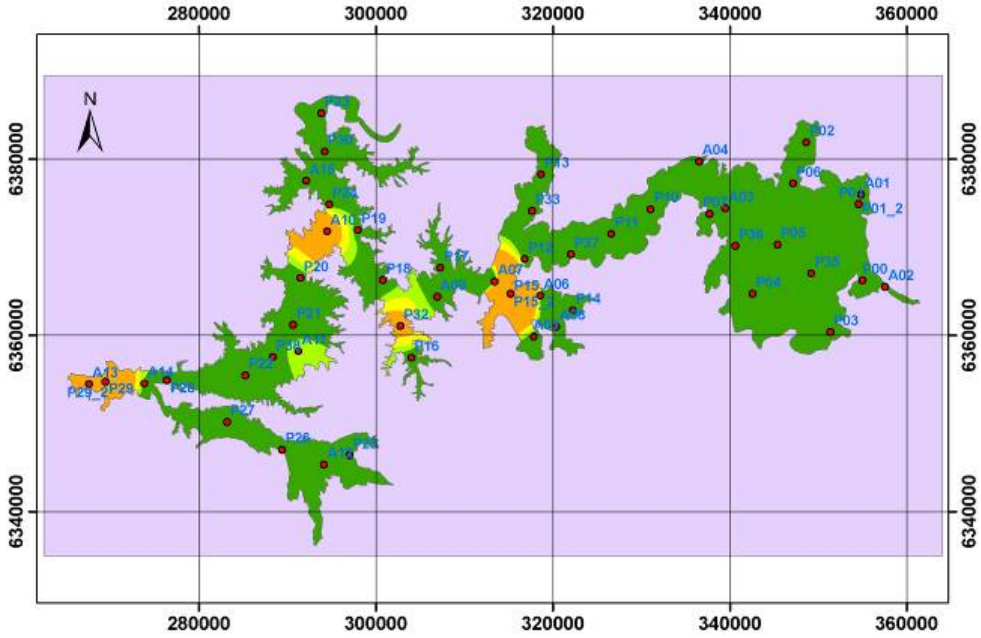


Figura 6.44: Índice de calidad individual de Mn en sector acuífero Aconcagua.

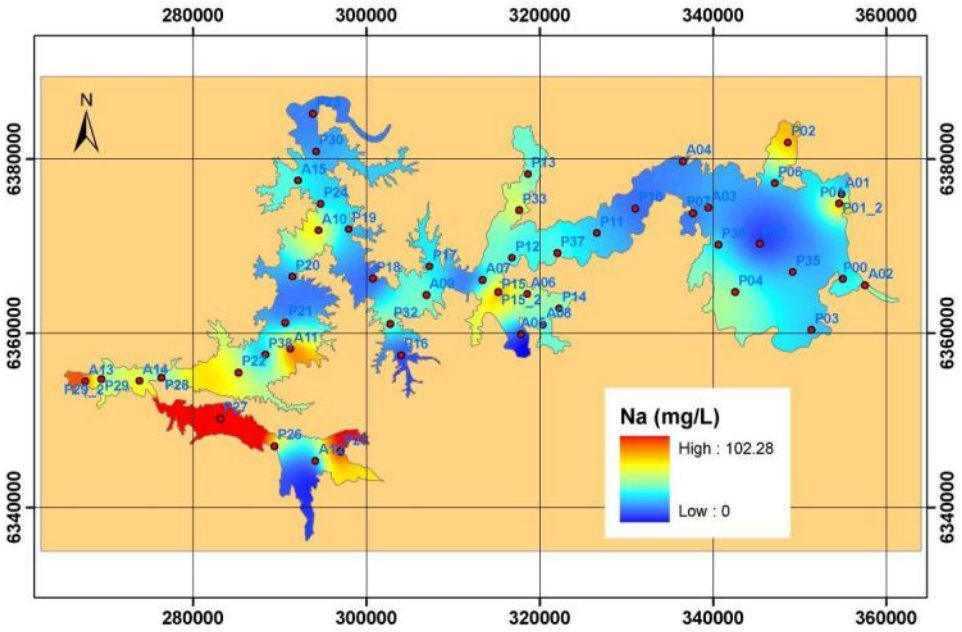


Figura 6.45: Interpolación de concentración (mg/L) de Na en acuífero Aconcagua.

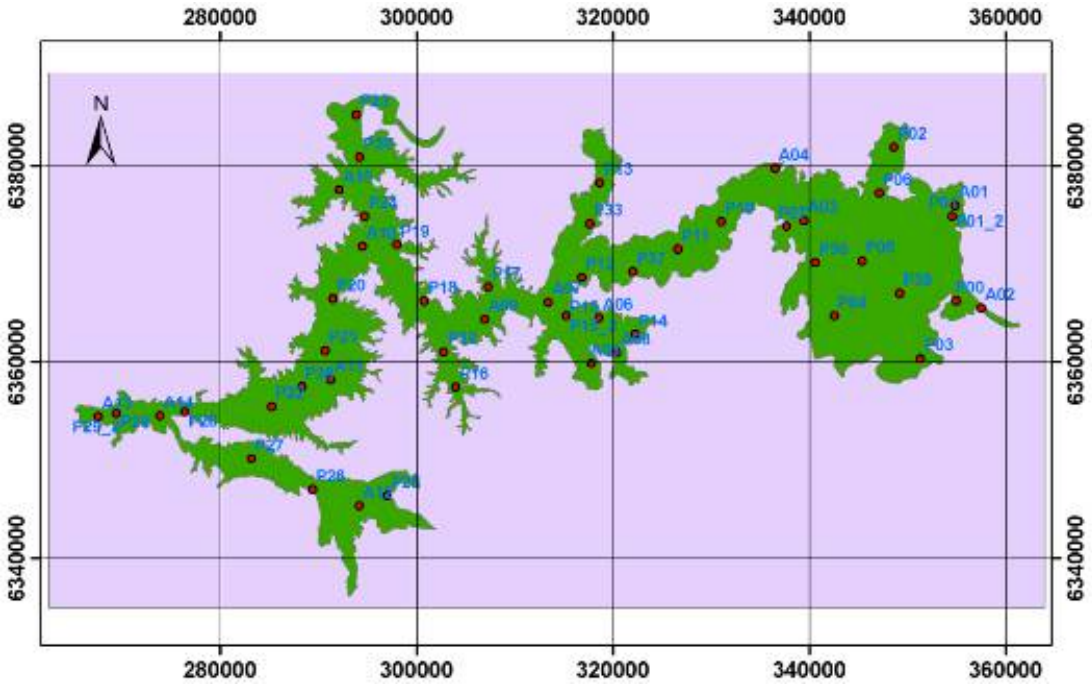


Figura 6.46: Índice de calidad individual de Na en sector acuífero Aconcagua.

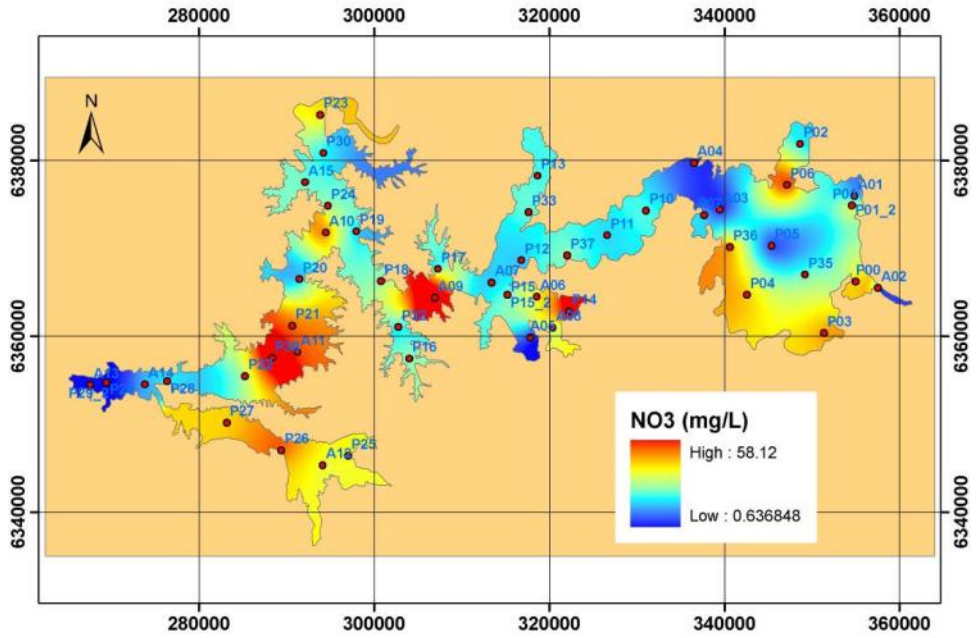


Figura 6.47: Interpolación de concentración (mg/L) de NO_3 en acuífero Aconcagua.

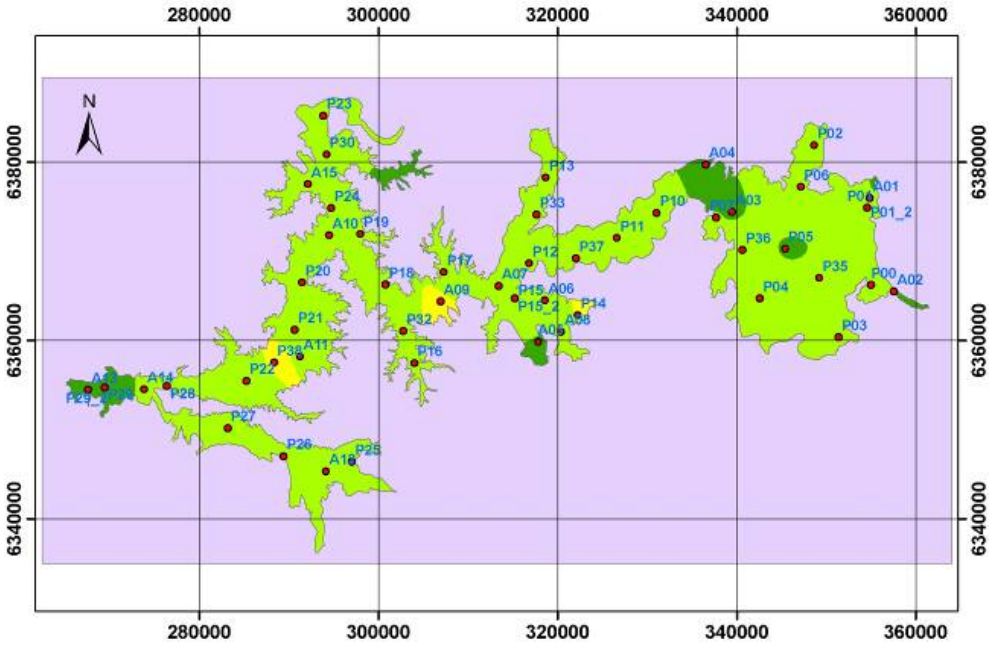


Figura 6.48: Índice de calidad individual de NO_3 en sector acuífero Aconcagua.

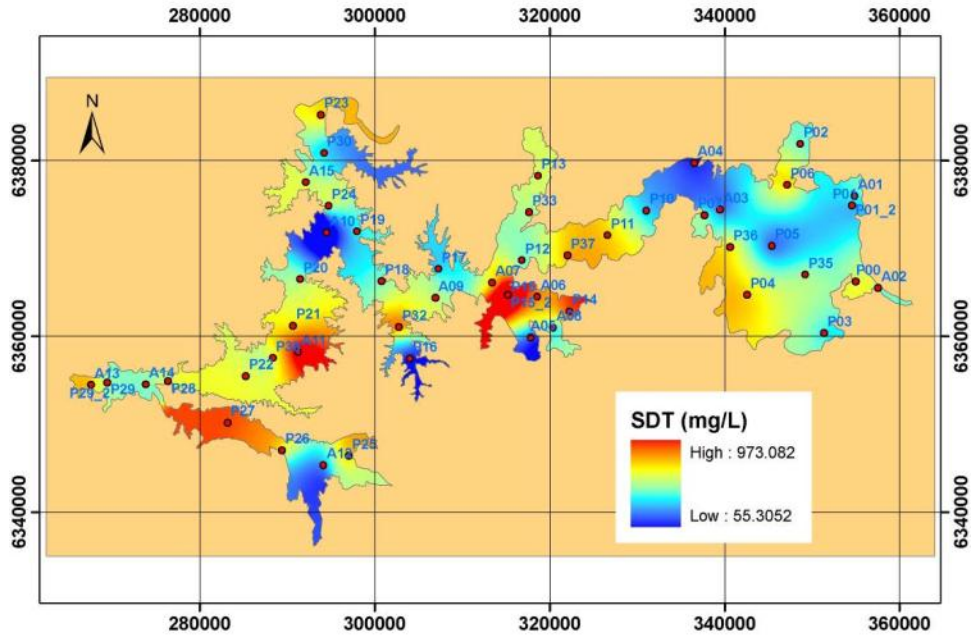


Figura 6.49: Interpolación de concentración (mg/L) de SDT en acuífero Aconcagua.

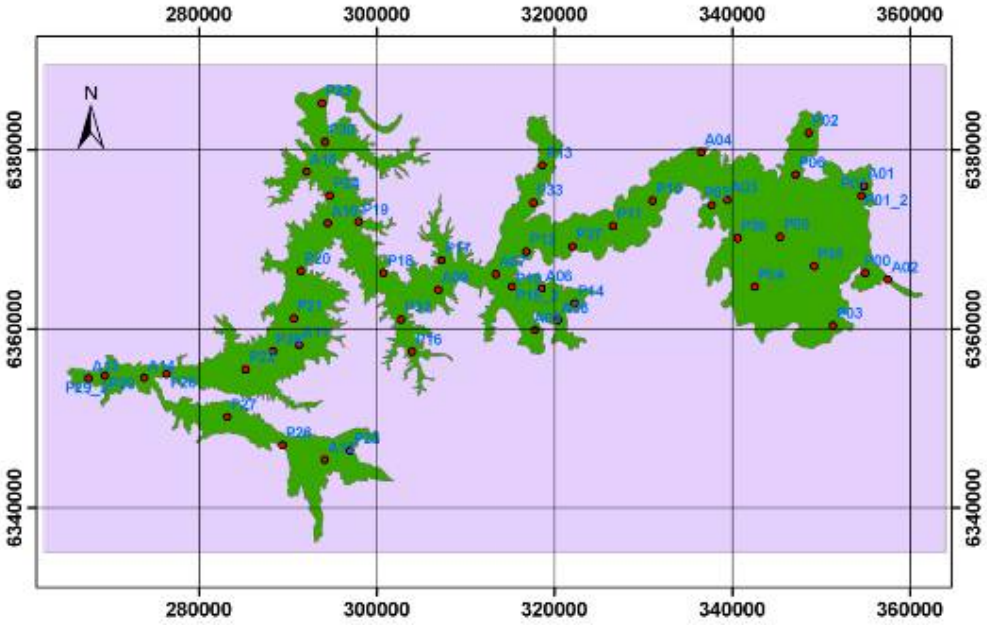


Figura 6.50: Índice de calidad individual de SDT en sector acuífero Aconcagua.

6.2 Gráficos Biplot-variables del análisis estadístico ACP

6.2.1 Sector acuífero El Loa

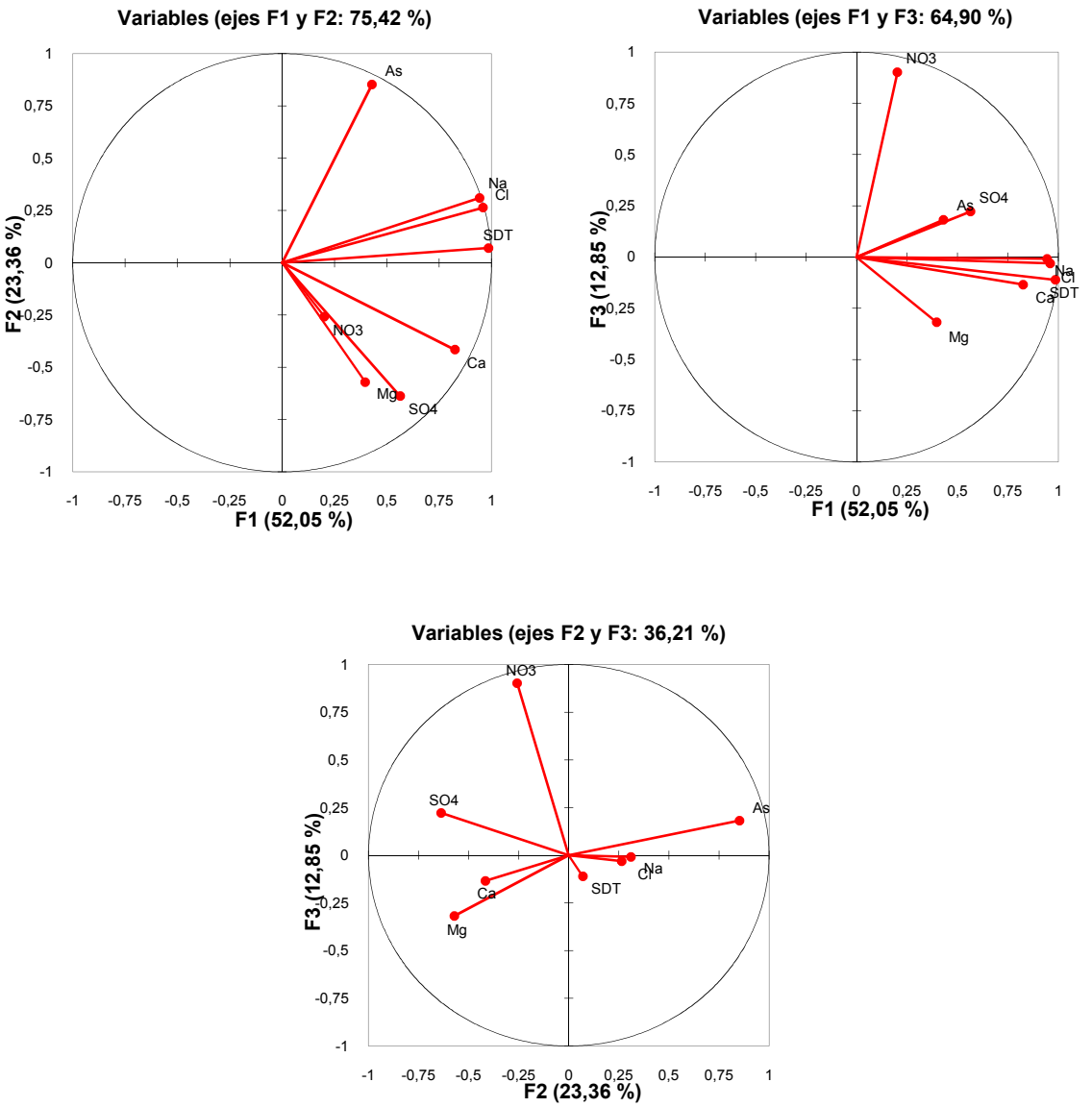


Figura 6.51: Gráfico Biplot-variables sin rotación, factores 1, 2 y 3, sector acuífero El Loa.

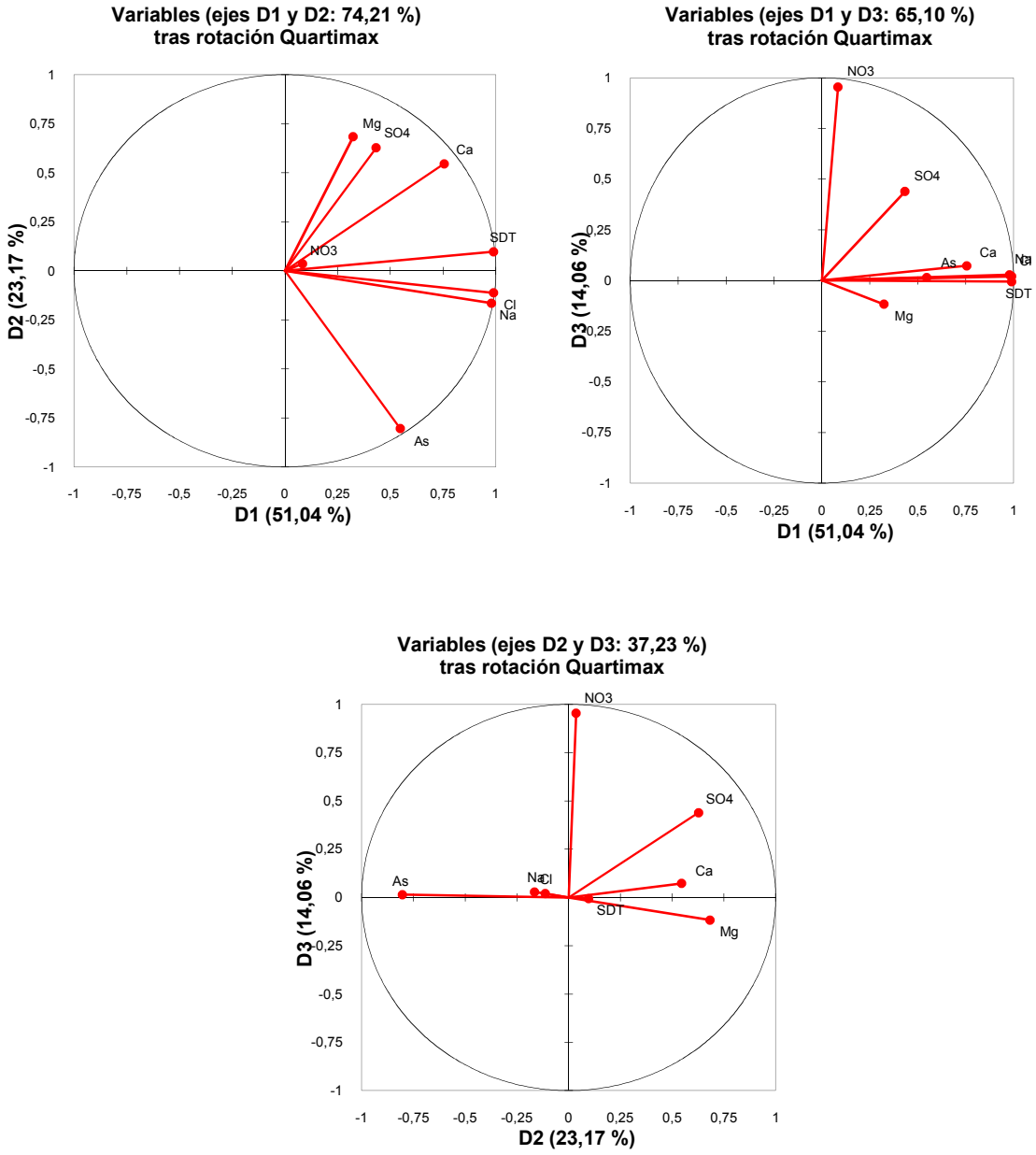


Figura 6.52: Gráfico Biplot-variables con rotación ortogonal, factores 1, 2 y 3, sector acuífero El Loa.

6.2.2 Sector acuífero Los Choros

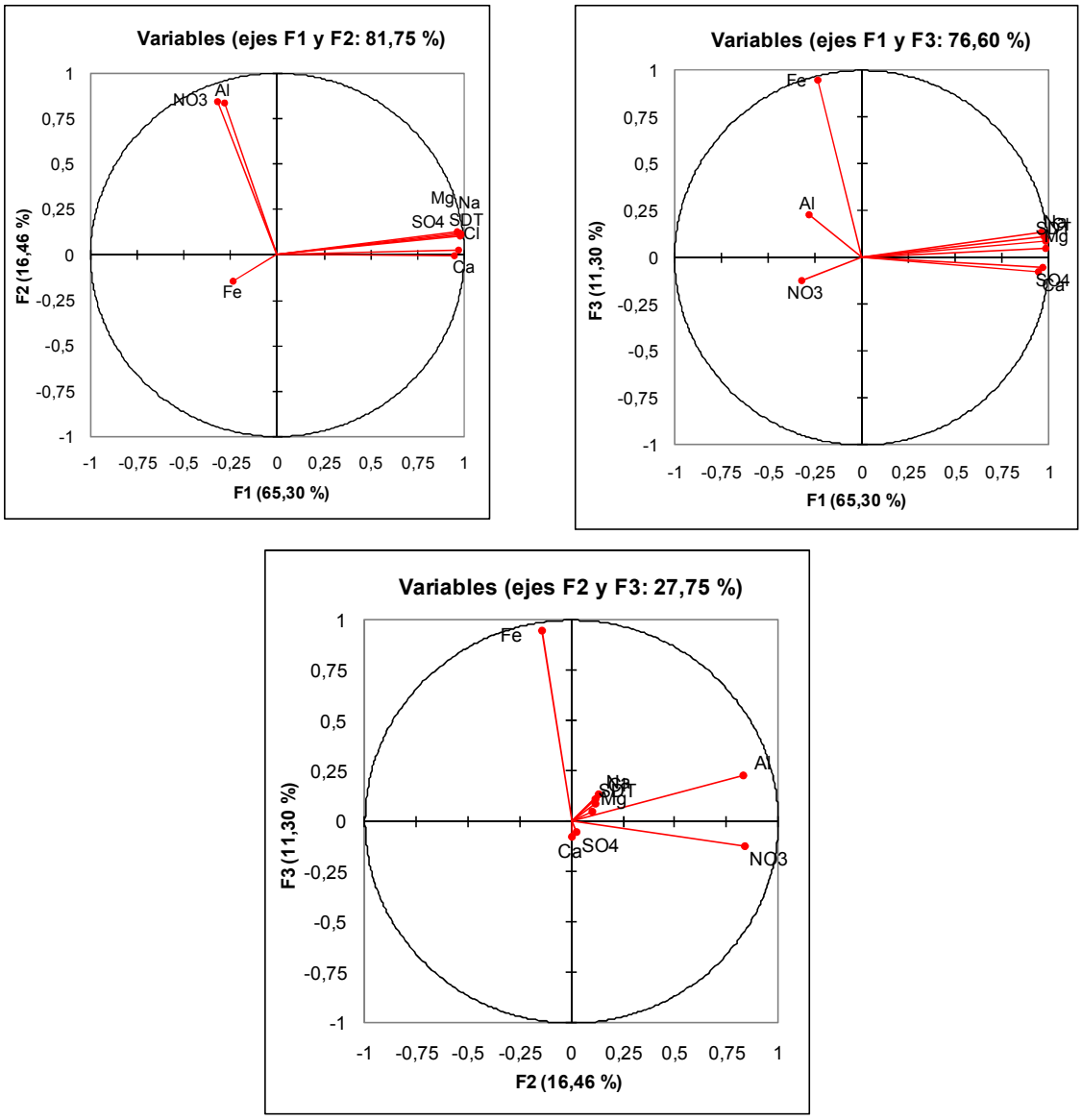


Figura 6.53: Gráfico Biplot-variables sin rotación ortogonal, factores 1, 2 y 3, sector acuífero Los Choros.

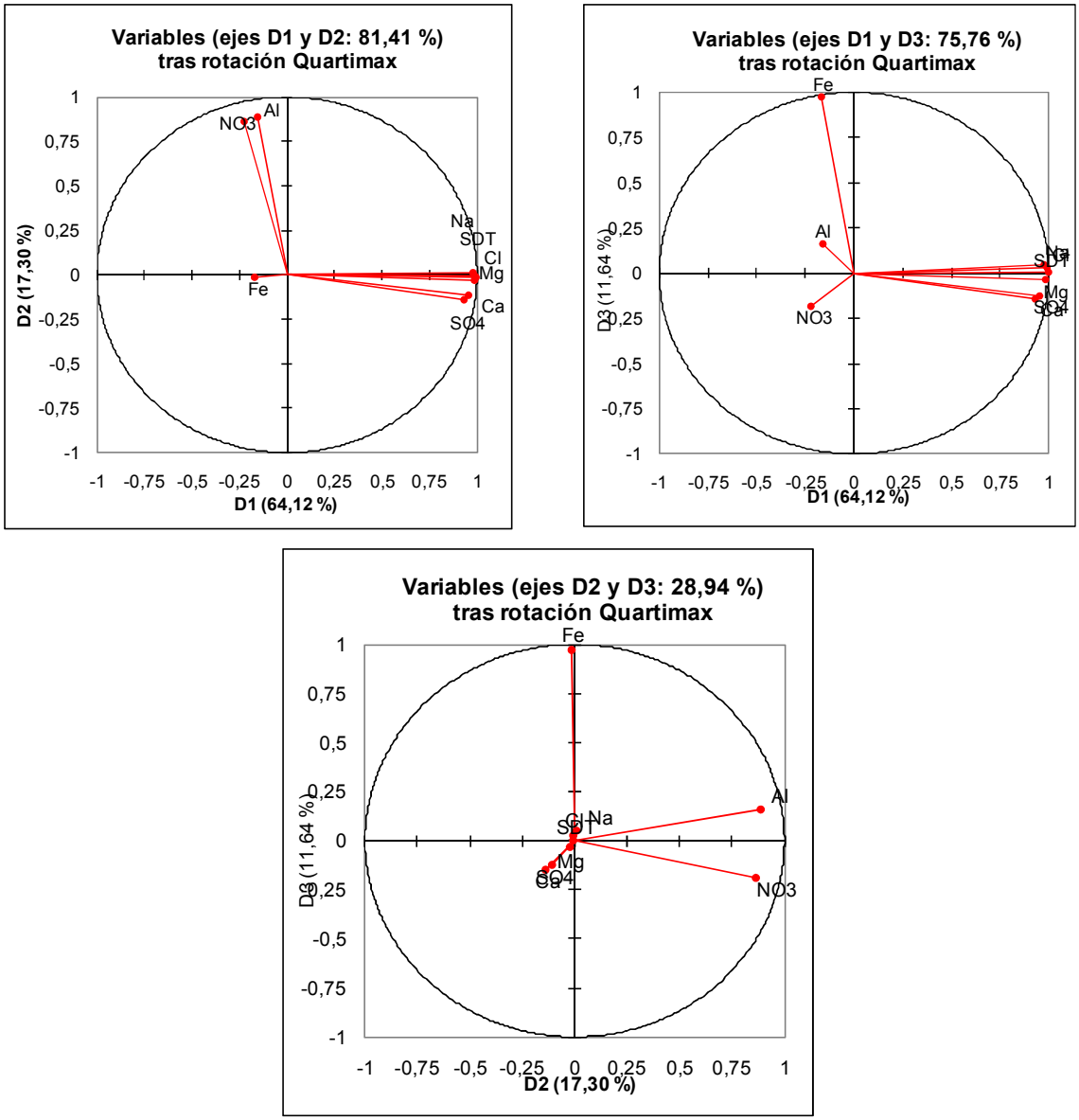


Figura 6.54: Gráfico Biplot-variables con rotación ortogonal, factores 1, 2 y 3, sector acuífero Los Choros.

6.2.3 Sector acuífero Aconcagua

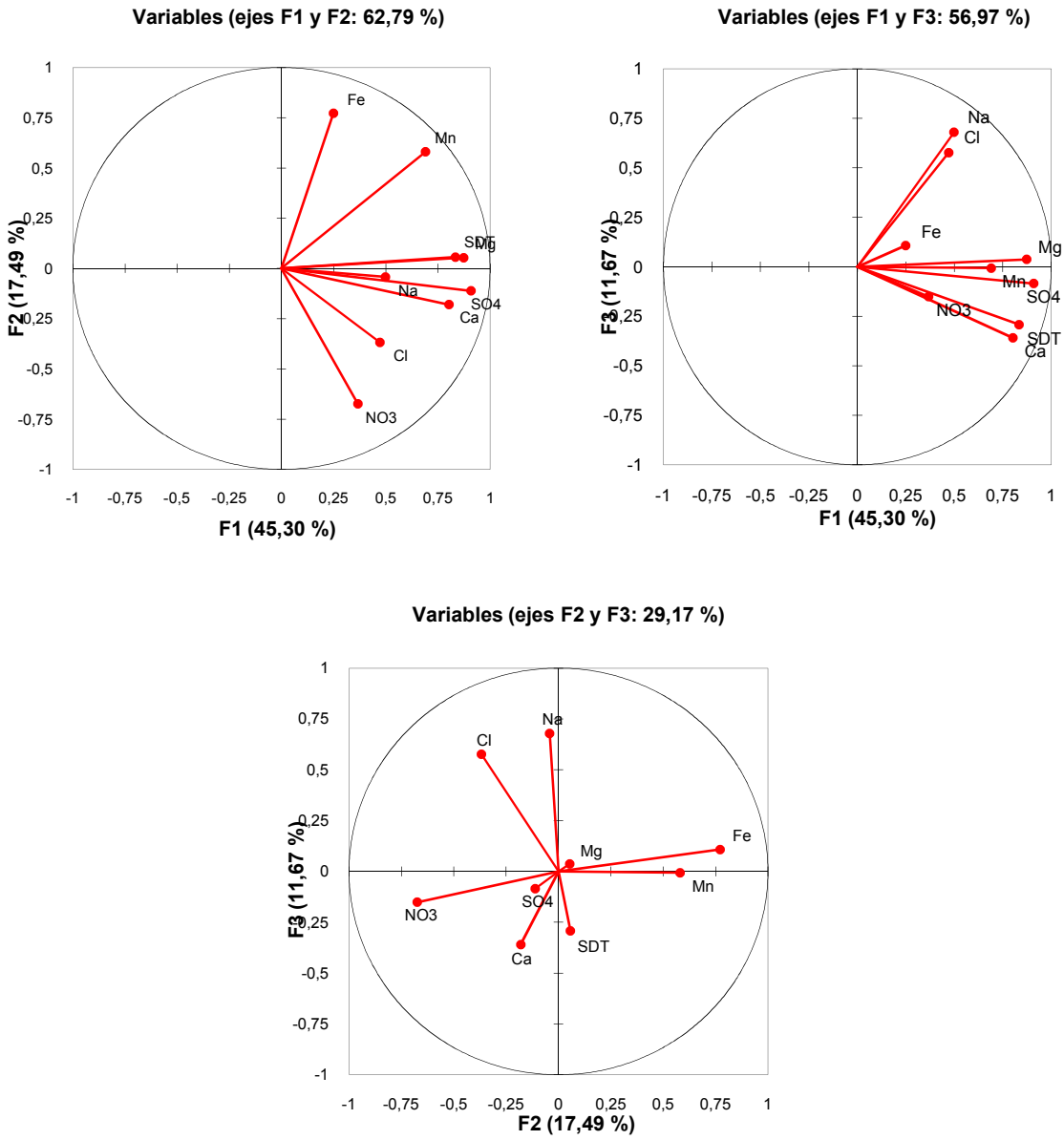


Figura 6.55: Gráfico Biplot-variables sin rotación ortogonal, factores 1, 2 y 3, sector acuífero Aconcagua.

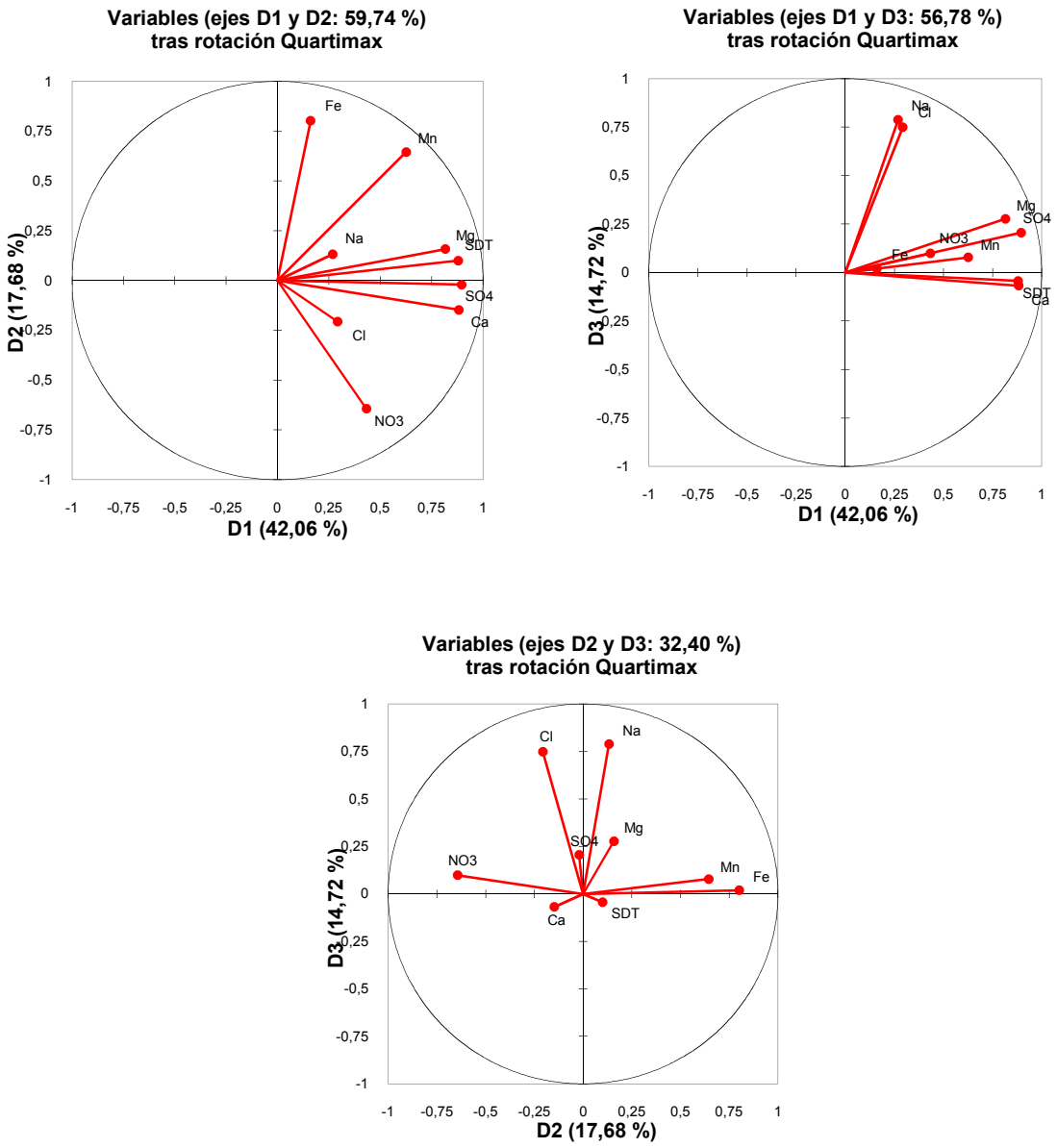


Figura 6.56: Gráfico Biplot-variables con rotación ortogonal, factores 1, 2 y 3, sector acuífero Aconcagua.

6.3 Output de programa XLSTAT para Análisis de componentes principales

6.3.1 Sector acuífero El Loa

XLSTAT 2009.2.03 - Análisis de Componentes Principales (ACP) - el 15-04-2009 a 16:41:24
Tabla observaciones/variables: Libro = Base Datos El Loa.xls / Hoja = Superior / Rango = Superior!$E$7:$L$45 / 38 filas y 8 columnas
Tipo de ACP: Pearson (n)
Rotación: Quartimax / Número de factores = 3
Tipo de biplot: Biplot de correlación / Coeficiente = Automático

Estadísticas descriptivas

Estadísticas descriptivas:

Variable	Observaciones	Obs. con datos perdidos	Obs. sin datos perdidos	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
SDT	38	0	38	328,000	13900,000	4945,789	2844,268
Cl	38	0	38	9,986	7749,016	2113,728	1471,003
SO4	38	0	38	10,006	483,302	259,260	141,046
Ca	38	0	38	34,783	1009,496	330,906	197,326
Na	38	0	38	4,998	3998,191	1095,194	748,988
Mg	38	0	38	10,210	153,063	68,878	42,802
NO3	38	0	38	0,001	19,200	3,728	5,161
As	38	0	38	0,000	29,010	2,003	5,125

Matriz de correlación (Pearson (n)):

Variables	SDT	Cl	SO4	Ca	Na	Mg	NO3	As
SDT	**1**	**0,968**	**0,461**	**0,812**	**0,953**	**0,379**	0,091	**0,448**
Cl	**0,968**	**1**	**0,342**	**0,677**	**0,991**	0,264	0,112	**0,625**
SO4	**0,461**	**0,342**	**1**	**0,723**	**0,321**	**0,328**	**0,349**	-0,232
Ca	**0,812**	**0,677**	**0,723**	**1**	**0,634**	**0,420**	0,111	-0,075
Na	**0,953**	**0,991**	**0,321**	**0,634**	**1**	0,217	0,111	**0,659**
Mg	**0,379**	0,264	**0,328**	**0,420**	0,217	**1**	0,089	-0,296
NO3	0,091	0,112	**0,349**	0,111	0,111	0,089	**1**	0,030
As	**0,448**	**0,625**	-0,232	-0,075	**0,659**	-0,296	0,030	**1**

Los valores en negrita son diferentes de 0 con un nivel de significación alfa=0,05

Prueba de esfericidad de Bartlett:

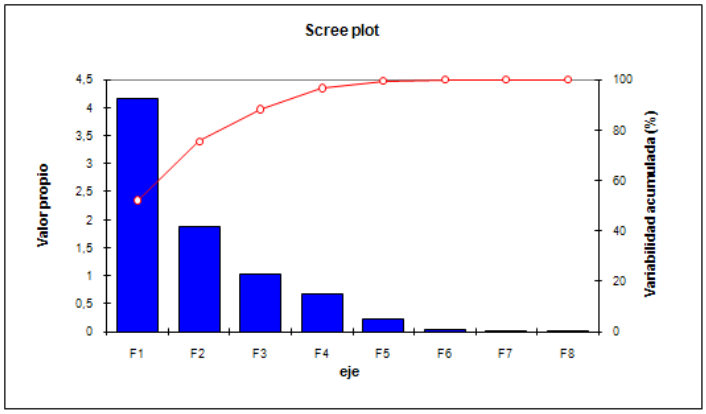
Chi-cuadrado ajustado (Valor observado)	445,056
Chi-cuadrado ajustado (Valor crítico)	41,337
GDL	28
p-valor	< 0,0001
alfa	0,05

Interpretación de la prueba:
H0: No hay ninguna correlación significativamente diferente de 0 entre las variables.
H1: Al menos una de las correlaciones entre las variables es significativamente diferente de 0.
Como el p-valor computado es menor que el nivel de significación alfa=0,05, se debe rechazar la hipótesis nula H0, y aceptar la hipótesis alternativa Ha.
El riesgo de rechazar la hipótesis nula H0 cuando es verdadera es menor que 0,01%.

Análisis de Componentes Principales:

Valores propios:

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
Valor propio	4,164	1,869	1,028	0,672	0,217	0,037	0,008	0,005
Variabilidad (%)	52,055	23,364	12,848	8,398	2,714	0,461	0,098	0,063
% acumulado	52,055	75,419	88,267	96,664	99,378	99,839	99,937	100,000



Vectores propios:

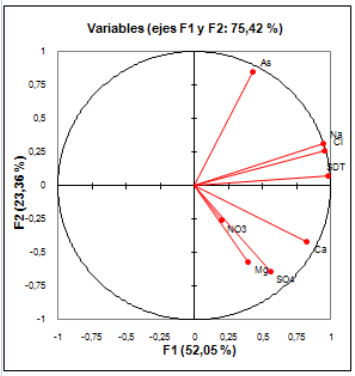
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
SDT	0,483	0,051	-0,110	0,005	-0,162	-0,066	0,808	-0,262
Cl	0,470	0,193	-0,031	0,054	-0,059	-0,194	-0,534	-0,642
SO4	0,276	-0,466	0,219	-0,432	0,683	-0,057	0,015	-0,042
Ca	0,404	-0,304	-0,133	-0,320	-0,465	0,556	-0,210	0,234
Na	0,462	0,227	-0,008	0,039	-0,005	-0,523	-0,119	0,668
Mg	0,194	-0,417	-0,314	0,773	0,244	0,155	-0,052	0,072
NO3	0,099	-0,188	0,889	0,314	-0,254	0,013	0,022	0,001
As	0,210	0,624	0,179	0,102	0,404	0,591	0,022	0,108

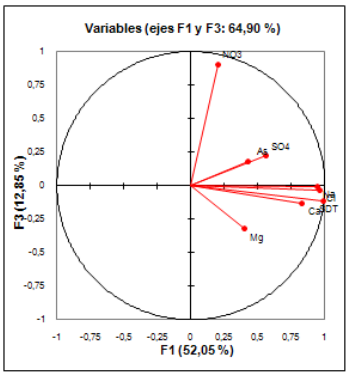
Carga factorial:

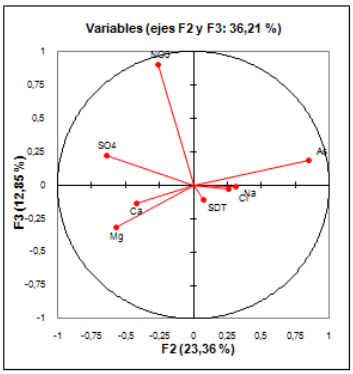
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
SDT	0,986	0,070	-0,111	0,004	-0,075	-0,013	0,072	-0,019
Cl	0,960	0,264	-0,031	0,044	-0,027	-0,037	-0,047	-0,045
SO4	0,564	-0,637	0,222	-0,354	0,318	-0,011	0,001	-0,003
Ca	0,825	-0,416	-0,135	-0,262	-0,217	0,107	-0,019	0,017
Na	0,944	0,310	-0,008	0,032	-0,002	-0,100	-0,011	0,047
Mg	0,397	-0,571	-0,319	0,634	0,114	0,030	-0,005	0,005
NO3	0,202	-0,258	0,902	0,257	-0,119	0,003	0,002	0,000
As	0,429	0,853	0,181	0,084	0,188	0,113	0,002	0,008

Correlaciones entre las variables y los factores:

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
SDT	0,986	0,070	-0,111	0,004	-0,075	-0,013	0,072	-0,019
Cl	0,960	0,264	-0,031	0,044	-0,027	-0,037	-0,047	-0,045
SO4	0,564	-0,637	0,222	-0,354	0,318	-0,011	0,001	-0,003
Ca	0,825	-0,416	-0,135	-0,262	-0,217	0,107	-0,019	0,017
Na	0,944	0,310	-0,008	0,032	-0,002	-0,100	-0,011	0,047
Mg	0,397	-0,571	-0,319	0,634	0,114	0,030	-0,005	0,005
NO3	0,202	-0,258	0,902	0,257	-0,119	0,003	0,002	0,000
As	0,429	0,853	0,181	0,084	0,188	0,113	0,002	0,008







Contribuciones de las variables (%):

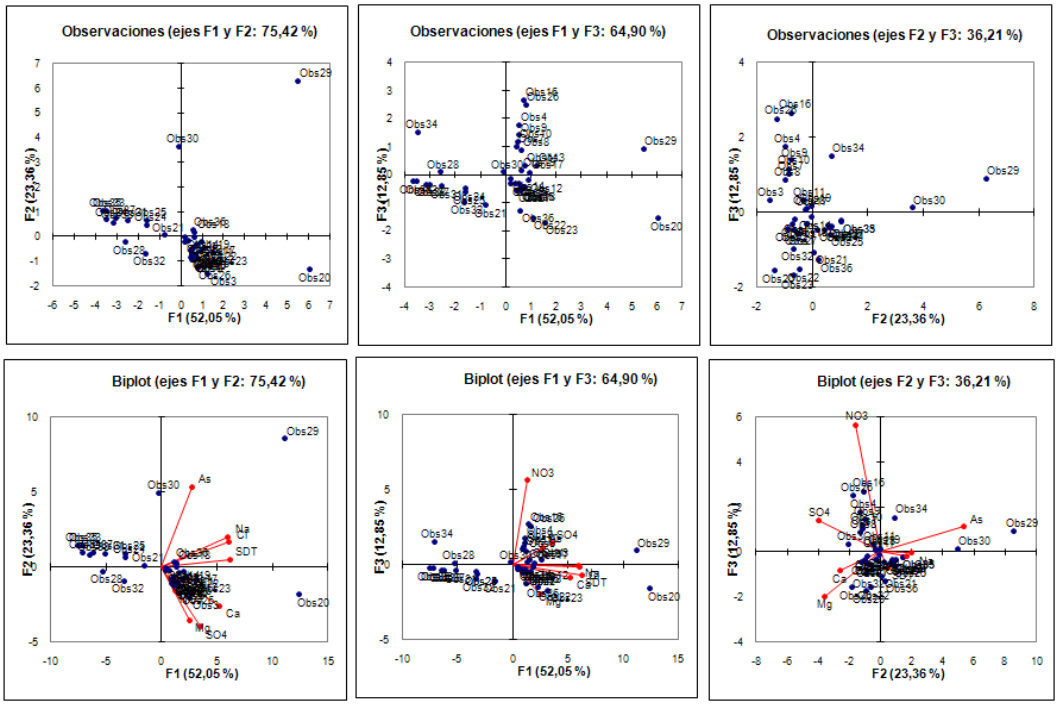
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
SDT	23,327	0,263	1,200	0,002	2,610	0,436	65,297	6,865
Cl	22,119	3,720	0,094	0,292	0,342	3,752	28,463	41,218
SO4	7,631	21,740	4,795	18,623	46,686	0,327	0,023	0,176
Ca	16,358	9,253	1,762	10,235	21,633	30,868	4,424	5,467
Na	21,383	5,138	0,007	0,151	0,003	27,304	1,423	44,591
Mg	3,778	17,421	9,875	59,788	5,962	2,391	0,273	0,513
NO3	0,976	3,550	79,073	9,859	6,476	0,018	0,049	0,000
As	4,429	38,916	3,194	1,048	16,289	34,905	0,050	1,169

Cosenos cuadrados de las variables:

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
SDT	0,971	0,005	0,012	0,000	0,006	0,000	0,005	0,000
Cl	0,921	0,070	0,001	0,002	0,001	0,001	0,002	0,002
SO4	0,318	0,406	0,049	0,125	0,101	0,000	0,000	0,000
Ca	0,681	0,173	0,018	0,069	0,047	0,011	0,000	0,000
Na	0,890	0,096	0,000	0,001	0,000	0,010	0,000	0,002
Mg	0,157	0,326	0,101	0,402	0,013	0,001	0,000	0,000
NO3	0,041	0,066	0,813	0,066	0,014	0,000	0,000	0,000
As	0,184	0,727	0,033	0,007	0,035	0,013	0,000	0,000

Coordenadas de las observaciones:

Observación	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
Obs1	0,567	-0,454	-0,576	-0,648	0,496	-0,056	0,104	0,134
Obs2	0,584	-0,688	-0,477	0,925	0,431	-0,091	0,037	-0,024
Obs3	1,242	-1,524	0,308	0,561	0,630	-0,041	0,086	-0,055
Obs4	0,542	-0,961	1,745	0,144	0,250	-0,248	0,060	0,096
Obs5	0,782	-0,887	-0,463	-0,711	0,851	-0,087	-0,174	0,064
Obs6	0,541	-0,718	-0,336	-0,211	0,427	-0,064	-0,023	-0,013
Obs7	0,450	-0,828	1,014	0,601	-0,121	0,052	-0,019	-0,008
Obs8	0,601	-0,951	0,858	0,362	0,171	-0,019	0,058	-0,025
Obs9	0,508	-0,745	1,406	0,377	-0,210	0,053	0,065	-0,010
Obs10	0,500	-0,842	1,157	0,612	-0,095	0,067	-0,089	0,114
Obs11	0,752	-0,322	0,306	-1,064	-0,332	0,059	-0,022	-0,002
Obs12	0,909	-0,613	-0,201	-0,935	0,334	0,106	-0,020	-0,077
Obs13	0,371	-0,188	-0,325	-1,208	-0,173	0,085	-0,015	0,007
Obs14	0,212	-0,037	-0,139	-1,361	-0,004	0,076	-0,043	0,004
Obs15	0,205	-0,206	-0,325	-0,068	0,050	0,118	-0,083	0,027
Obs16	0,710	-0,760	2,653	-0,726	-0,585	0,173	0,013	0,022
Obs17	0,961	-0,224	0,075	-1,386	-0,060	0,023	0,019	0,028
Obs18	0,651	0,190	-0,467	-1,127	-0,131	0,071	0,082	-0,100
Obs19	0,641	-0,032	0,146	-1,216	-0,464	0,108	-0,067	0,024
Obs20	6,044	-1,343	-1,569	-0,531	-0,860	-0,239	0,002	-0,055
Obs21	-0,769	0,056	-1,098	1,140	-0,058	0,142	-0,093	0,046
Obs22	1,088	-0,447	-1,535	1,093	-0,579	0,249	0,111	-0,040
Obs23	1,547	-0,654	-1,699	1,251	-0,626	0,474	0,049	0,007
Obs24	-1,606	0,453	-0,484	-0,003	0,182	-0,485	-0,070	-0,094
Obs25	-1,598	0,640	-0,603	0,151	-0,242	-0,444	0,317	-0,008
Obs26	0,818	-1,278	2,494	1,692	0,121	-0,064	-0,040	-0,045
Obs27	0,443	-0,559	-0,582	0,688	0,814	-0,090	0,012	-0,096
Obs28	-2,599	-0,216	0,103	-1,254	0,841	0,108	0,042	-0,031
Obs29	5,461	6,261	0,903	0,562	0,259	-0,045	-0,091	-0,096
Obs30	-0,102	3,615	0,112	-0,012	0,559	0,282	0,185	0,186
Obs31	-2,513	0,635	-0,421	0,095	-0,082	-0,109	-0,065	-0,031
Obs32	-1,649	-0,678	-0,977	1,119	0,710	0,276	-0,076	-0,010
Obs33	-3,506	1,038	-0,235	-0,204	-0,488	-0,059	-0,067	0,006
Obs34	-3,489	0,688	1,497	0,412	-0,964	-0,013	0,007	-0,042
Obs35	-3,683	1,051	-0,250	-0,199	-0,465	-0,030	-0,043	-0,042
Obs36	0,580	0,243	-1,277	0,841	-0,542	-0,462	-0,109	0,209
Obs37	-3,028	0,721	-0,372	0,158	-0,091	0,068	-0,064	-0,015
Obs38	-3,168	0,563	-0,367	0,083	0,045	0,054	0,027	-0,057



Contribuciones de las observaciones (%):

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
Obs1	0,203	0,290	0,849	1,646	2,982	0,221	3,627	9,451
Obs2	0,215	0,667	0,583	3,354	2,253	0,591	0,460	0,294
Obs3	0,975	3,269	0,244	1,235	4,804	0,119	2,452	1,584
Obs4	0,186	1,299	7,794	0,081	0,758	4,382	1,220	4,784
Obs5	0,386	1,107	0,549	1,980	8,770	0,544	10,112	2,122
Obs6	0,185	0,725	0,288	0,174	2,214	0,289	0,183	0,084
Obs7	0,128	0,965	2,633	1,413	0,178	0,195	0,125	0,031
Obs8	0,228	1,274	1,885	0,512	0,355	0,025	1,109	0,337
Obs9	0,163	0,782	5,061	0,556	0,533	0,201	1,415	0,056
Obs10	0,158	0,997	3,425	1,465	0,109	0,317	2,651	6,845
Obs11	0,357	0,146	0,240	4,435	1,334	0,245	0,169	0,002
Obs12	0,522	0,528	0,104	3,422	1,348	0,798	0,132	3,089
Obs13	0,087	0,050	0,270	5,720	0,364	0,513	0,073	0,026
Obs14	0,028	0,002	0,049	7,260	0,000	0,418	0,615	0,008
Obs15	0,026	0,060	0,271	0,018	0,030	0,996	2,294	0,391
Obs16	0,319	0,814	18,025	2,067	4,151	2,147	0,057	0,260
Obs17	0,584	0,070	0,014	7,530	0,044	0,038	0,121	0,422
Obs18	0,268	0,051	0,558	4,972	0,207	0,358	2,256	5,245
Obs19	0,259	0,001	0,055	5,788	2,610	0,833	1,484	0,296
Obs20	23,085	2,539	6,304	1,104	8,963	4,087	0,001	1,558
Obs21	0,373	0,004	3,088	5,088	0,040	1,435	2,897	1,093
Obs22	0,748	0,282	6,034	4,680	4,065	4,438	4,095	0,836
Obs23	1,513	0,603	7,388	6,129	4,744	16,027	0,805	0,027
Obs24	1,630	0,289	0,600	0,000	0,402	16,795	1,643	4,601
Obs25	1,614	0,576	0,932	0,090	0,710	14,061	33,490	0,034
Obs26	0,423	2,299	15,929	11,212	0,178	0,290	0,538	1,054
Obs27	0,124	0,440	0,869	1,853	8,023	0,580	0,046	4,871
Obs28	4,267	0,065	0,027	6,161	8,573	0,839	0,586	0,501
Obs29	18,848	55,192	2,090	1,239	0,814	0,142	2,769	4,809
Obs30	0,007	18,399	0,032	0,001	3,787	5,688	11,471	18,166
Obs31	3,992	0,568	0,454	0,035	0,081	0,856	1,409	0,511
Obs32	1,719	0,647	2,446	4,901	6,115	5,423	1,935	0,052
Obs33	7,767	1,518	0,142	0,163	2,891	0,247	1,506	0,019
Obs34	7,693	0,667	5,739	0,664	11,270	0,012	0,015	0,927
Obs35	8,570	1,556	0,160	0,156	2,619	0,063	0,630	0,917
Obs36	0,212	0,083	4,172	2,772	3,556	15,249	3,995	22,888
Obs37	5,795	0,731	0,353	0,098	0,100	0,329	1,377	0,124
Obs38	6,341	0,446	0,345	0,027	0,025	0,211	0,236	1,684

Cosenos cuadrados de las observaciones:

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
Obs1	0,206	0,132	0,213	0,270	0,158	0,002	0,007	0,012
Obs2	0,163	0,226	0,109	0,409	0,089	0,004	0,001	0,000
Obs3	0,329	0,496	0,020	0,067	0,085	0,000	0,002	0,001
Obs4	0,066	0,209	0,689	0,005	0,014	0,014	0,001	0,002
Obs5	0,212	0,273	0,074	0,175	0,251	0,003	0,010	0,001
Obs6	0,254	0,447	0,098	0,039	0,159	0,004	0,000	0,000
Obs7	0,088	0,299	0,448	0,157	0,006	0,001	0,000	0,000
Obs8	0,167	0,417	0,340	0,060	0,014	0,000	0,002	0,000
Obs9	0,086	0,186	0,663	0,048	0,015	0,001	0,001	0,000
Obs10	0,092	0,262	0,495	0,138	0,003	0,002	0,003	0,005
Obs11	0,281	0,052	0,047	0,564	0,055	0,002	0,000	0,000
Obs12	0,368	0,167	0,018	0,389	0,050	0,005	0,000	0,003
Obs13	0,078	0,020	0,059	0,822	0,017	0,004	0,000	0,000
Obs14	0,023	0,001	0,010	0,962	0,000	0,003	0,001	0,000
Obs15	0,191	0,195	0,483	0,021	0,011	0,064	0,031	0,003
Obs16	0,056	0,064	0,780	0,058	0,038	0,003	0,000	0,000
Obs17	0,318	0,017	0,002	0,661	0,001	0,000	0,000	0,000
Obs18	0,213	0,018	0,110	0,639	0,009	0,003	0,003	0,005
Obs19	0,192	0,000	0,010	0,690	0,100	0,005	0,002	0,000
Obs20	0,872	0,043	0,059	0,007	0,018	0,001	0,000	0,000
Obs21	0,189	0,001	0,385	0,415	0,001	0,006	0,003	0,001
Obs22	0,221	0,037	0,441	0,223	0,063	0,012	0,002	0,000
Obs23	0,303	0,054	0,366	0,198	0,050	0,028	0,000	0,000
Obs24	0,781	0,062	0,071	0,000	0,010	0,071	0,001	0,003
Obs25	0,689	0,110	0,098	0,006	0,016	0,053	0,027	0,000
Obs26	0,059	0,143	0,545	0,251	0,001	0,000	0,000	0,000
Obs27	0,098	0,156	0,170	0,236	0,331	0,004	0,000	0,005
Obs28	0,742	0,005	0,001	0,173	0,078	0,001	0,000	0,000
Obs29	0,425	0,558	0,012	0,005	0,001	0,000	0,000	0,000
Obs30	0,001	0,964	0,001	0,000	0,023	0,006	0,003	0,003
Obs31	0,911	0,058	0,026	0,001	0,001	0,002	0,001	0,000
Obs32	0,455	0,077	0,160	0,210	0,084	0,013	0,001	0,000
Obs33	0,896	0,079	0,004	0,003	0,017	0,000	0,000	0,000
Obs34	0,761	0,030	0,140	0,011	0,058	0,000	0,000	0,000
Obs35	0,905	0,074	0,004	0,003	0,014	0,000	0,000	0,000
Obs36	0,102	0,018	0,495	0,215	0,089	0,065	0,004	0,013
Obs37	0,929	0,053	0,014	0,003	0,001	0,000	0,000	0,000
Obs38	0,956	0,030	0,013	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000

Resultados tras la rotación Quartimax:

Matriz de rotación:

	D1	D2	D3
D1	0,983	0,137	0,120
D2	0,163	-0,955	-0,248
D3	-0,081	-0,263	0,961

Porcentaje della varianza tras rotación Quartimax:

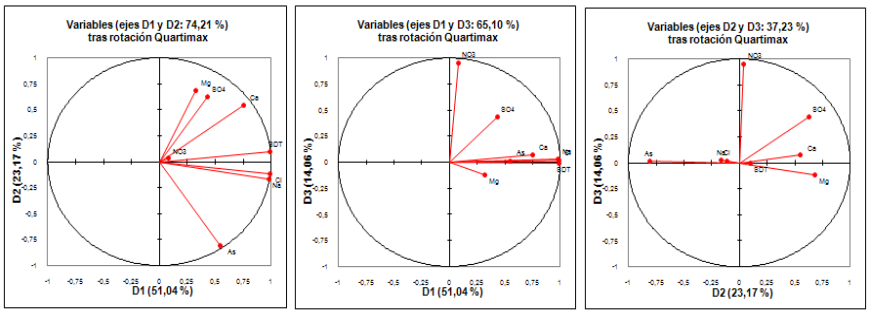
	D1	D2	D3	F4	F5	F6	F7	F8
Variabilidad (%)	51,039	23,170	14,058	8,398	2,714	0,461	0,098	0,063
% acumulado	51,039	74,209	88,267	96,664	99,378	99,839	99,937	100,000

Carga factorial tras rotación Quartimax:

	D1	D2	D3
SDT	0,990	0,097	-0,006
Cl	0,989	-0,113	0,020
SO4	0,433	0,627	0,439
Ca	0,755	0,545	0,073
Na	0,979	-0,165	0,028
Mg	0,323	0,683	-0,117
NO3	0,084	0,036	0,955
As	0,547	-0,804	0,014

Correlaciones entre las variables y los factores tras rotación Quartimax:

	D1	D2	D3
SDT	0,990	0,097	-0,006
Cl	0,989	-0,113	0,020
SO4	0,433	0,627	0,439
Ca	0,755	0,545	0,073
Na	0,979	-0,165	0,028
Mg	0,323	0,683	-0,117
NO3	0,084	0,036	0,955
As	0,547	-0,804	0,014



Contribuciones de las variables (%) tras rotación Quartimax:

	D1	D2	D3
SDT	23,983	0,507	0,003
Cl	23,965	0,684	0,035
SO4	4,584	21,227	17,141
Ca	13,951	16,041	0,470
Na	23,477	1,467	0,071
Mg	2,553	25,167	1,222
NO3	0,171	0,070	81,040
As	7,317	34,836	0,018

Cosenos cuadrados de las variables tras rotación Quartimax:

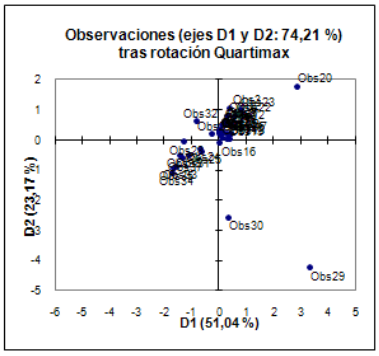
	D1	D2	D3
SDT	0,979	0,009	0,000
Cl	0,979	0,013	0,000
SO4	0,187	0,393	0,193
Ca	0,570	0,297	0,005
Na	0,959	0,027	0,001
Mg	0,104	0,466	0,014
NO3	0,007	0,001	0,911
As	0,299	0,646	0,000

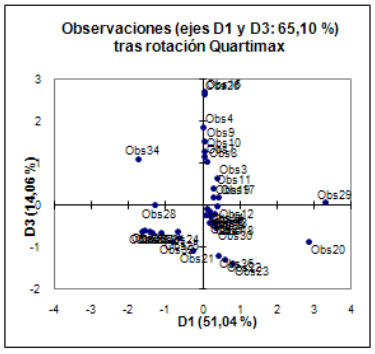
Coeficientes de transformación tras rotación Quartimax:

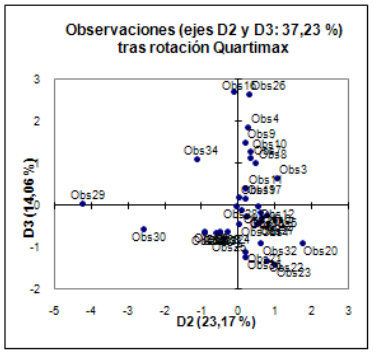
	D1	D2	D3
SDT	0,248	0,025	-0,085
Cl	0,252	-0,095	-0,036
SO4	0,060	0,287	0,308
Ca	0,169	0,274	-0,047
Na	0,250	-0,125	-0,022
Mg	0,069	0,386	-0,211
NO3	-0,046	-0,093	0,883
As	0,161	-0,468	0,069

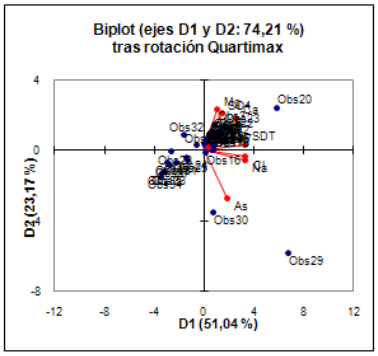
Coordenadas de las observaciones tras rotación Quartimax:

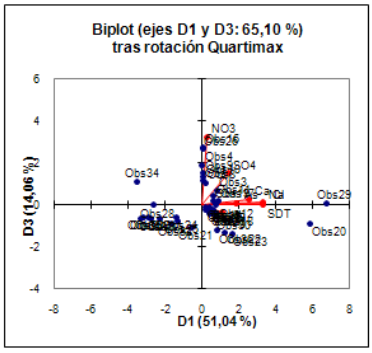
	D1	D2	D3
Obs1	0,265	0,504	-0,430
Obs2	0,237	0,644	-0,293
Obs3	0,393	1,067	0,642
Obs4	0,008	0,254	1,860
Obs5	0,308	0,792	-0,232
Obs6	0,202	0,625	-0,156
Obs7	0,038	0,345	1,138
Obs8	0,108	0,482	1,021
Obs9	0,044	0,189	1,498
Obs10	0,049	0,321	1,279
Obs11	0,300	0,196	0,393
Obs12	0,381	0,541	-0,026
Obs13	0,182	0,241	-0,252
Obs14	0,109	0,076	-0,112
Obs15	0,100	0,242	-0,259
Obs16	0,041	-0,111	2,696
Obs17	0,430	0,201	0,168
Obs18	0,373	0,032	-0,439
Obs19	0,293	0,028	0,182
Obs20	2,877	1,750	-0,889
Obs21	-0,276	0,195	-1,097
Obs22	0,593	0,784	-1,311
Obs23	0,803	1,002	-1,401
Obs24	-0,681	-0,298	-0,635
Obs25	-0,646	-0,397	-0,782
Obs26	0,043	0,299	2,645
Obs27	0,193	0,572	-0,425
Obs28	-1,286	-0,050	-0,016
Obs29	3,306	-4,243	0,042
Obs30	0,372	-2,561	-0,555
Obs31	-1,102	-0,502	-0,662
Obs32	-0,798	0,617	-0,901
Obs33	-1,547	-0,899	-0,617
Obs34	-1,718	-1,103	1,090
Obs35	-1,629	-0,916	-0,644
Obs36	0,410	0,201	-1,220
Obs37	-1,344	-0,609	-0,661
Obs38	-1,430	-0,510	-0,636

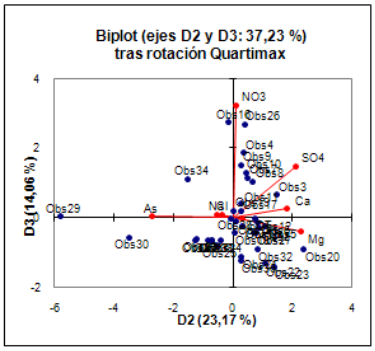












Cosenos cuadrados de las observaciones tras rotación Quartimax:

	D1	D2	D3
Obs1	0,058	0,211	0,153
Obs2	0,035	0,258	0,053
Obs3	0,063	0,469	0,170
Obs4	0,000	0,018	0,940
Obs5	0,046	0,306	0,026
Obs6	0,059	0,568	0,036
Obs7	0,001	0,066	0,722
Obs8	0,008	0,160	0,719
Obs9	0,001	0,014	0,907
Obs10	0,001	0,048	0,761
Obs11	0,059	0,025	0,101
Obs12	0,101	0,203	0,000
Obs13	0,020	0,035	0,038
Obs14	0,006	0,003	0,007
Obs15	0,061	0,357	0,408
Obs16	0,000	0,001	0,888
Obs17	0,085	0,019	0,013
Obs18	0,085	0,001	0,117
Obs19	0,047	0,000	0,018
Obs20	0,627	0,232	0,060
Obs21	0,029	0,014	0,454
Obs22	0,082	0,143	0,400
Obs23	0,111	0,173	0,339
Obs24	0,375	0,072	0,326
Obs25	0,267	0,101	0,391
Obs26	0,000	0,009	0,702
Obs27	0,022	0,193	0,106
Obs28	0,419	0,001	0,000
Obs29	0,373	0,614	0,000
Obs30	0,019	0,878	0,041
Obs31	0,627	0,130	0,226
Obs32	0,174	0,104	0,221
Obs33	0,618	0,209	0,098
Obs34	0,457	0,188	0,184
Obs35	0,637	0,201	0,100
Obs36	0,057	0,014	0,502
Obs37	0,680	0,140	0,164
Obs38	0,750	0,095	0,148

6.3.2 Sector acuífero Los Choros

XLSTAT 2009.2.03 - Análisis de Componentes Principales (ACP) - el 14-04-2009 a 13:13:28
Tabla observaciones/variables: Libro = ACP Los Choros_Conc.xls / Hoja = Los Choros_Conc / Rango = 'Los Choros_Conc'!$D$6:$L$24 / 18 filas y 9 columnas
Tipo de ACP: Pearson (n)
Rotación: Quartimax / Número de factores = 3
Tipo de biplot: Biplot de correlación / Coeficiente = Automático
Estadísticas descriptivas

Estadísticas descriptivas:

Variable	Observaciones	Obs. con datos perdidos	Obs. sin datos perdidos	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
SDT	18	0	18	900,000	18235,000	3460,278	4578,720
Cl	18	0	18	212,790	7726,600	1335,647	1953,110
SO4	18	0	18	187,190	1341,300	465,967	314,314
Ca	18	0	18	73,640	723,900	272,943	182,850
Na	18	0	18	106,470	3080,310	493,491	744,046
Mg	18	0	18	38,970	659,030	132,540	151,956
NO3	18	0	18	0,250	5,350	0,897	1,591
Fe	18	0	18	0,005	0,240	0,059	0,082
Al	18	0	18	0,005	0,380	0,036	0,087

Matriz de correlación (Pearson (n)):

Variables	SDT	Cl	SO4	Ca	Na	Mg	NO3	Fe	Al
SDT	**1**	**0,998**	**0,932**	**0,906**	**0,986**	**0,978**	-0,221	-0,165	-0,180
Cl	**0,998**	**1**	**0,913**	**0,887**	**0,992**	**0,975**	-0,217	-0,143	-0,175
SO4	**0,932**	**0,913**	**1**	**0,971**	**0,881**	**0,935**	-0,297	-0,269	-0,241
Ca	**0,906**	**0,887**	**0,971**	**1**	**0,836**	**0,899**	-0,297	-0,274	-0,268
Na	**0,986**	**0,992**	**0,881**	**0,836**	**1**	**0,971**	-0,203	-0,127	-0,162
Mg	**0,978**	**0,975**	**0,935**	**0,899**	**0,971**	**1**	-0,239	-0,202	-0,185
NO3	-0,221	-0,217	-0,297	-0,297	-0,203	-0,239	**1**	-0,100	**0,599**
Fe	-0,165	-0,143	-0,269	-0,274	-0,127	-0,202	-0,100	**1**	0,115
Al	-0,180	-0,175	-0,241	-0,268	-0,162	-0,185	**0,599**	0,115	**1**

Los valores en negrita son diferentes de 0 con un nivel de significación alfa=0,05

Prueba de esfericidad de Bartlett:

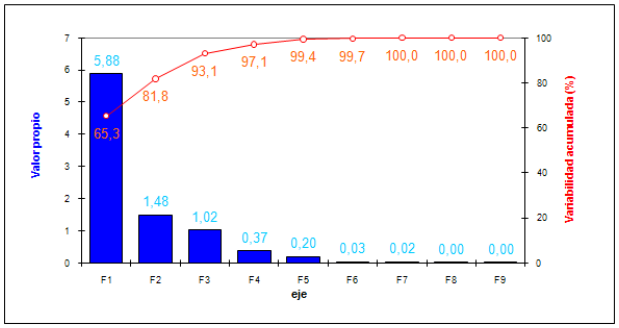
Chi-cuadrado ajustado (Valor observado)	284,433
Chi-cuadrado ajustado (Valor crítico)	50,998
GDL	36
p-valor	< 0,0001
alfa	0,05

Interpretación de la prueba:
H0: No hay ninguna correlación significativamente diferente de 0 entre las variables.
Ha: Al menos una de las correlaciones entre las variables es significativamente diferente de 0.
Como el p-valor computado es menor que el nivel de significación alfa=0,05, se debe rechazar la hipótesis nula H0, y aceptar la hipótesis alternativa Ha.
El riesgo de rechazar la hipótesis nula H0 cuando es verdadera es menor que 0,01%.

Análisis de Componentes Principales:

Valores propios:

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9
Valor propio	5,877	1,481	1,017	0,368	0,200	0,033	0,021	0,003	0,000
Variabilidad (%)	65,299	16,455	11,300	4,085	2,223	0,371	0,229	0,035	0,003
% acumulado	65,299	81,754	93,054	97,138	99,362	99,733	99,962	99,997	100,000



Vectores propios:

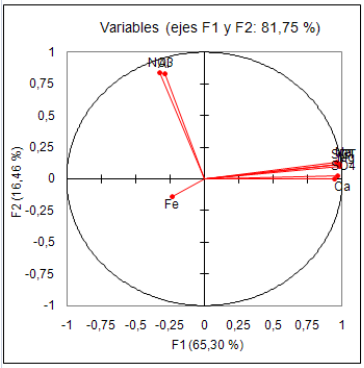
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9
SDT	0,406	0,095	0,087	-0,069	-0,142	-0,284	0,143	-0,641	-0,532
Cl	0,403	0,097	0,112	-0,093	-0,228	-0,363	0,073	-0,122	0,776
SO4	0,399	0,020	-0,053	0,127	0,444	0,470	0,627	-0,015	0,102
Ca	0,391	-0,001	-0,076	0,106	0,649	-0,410	-0,407	0,256	-0,101
Na	0,396	0,107	0,132	-0,126	-0,433	-0,032	0,178	0,698	-0,302
Mg	0,404	0,084	0,049	-0,012	-0,163	0,627	-0,619	-0,146	0,051
NO3	-0,133	0,692	-0,119	-0,666	0,208	0,048	0,004	0,003	0,004
Fe	-0,097	-0,117	0,941	-0,197	0,224	0,049	-0,010	0,001	-0,005
Al	-0,118	0,686	0,228	0,679	-0,044	-0,036	-0,006	0,012	-0,003

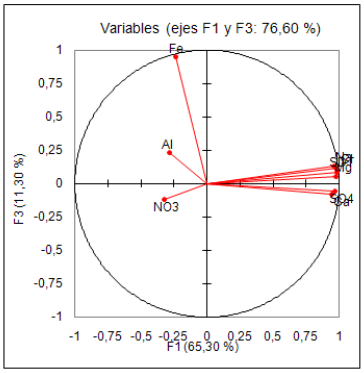
Carga factorial:

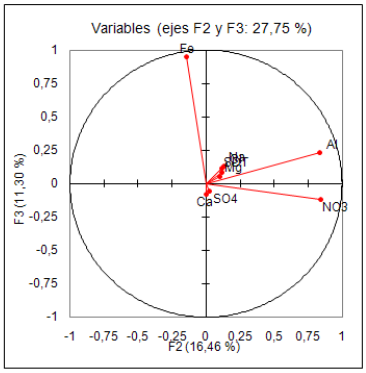
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9
SDT	0,984	0,115	0,088	-0,042	-0,063	-0,052	0,021	-0,036	-0,009
Cl	0,977	0,118	0,113	-0,057	-0,102	-0,066	0,010	-0,007	0,013
SO4	0,967	0,025	-0,053	0,077	0,199	0,086	0,090	-0,001	0,002
Ca	0,947	-0,001	-0,077	0,064	0,290	-0,075	-0,058	0,014	-0,002
Na	0,959	0,130	0,133	-0,076	-0,194	-0,006	0,026	0,039	-0,005
Mg	0,980	0,102	0,050	-0,007	-0,073	0,115	-0,089	-0,008	0,001
NO3	-0,323	0,842	-0,120	-0,404	0,093	0,009	0,001	0,000	0,000
Fe	-0,234	-0,142	0,949	-0,120	0,100	0,009	-0,001	0,000	0,000
Al	-0,285	0,834	0,229	0,412	-0,020	-0,007	-0,001	0,001	0,000

Correlaciones entre las variables y los factores:

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9
SDT	0,984	0,115	0,088	-0,042	-0,063	-0,052	0,021	-0,036	-0,009
Cl	0,977	0,118	0,113	-0,057	-0,102	-0,066	0,010	-0,007	0,013
SO4	0,967	0,025	-0,053	0,077	0,199	0,086	0,090	-0,001	0,002
Ca	0,947	-0,001	-0,077	0,064	0,290	-0,075	-0,058	0,014	-0,002
Na	0,959	0,130	0,133	-0,076	-0,194	-0,006	0,026	0,039	-0,005
Mg	0,980	0,102	0,050	-0,007	-0,073	0,115	-0,089	-0,008	0,001
NO3	-0,323	0,842	-0,120	-0,404	0,093	0,009	0,001	0,000	0,000
Fe	-0,234	-0,142	0,949	-0,120	0,100	0,009	-0,001	0,000	0,000
Al	-0,285	0,834	0,229	0,412	-0,020	-0,007	-0,001	0,001	0,000







Contribuciones de las variables (%):

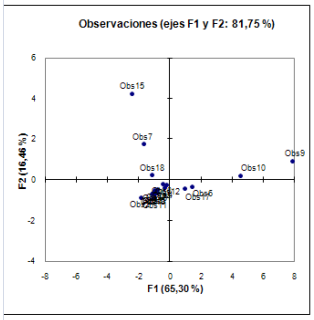
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9
SDT	16,485	0,895	0,758	0,470	2,005	8,039	2,058	41,033	28,256
Cl	16,249	0,944	1,251	0,869	5,220	13,165	0,534	1,484	60,285
SO4	15,921	0,041	0,276	1,612	19,758	22,056	39,272	0,023	1,041
Ca	15,254	0,000	0,580	1,118	42,119	16,772	16,581	6,558	1,018
Na	15,652	1,147	1,736	1,579	18,727	0,100	3,170	48,757	9,133
Mg	16,345	0,708	0,243	0,013	2,663	39,265	38,370	2,130	0,263
NO3	1,776	47,904	1,418	44,357	4,309	0,233	0,001	0,001	0,001
Fe	0,932	1,366	88,559	3,888	5,004	0,239	0,011	0,000	0,002
Al	1,386	46,995	5,179	46,094	0,195	0,131	0,004	0,014	0,001

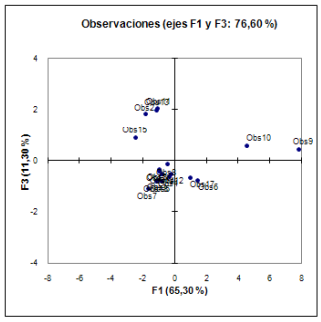
Cosenos cuadrados de las variables:

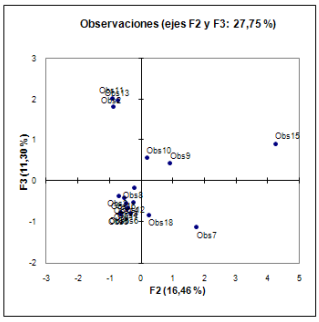
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9
SDT	0,969	0,013	0,008	0,002	0,004	0,003	0,000	0,001	0,000
Cl	0,955	0,014	0,013	0,003	0,010	0,004	0,000	0,000	0,000
SO4	0,936	0,001	0,003	0,006	0,040	0,007	0,008	0,000	0,000
Ca	0,896	0,000	0,006	0,004	0,084	0,006	0,003	0,000	0,000
Na	0,920	0,017	0,018	0,006	0,037	0,000	0,001	0,002	0,000
Mg	0,961	0,010	0,002	0,000	0,005	0,013	0,008	0,000	0,000
NO3	0,104	0,709	0,014	0,163	0,009	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe	0,055	0,020	0,901	0,014	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000
Al	0,081	0,696	0,053	0,169	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

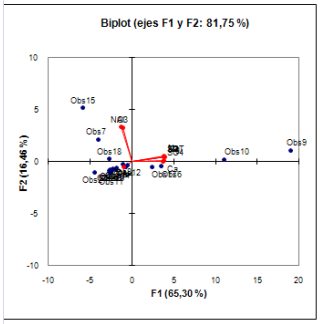
Coordenadas de las observaciones:

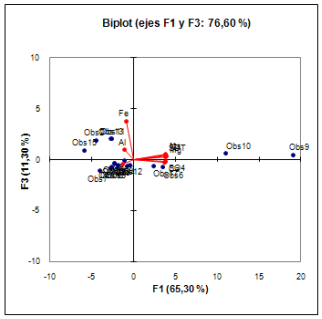
Observación	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9
Obs1	-1,096	-0,666	-0,779	0,168	-0,403	-0,034	0,041	-0,012	0,010
Obs2	-1,843	-0,896	1,821	-0,317	-0,215	0,137	0,012	-0,121	-0,013
Obs3	-0,963	-0,704	-0,379	0,108	-0,134	-0,098	-0,083	-0,013	-0,018
Obs4	-0,320	-0,414	-0,659	0,258	-0,315	-0,314	-0,255	-0,003	-0,010
Obs5	-0,808	-0,652	-0,811	0,228	-0,054	-0,173	0,023	0,034	-0,008
Obs6	1,432	-0,343	-0,780	0,478	1,092	0,174	0,095	-0,078	-0,021
Obs7	-1,662	1,732	-1,122	-1,933	0,181	0,027	-0,012	-0,024	-0,004
Obs8	-0,433	-0,219	-0,163	0,429	-0,329	0,186	0,134	-0,044	0,048
Obs9	7,849	0,899	0,417	-0,266	-0,642	0,231	-0,080	0,040	-0,010
Obs10	4,557	0,179	0,559	-0,127	0,334	-0,485	0,161	-0,067	0,016
Obs11	-1,071	-0,920	2,031	-0,378	0,310	0,024	-0,032	0,056	-0,006
Obs12	-0,200	-0,260	-0,524	0,466	-0,112	0,157	-0,354	-0,061	0,010
Obs13	-1,117	-0,739	1,983	-0,215	0,181	-0,024	-0,044	0,069	0,011
Obs14	-0,781	-0,478	-0,544	0,216	-0,583	0,154	0,305	0,018	-0,023
Obs15	-2,437	4,249	0,893	0,990	0,033	-0,039	0,012	0,009	-0,005
Obs16	-0,950	-0,550	-0,425	0,221	-0,303	-0,115	0,118	0,065	-0,006
Obs17	0,976	-0,457	-0,688	0,378	0,917	0,153	-0,047	0,091	0,009
Obs18	-1,132	0,239	-0,830	-0,704	0,041	0,039	0,006	0,039	0,020

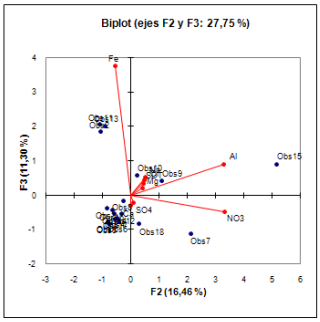












Contribuciones de las observaciones (%):

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9
Obs1	1,136	1,663	3,315	0,424	4,498	0,198	0,456	0,254	2,008
Obs2	3,212	3,009	18,116	1,514	1,284	3,125	0,039	25,767	2,982
Obs3	0,876	1,859	0,784	0,176	0,502	1,600	1,863	0,279	6,387
Obs4	0,097	0,643	2,372	1,004	2,747	16,354	17,527	0,021	2,036
Obs5	0,618	1,595	3,592	0,789	0,082	4,972	0,149	2,086	1,216
Obs6	1,939	0,442	3,325	3,450	33,104	5,058	2,447	10,668	8,649
Obs7	2,612	11,249	6,880	56,493	0,912	0,125	0,042	0,987	0,232
Obs8	0,178	0,179	0,145	2,780	3,003	5,766	4,848	3,390	44,057
Obs9	58,244	3,032	0,950	1,068	11,445	8,849	1,728	2,844	2,027
Obs10	19,630	0,120	1,704	0,245	3,104	39,161	6,948	7,874	4,933
Obs11	1,085	3,177	22,530	2,161	2,665	0,095	0,274	5,452	0,721
Obs12	0,038	0,254	1,503	3,283	0,346	4,090	33,765	6,518	2,080
Obs13	1,179	2,047	21,477	0,699	0,914	0,098	0,519	8,419	2,480
Obs14	0,577	0,858	1,619	0,707	9,440	3,948	25,006	0,602	10,086
Obs15	5,616	67,739	4,360	14,819	0,030	0,247	0,038	0,154	0,460
Obs16	0,854	1,136	0,986	0,739	2,542	2,194	3,755	7,499	0,785
Obs17	0,901	0,783	2,583	2,164	23,331	3,869	0,586	14,537	1,450
Obs18	1,212	0,214	3,759	7,485	0,047	0,251	0,010	2,648	7,411

Cosenos cuadrados de las observaciones:

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9
Obs1	0,491	0,181	0,248	0,011	0,066	0,000	0,001	0,000	0,000
Obs2	0,441	0,104	0,431	0,013	0,006	0,002	0,000	0,002	0,000
Obs3	0,575	0,307	0,089	0,007	0,011	0,006	0,004	0,000	0,000
Obs4	0,099	0,165	0,419	0,064	0,095	0,095	0,063	0,000	0,000
Obs5	0,358	0,233	0,361	0,029	0,002	0,016	0,000	0,001	0,000
Obs6	0,483	0,028	0,143	0,054	0,281	0,007	0,002	0,001	0,000
Obs7	0,256	0,278	0,117	0,346	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000
Obs8	0,307	0,078	0,043	0,301	0,177	0,057	0,029	0,003	0,004
Obs9	0,976	0,013	0,003	0,001	0,007	0,001	0,000	0,000	0,000
Obs10	0,966	0,001	0,015	0,001	0,005	0,011	0,001	0,000	0,000
Obs11	0,180	0,133	0,648	0,022	0,015	0,000	0,000	0,000	0,000
Obs12	0,052	0,089	0,359	0,284	0,016	0,032	0,163	0,005	0,000
Obs13	0,215	0,094	0,677	0,008	0,006	0,000	0,000	0,001	0,000
Obs14	0,372	0,139	0,181	0,029	0,207	0,014	0,057	0,000	0,000
Obs15	0,230	0,700	0,031	0,038	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Obs16	0,580	0,194	0,116	0,031	0,059	0,008	0,009	0,003	0,000
Obs17	0,359	0,079	0,178	0,054	0,317	0,009	0,001	0,003	0,000
Obs18	0,507	0,023	0,272	0,196	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000

Resultados tras la rotación Quartimax:

Matriz de rotación:

	D1	D2	D3
D1	0,988	-0,135	-0,072
D2	0,127	0,986	-0,108
D3	0,086	0,098	0,992

Porcentaje della varianza tras rotación Quartimax:

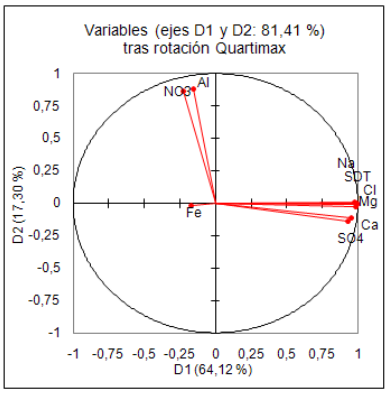
	D1	D2	D3	F4	F5	F6	F7	F8	F9
Variabilidad (%)	64,118	17,296	11,640	4,085	2,223	0,371	0,229	0,035	0,003
% acumulado	64,118	81,414	93,054	97,138	99,362	99,733	99,962	99,997	100,000

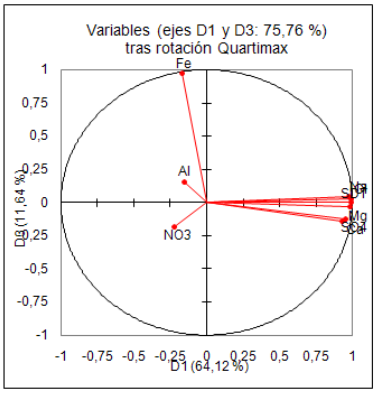
Carga factorial tras rotación Quartimax:

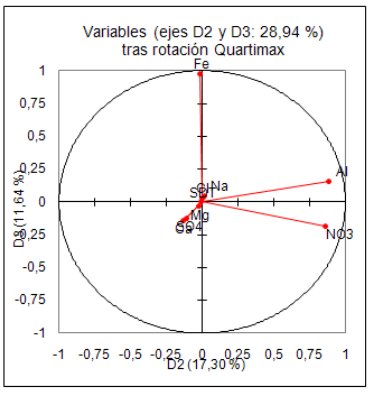
	D1	D2	D3
SDT	0,995	-0,011	0,004
Cl	0,990	-0,004	0,029
SO4	0,955	-0,111	-0,125
Ca	0,929	-0,136	-0,144
Na	0,976	0,012	0,049
Mg	0,986	-0,026	-0,032
NO3	-0,223	0,862	-0,187
Fe	-0,168	-0,016	0,973
Al	-0,157	0,884	0,158

Correlaciones entre las variables y los factores tras rotación Quartimax:

	D1	D2	D3
SDT	0,995	-0,011	0,004
Cl	0,990	-0,004	0,029
SO4	0,955	-0,111	-0,125
Ca	0,929	-0,136	-0,144
Na	0,976	0,012	0,049
Mg	0,986	-0,026	-0,032
NO3	-0,223	0,862	-0,187
Fe	-0,168	-0,016	0,973
Al	-0,157	0,884	0,158







Contribuciones de las variables (%) tras rotación Quartimax:

	D1	D2	D3
SDT	17,150	0,007	0,001
Cl	16,996	0,001	0,079
SO4	15,788	0,797	1,488
Ca	14,954	1,196	1,985
Na	16,497	0,009	0,225
Mg	16,840	0,045	0,100
NO3	0,860	47,777	3,333
Fe	0,490	0,016	90,408
Al	0,425	50,150	2,380

Cosenos cuadrados de las variables tras rotación Quartimax:

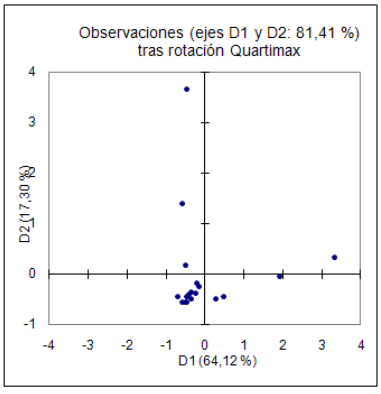
	D1	D2	D3
SDT	0,990	0,000	0,000
Cl	0,981	0,000	0,001
SO4	0,911	0,012	0,016
Ca	0,863	0,019	0,021
Na	0,952	0,000	0,002
Mg	0,972	0,001	0,001
NO3	0,050	0,744	0,035
Fe	0,028	0,000	0,947
Al	0,025	0,781	0,025

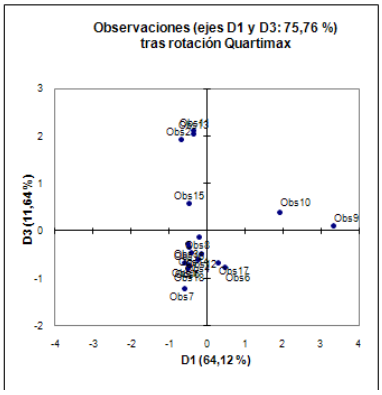
Coeficientes de transformación tras rotación Quartimax:

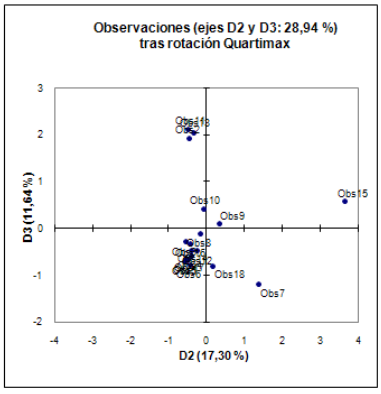
	D1	D2	D3
SDT	0,183	0,062	0,065
Cl	0,184	0,067	0,089
SO4	0,160	-0,011	-0,065
Ca	0,153	-0,030	-0,086
Na	0,184	0,078	0,108
Mg	0,178	0,050	0,029
NO3	0,008	0,557	-0,175
Fe	0,028	0,002	0,939
Al	0,043	0,584	0,166

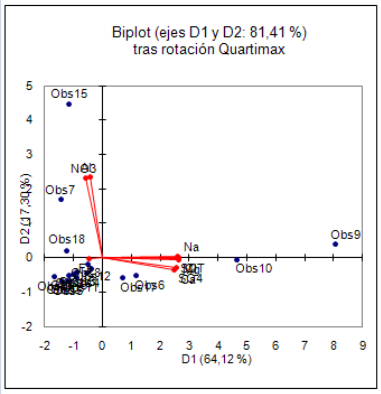
Coordenadas de las observaciones tras rotación Quartimax:

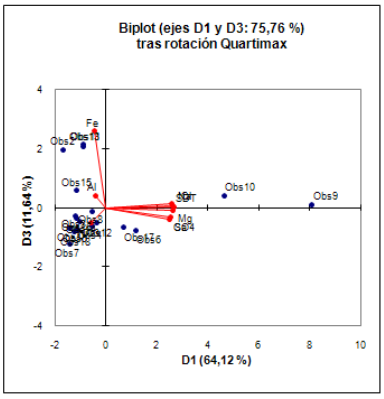
	D1	D2	D3
Obs1	-0,582	-0,554	-0,674
Obs2	-0,690	-0,447	1,925
Obs3	-0,498	-0,553	-0,281
Obs4	-0,229	-0,382	-0,602
Obs5	-0,466	-0,562	-0,715
Obs6	0,482	-0,433	-0,779
Obs7	-0,593	1,387	-1,208
Obs8	-0,213	-0,169	-0,128
Obs9	3,329	0,332	0,097
Obs10	1,924	-0,055	0,398
Obs11	-0,360	-0,489	2,110
Obs12	-0,153	-0,251	-0,487
Obs13	-0,364	-0,344	2,048
Obs14	-0,414	-0,397	-0,470
Obs15	-0,475	3,665	0,573
Obs16	-0,481	-0,434	-0,341
Obs17	0,292	-0,491	-0,664
Obs18	-0,507	0,176	-0,803

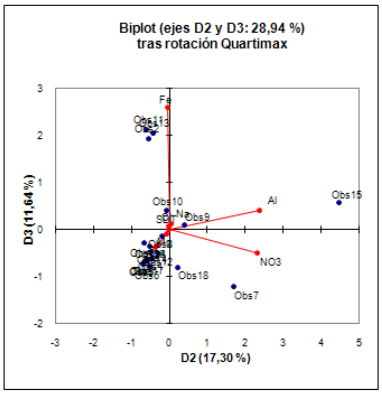












Cosenos cuadrados de las observaciones tras rotación Quartimax:

	D1	D2	D3
Obs1	0,262	0,237	0,351
Obs2	0,104	0,044	0,812
Obs3	0,364	0,450	0,116
Obs4	0,059	0,164	0,407
Obs5	0,192	0,279	0,452
Obs6	0,093	0,075	0,243
Obs7	0,047	0,256	0,194
Obs8	0,104	0,065	0,037
Obs9	0,943	0,009	0,001
Obs10	0,870	0,001	0,037
Obs11	0,026	0,047	0,879
Obs12	0,033	0,089	0,335
Obs13	0,029	0,026	0,926
Obs14	0,163	0,149	0,209
Obs15	0,015	0,897	0,022
Obs16	0,327	0,266	0,164
Obs17	0,048	0,135	0,247
Obs18	0,179	0,022	0,450

6.3.3 Sector acuífero Aconcagua

XLSTAT 2009.2.03 - Análisis de Componentes Principales (ACP) - el 14-04-2009 a 15:38:42
Tabla observaciones/variables: Libro = ACP Aconcagua_Conc.xls / Hoja = Aconcagua_Conc / Rango = Aconcagua_Conc!$E$6:$M$59 / 53 filas y 9 columnas
Tipo de ACP: Pearson (n)
Rotación: Quartimax / Número de factores = 3
Tipo de biplot: Biplot de correlación / Coeficiente = Automático
Estadísticas descriptivas

Estadísticas descriptivas:

Variable	Observaciones	Obs. con datos perdidos	Obs. sin datos perdidos	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
SDT	53	0	53	68,000	1140,000	513,198	178,028
Cl	53	0	53	4,830	140,850	25,608	19,956
SO4	53	0	53	19,170	367,340	148,405	67,392
Ca	53	0	53	31,400	206,000	104,726	38,160
Na	53	0	53	3,860	98,100	24,140	16,388
Mg	53	0	53	7,030	63,200	22,918	11,361
NO3	53	0	53	0,500	57,080	24,291	14,142
Fe	53	0	53	0,003	2,860	0,176	0,510
Mn	53	0	53	0,003	2,770	0,139	0,454

Matriz de correlación (Pearson (n)):

Variables	SDT	Cl	SO4	Ca	Na	Mg	NO3	Fe	Mn
SDT	**1**	0,044	**0,722**	**0,692**	**0,396**	**0,746**	**0,280**	0,174	**0,491**
Cl	0,044	**1**	**0,503**	**0,369**	**0,366**	**0,321**	0,219	-0,079	0,199
SO4	**0,722**	**0,503**	**1**	**0,803**	**0,324**	**0,705**	**0,309**	0,098	**0,574**
Ca	**0,692**	**0,369**	**0,803**	**1**	0,109	**0,532**	**0,361**	0,034	**0,474**
Na	**0,396**	**0,366**	**0,324**	0,109	**1**	**0,469**	0,161	0,133	0,214
Mg	**0,746**	**0,321**	**0,705**	**0,532**	**0,469**	**1**	**0,345**	0,220	**0,626**
NO3	**0,280**	0,219	**0,309**	**0,361**	0,161	**0,345**	**1**	-0,179	-0,167
Fe	0,174	-0,079	0,098	0,034	0,133	0,220	-0,179	**1**	**0,507**
Mn	**0,491**	0,199	**0,574**	**0,474**	0,214	**0,626**	-0,167	**0,507**	**1**

Los valores en negrita son diferentes de 0 con un nivel de significación alfa=0,05

Prueba de esfericidad de Bartlett:

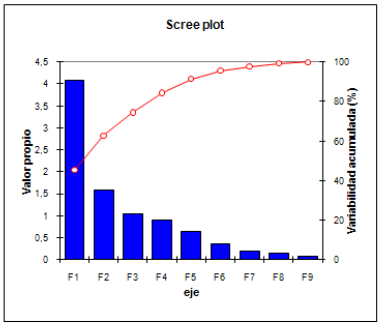
Chi-cuadrado ajustado (Valor observado)	287,010
Chi-cuadrado ajustado (Valor crítico)	50,998
GDL	36
p-valor	< 0,0001
alfa	0,05

Interpretación de la prueba:
H0: No hay ninguna correlación significativamente diferente de 0 entre las variables.
Ha: Al menos una de las correlaciones entre las variables es significativamente diferente de 0.
Como el p-valor computado es menor que el nivel de significación alfa=0,05, se debe rechazar la hipótesis nula H0, y aceptar la hipótesis alternativa Ha.
El riesgo de rechazar la hipótesis nula H0 cuando es verdadera es menor que 0,01%.

Análisis de Componentes Principales:

Valores propios:

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9
Valor propio	4,077	1,574	1,050	0,898	0,634	0,368	0,193	0,136	0,070
Variabilidad (%)	45,296	17,494	11,672	9,978	7,039	4,091	2,144	1,513	0,773
% acumulado	45,296	62,790	74,462	84,439	91,478	95,570	97,714	99,227	100,000



Vectores propios:

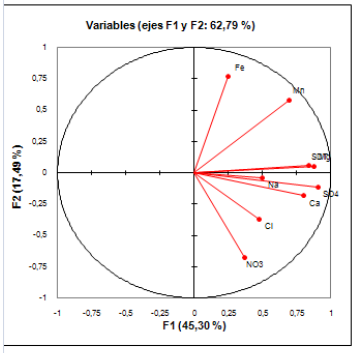
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9
SDT	0,413	0,045	-0,285	-0,319	-0,301	-0,226	-0,282	-0,182	0,624
Cl	0,234	-0,293	0,562	0,538	0,202	-0,002	-0,224	-0,244	0,323
SO4	0,450	-0,089	-0,083	0,228	-0,072	-0,130	-0,244	0,786	-0,175
Ca	0,398	-0,144	-0,351	0,285	0,014	-0,425	0,311	-0,425	-0,399
Na	0,247	-0,034	0,662	-0,462	-0,267	-0,282	0,324	0,051	-0,164
Mg	0,433	0,043	0,036	-0,215	-0,031	0,623	-0,354	-0,279	-0,414
NO3	0,182	-0,537	-0,148	-0,374	0,610	0,151	0,275	0,132	0,172
Fe	0,123	0,615	0,105	-0,138	0,647	-0,325	-0,217	-0,026	-0,061
Mn	0,342	0,463	-0,007	0,240	-0,021	0,394	0,600	0,101	0,293

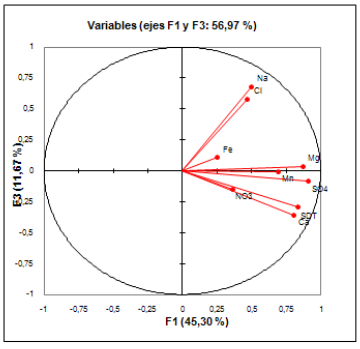
Carga factorial:

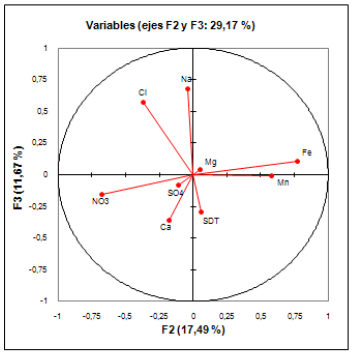
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9
SDT	0,835	0,057	-0,293	-0,302	-0,239	-0,137	-0,124	-0,067	0,165
Cl	0,472	-0,368	0,576	0,510	0,161	-0,001	-0,099	-0,090	0,085
SO4	0,909	-0,111	-0,085	0,216	-0,057	-0,079	-0,107	0,290	-0,046
Ca	0,803	-0,180	-0,359	0,270	0,011	-0,258	0,137	-0,157	-0,105
Na	0,499	-0,042	0,679	-0,437	-0,213	-0,171	0,142	0,019	-0,043
Mg	0,874	0,054	0,037	-0,203	-0,025	0,378	-0,156	-0,103	-0,109
NO3	0,367	-0,674	-0,151	-0,354	0,485	0,092	0,121	0,049	0,045
Fe	0,249	0,772	0,107	-0,131	0,515	-0,197	-0,095	-0,010	-0,016
Mn	0,691	0,581	-0,007	0,227	-0,017	0,239	0,264	0,037	0,077

Correlaciones entre las variables y los factores:

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9
SDT	0,835	0,057	-0,293	-0,302	-0,239	-0,137	-0,124	-0,067	0,165
Cl	0,472	-0,368	0,576	0,510	0,161	-0,001	-0,099	-0,090	0,085
SO4	0,909	-0,111	-0,085	0,216	-0,057	-0,079	-0,107	0,290	-0,046
Ca	0,803	-0,180	-0,359	0,270	0,011	-0,258	0,137	-0,157	-0,105
Na	0,499	-0,042	0,679	-0,437	-0,213	-0,171	0,142	0,019	-0,043
Mg	0,874	0,054	0,037	-0,203	-0,025	0,378	-0,156	-0,103	-0,109
NO3	0,367	-0,674	-0,151	-0,354	0,485	0,092	0,121	0,049	0,045
Fe	0,249	0,772	0,107	-0,131	0,515	-0,197	-0,095	-0,010	-0,016
Mn	0,691	0,581	-0,007	0,227	-0,017	0,239	0,264	0,037	0,077







Contribuciones de las variables (%):

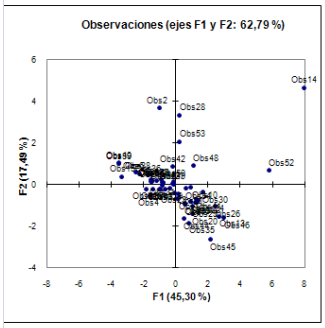
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9
SDT	17,086	0,205	8,149	10,189	9,043	5,129	7,953	3,325	38,922
Cl	5,459	8,580	31,598	28,909	4,071	0,000	5,033	5,936	10,413
SO4	20,271	0,786	0,682	5,212	0,513	1,693	5,958	61,818	3,067
Ca	15,805	2,062	12,297	8,137	0,020	18,076	9,676	18,045	15,883
Na	6,106	0,113	43,860	21,309	7,152	7,978	10,520	0,263	2,698
Mg	18,746	0,183	0,133	4,611	0,097	38,770	12,552	7,778	17,129
NO3	3,302	28,855	2,178	13,962	37,159	2,275	7,572	1,755	2,943
Fe	1,522	37,812	1,099	1,909	41,900	10,592	4,724	0,069	0,374
Mn	11,703	21,403	0,004	5,761	0,045	15,487	36,012	1,012	8,572

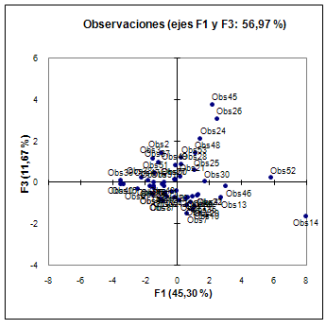
Cosenos cuadrados de las variables:

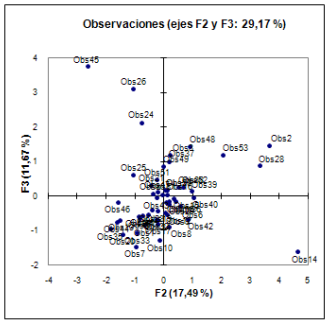
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9
SDT	0,697	0,003	0,086	0,091	0,057	0,019	0,015	0,005	0,027
Cl	0,223	0,135	0,332	0,260	0,026	0,000	0,010	0,008	0,007
SO4	0,826	0,012	0,007	0,047	0,003	0,006	0,011	0,084	0,002
Ca	0,644	0,032	0,129	0,073	0,000	0,067	0,019	0,025	0,011
Na	0,249	0,002	0,461	0,191	0,045	0,029	0,020	0,000	0,002
Mg	0,764	0,003	0,001	0,041	0,001	0,143	0,024	0,011	0,012
NO3	0,135	0,454	0,023	0,125	0,235	0,008	0,015	0,002	0,002
Fe	0,062	0,595	0,012	0,017	0,265	0,039	0,009	0,000	0,000
Mn	0,477	0,337	0,000	0,052	0,000	0,057	0,069	0,001	0,006

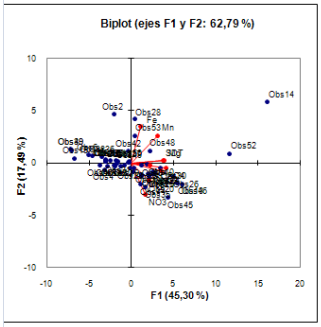
Coordenadas de las observaciones:

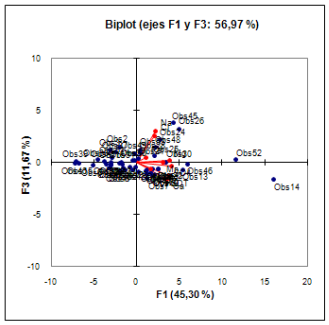
Observación	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9
Obs1	0,116	-0,658	-0,861	-0,426	0,167	-0,009	0,102	0,105	-0,025
Obs2	-1,005	3,682	1,448	-1,990	3,346	-1,313	-0,549	0,009	-0,604
Obs3	-1,530	0,230	1,171	-1,050	-0,604	0,207	0,449	-0,567	0,224
Obs4	-1,574	-0,528	-0,547	-0,680	0,692	0,443	0,592	0,235	0,339
Obs5	0,955	-0,828	-0,661	-0,459	0,093	-0,130	-0,056	-0,208	-0,119
Obs6	-2,500	0,579	-0,308	1,026	-0,295	0,058	-0,066	0,457	-0,003
Obs7	0,580	-0,955	-1,473	-0,442	0,763	-0,495	0,492	-0,350	0,010
Obs8	-0,905	0,209	-0,894	0,610	-0,367	-0,197	-0,091	-0,138	-0,362
Obs9	-1,534	0,134	-0,559	0,590	0,165	-0,078	0,046	0,356	-0,055
Obs10	0,939	-0,135	-1,286	0,762	-0,816	-0,808	-0,603	0,740	-0,437
Obs11	-0,806	0,087	-0,181	0,438	-0,501	-0,305	-0,040	0,237	-0,225
Obs12	-0,766	0,080	-0,501	-0,228	-0,554	-0,416	0,209	-0,101	0,028
Obs13	2,692	-1,518	-0,720	-1,177	0,487	1,163	-0,946	-0,264	-0,336
Obs14	7,940	4,643	-1,624	0,678	0,420	0,963	0,443	0,233	0,524
Obs15	-3,351	0,358	-0,070	-0,215	0,465	1,179	0,347	0,155	0,168
Obs16	-1,496	0,123	0,022	-0,207	-0,106	0,658	-0,058	0,258	-0,179
Obs17	-0,998	-0,214	-0,818	0,442	0,114	0,053	-0,022	0,043	0,050
Obs18	-1,486	0,194	-0,178	0,364	-0,293	0,080	-0,043	0,349	-0,074
Obs19	-0,383	-0,191	-0,434	1,146	-0,322	-0,560	-0,205	-0,102	-0,055
Obs20	1,038	-1,406	-1,125	0,258	0,687	-0,392	0,086	-0,154	0,185
Obs21	0,136	-0,431	0,313	-0,438	-0,355	-0,060	-0,188	0,439	0,136
Obs22	1,242	-0,842	-0,606	0,328	0,334	0,847	-1,275	0,483	0,024
Obs23	-0,063	-0,403	-0,415	0,359	-0,127	-0,116	-0,217	0,110	-0,079
Obs24	1,388	-0,767	2,124	-1,095	-0,119	0,432	-0,691	-0,231	0,402
Obs25	1,022	-1,038	0,602	-1,142	0,494	0,722	-0,452	0,243	0,264
Obs26	2,462	-1,035	3,093	-2,654	-1,314	-0,707	0,196	1,072	0,184
Obs27	-0,206	0,069	0,157	0,314	-0,405	-0,450	-0,342	0,130	0,278
Obs28	0,231	3,327	0,871	0,800	0,682	-0,192	0,209	0,200	0,413
Obs29	-1,489	0,193	-0,235	0,148	-0,134	0,619	-0,221	0,212	-0,193
Obs30	1,713	-0,367	0,044	1,106	-0,561	-0,317	-0,395	-0,505	0,336
Obs31	-0,856	-0,035	0,037	-0,364	-0,553	-0,636	0,556	-0,070	0,014
Obs32	-0,649	-0,229	-0,674	0,579	-0,147	-0,453	0,100	0,109	0,002
Obs33	0,586	-0,920	-1,081	0,148	0,501	-0,792	0,255	0,095	0,127
Obs34	0,615	-0,184	-0,704	0,166	-0,347	-0,876	-0,383	0,430	0,170
Obs35	0,833	-1,848	-0,952	0,043	1,270	-0,344	0,575	-0,009	0,230
Obs36	-1,724	0,435	-0,172	-0,281	-0,540	0,048	0,333	-0,320	-0,163
Obs37	-1,208	0,183	0,995	0,972	-0,694	-0,437	-0,192	-0,432	0,386
Obs38	-2,266	0,516	0,241	1,084	-0,463	-0,138	-0,031	0,327	0,013
Obs39	-3,527	0,983	0,124	0,374	-0,410	0,463	0,244	0,267	-0,021
Obs40	-3,542	1,052	-0,058	0,167	-0,352	0,911	-0,018	-0,221	0,161
Obs41	1,254	-0,717	-0,590	-0,696	-0,282	-0,087	-0,163	-0,684	-0,149
Obs42	-0,190	0,866	-0,696	0,034	0,163	-0,853	-0,369	-0,936	0,006
Obs43	-0,975	-0,243	-0,065	-0,690	0,152	0,749	0,183	-0,550	-0,135
Obs44	0,538	-1,616	-0,765	-0,692	1,257	-0,008	0,642	0,327	0,107
Obs45	2,144	-2,630	3,761	4,019	2,090	0,347	0,392	-0,082	-0,213
Obs46	2,975	-1,589	-0,187	-0,800	-0,119	-0,897	0,158	-0,258	0,197
Obs47	-1,849	-0,211	0,112	-0,515	0,548	1,226	0,087	0,056	0,074
Obs48	1,110	0,928	1,418	0,198	-1,565	-0,185	0,075	-0,601	0,109
Obs49	-0,111	0,012	0,845	0,354	-0,648	-0,341	-0,097	-0,035	-0,370
Obs50	-0,113	0,136	0,157	-0,359	-0,131	0,862	-0,830	-0,513	-0,060
Obs51	-1,399	-0,222	0,471	-1,245	-0,024	0,092	1,074	-0,152	-0,299
Obs52	5,772	0,686	0,243	0,146	-1,394	0,928	0,928	0,044	-0,947
Obs53	0,220	2,056	1,191	0,194	-0,347	-0,458	-0,230	-0,238	-0,059

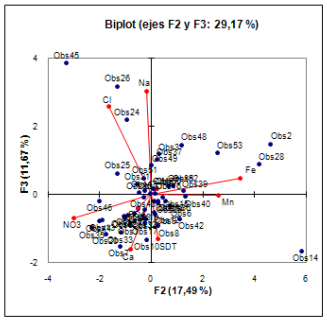












Contribuciones de las observaciones (%):

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9
Obs1	0,006	0,519	1,333	0,380	0,083	0,000	0,101	0,153	0,017
Obs2	0,467	16,244	3,768	8,317	33,337	8,834	2,948	0,001	9,902
Obs3	1,084	0,063	2,464	2,317	1,085	0,220	1,970	4,462	1,364
Obs4	1,147	0,334	0,538	0,972	1,427	1,006	3,428	0,762	3,117
Obs5	0,422	0,822	0,785	0,443	0,026	0,086	0,030	0,602	0,382
Obs6	2,892	0,401	0,170	2,210	0,260	0,017	0,042	2,898	0,000
Obs7	0,156	1,092	3,895	0,411	1,735	1,257	2,368	1,699	0,003
Obs8	0,379	0,052	1,434	0,783	0,402	0,199	0,080	0,264	3,557
Obs9	1,090	0,021	0,561	0,731	0,081	0,031	0,021	1,758	0,081
Obs10	0,408	0,022	2,971	1,220	1,983	3,346	3,551	7,590	5,184
Obs11	0,301	0,009	0,059	0,403	0,749	0,478	0,016	0,779	1,370
Obs12	0,272	0,008	0,451	0,109	0,913	0,886	0,429	0,141	0,022
Obs13	3,354	2,761	0,930	2,913	0,708	6,936	8,753	0,964	3,068
Obs14	29,179	25,833	4,738	0,966	0,525	4,754	1,920	0,751	7,441
Obs15	5,196	0,153	0,009	0,097	0,643	7,126	1,177	0,334	0,768
Obs16	1,035	0,018	0,001	0,090	0,033	2,217	0,032	0,920	0,865
Obs17	0,461	0,055	1,201	0,410	0,039	0,014	0,005	0,026	0,067
Obs18	1,022	0,045	0,057	0,279	0,256	0,033	0,018	1,687	0,149
Obs19	0,068	0,044	0,338	2,760	0,309	1,607	0,413	0,145	0,082
Obs20	0,498	2,370	2,272	0,139	1,405	0,788	0,073	0,328	0,931
Obs21	0,009	0,222	0,176	0,403	0,376	0,018	0,345	2,671	0,503
Obs22	0,714	0,851	0,659	0,226	0,333	3,676	15,902	3,231	0,015
Obs23	0,002	0,195	0,310	0,270	0,048	0,069	0,461	0,169	0,170
Obs24	0,891	0,705	8,102	2,521	0,042	0,956	4,664	0,737	4,380
Obs25	0,483	1,291	0,651	2,739	0,726	2,673	1,996	0,817	1,885
Obs26	2,805	1,284	17,183	14,802	5,140	2,562	0,374	15,925	0,916
Obs27	0,020	0,006	0,044	0,207	0,487	1,039	1,141	0,234	2,095
Obs28	0,025	13,267	1,361	1,344	1,384	0,190	0,426	0,553	4,634
Obs29	1,027	0,045	0,099	0,046	0,054	1,962	0,477	0,624	1,014
Obs30	1,358	0,161	0,004	2,568	0,938	0,516	1,522	3,541	3,069
Obs31	0,339	0,001	0,002	0,279	0,910	2,072	3,022	0,067	0,005
Obs32	0,195	0,063	0,817	0,704	0,064	1,050	0,098	0,165	0,000
Obs33	0,159	1,014	2,099	0,046	0,746	3,211	0,635	0,126	0,439
Obs34	0,175	0,041	0,891	0,058	0,359	3,933	1,436	2,564	0,788
Obs35	0,321	4,091	1,628	0,004	4,802	0,607	3,228	0,001	1,429
Obs36	1,376	0,227	0,053	0,166	0,870	0,012	1,085	1,420	0,722
Obs37	0,675	0,040	1,777	1,984	1,435	0,977	0,361	2,586	4,035
Obs38	2,376	0,319	0,104	2,471	0,638	0,098	0,010	1,478	0,004
Obs39	5,756	1,159	0,027	0,294	0,501	1,097	0,581	0,986	0,012
Obs40	5,806	1,325	0,006	0,059	0,370	4,248	0,003	0,679	0,705
Obs41	0,728	0,617	0,626	1,017	0,237	0,039	0,261	6,483	0,598
Obs42	0,017	0,899	0,870	0,002	0,079	3,726	1,334	12,148	0,001
Obs43	0,440	0,071	0,008	1,000	0,069	2,878	0,328	4,185	0,493
Obs44	0,134	3,128	1,050	1,007	4,706	0,000	4,032	1,483	0,311
Obs45	2,127	8,287	25,403	33,933	13,004	0,618	1,500	0,092	1,227
Obs46	4,096	3,027	0,063	1,344	0,042	4,124	0,245	0,923	1,051
Obs47	1,583	0,053	0,023	0,558	0,896	7,703	0,074	0,043	0,147
Obs48	0,570	1,032	3,610	0,082	7,293	0,175	0,055	5,009	0,322
Obs49	0,006	0,000	1,282	0,263	1,249	0,594	0,092	0,017	3,714
Obs50	0,006	0,022	0,044	0,271	0,051	3,810	6,733	3,646	0,098
Obs51	0,905	0,059	0,399	3,256	0,002	0,044	11,272	0,319	2,422
Obs52	15,418	0,563	0,106	0,045	5,790	4,411	8,415	0,027	24,332
Obs53	0,022	5,067	2,549	0,079	0,358	1,075	0,518	0,783	0,094

Cosenos cuadrados de las observaciones:

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9
Obs1	0,009	0,305	0,523	0,128	0,020	0,000	0,007	0,008	0,000
Obs2	0,030	0,396	0,061	0,116	0,327	0,050	0,009	0,000	0,011
Obs3	0,400	0,009	0,234	0,189	0,062	0,007	0,034	0,055	0,009
Obs4	0,525	0,059	0,064	0,098	0,102	0,042	0,074	0,012	0,024
Obs5	0,391	0,294	0,187	0,090	0,004	0,007	0,001	0,019	0,006
Obs6	0,778	0,042	0,012	0,131	0,011	0,000	0,001	0,026	0,000
Obs7	0,070	0,190	0,451	0,041	0,121	0,051	0,050	0,026	0,000
Obs8	0,346	0,018	0,338	0,157	0,057	0,016	0,003	0,008	0,055
Obs9	0,736	0,006	0,098	0,109	0,009	0,002	0,001	0,040	0,001
Obs10	0,159	0,003	0,298	0,105	0,120	0,118	0,065	0,099	0,034
Obs11	0,487	0,006	0,024	0,144	0,188	0,070	0,001	0,042	0,038
Obs12	0,410	0,004	0,175	0,036	0,214	0,121	0,031	0,007	0,001
Obs13	0,513	0,163	0,037	0,098	0,017	0,096	0,063	0,005	0,008
Obs14	0,706	0,241	0,030	0,005	0,002	0,010	0,002	0,001	0,003
Obs15	0,851	0,010	0,000	0,004	0,016	0,105	0,009	0,002	0,002
Obs16	0,787	0,005	0,000	0,015	0,004	0,152	0,001	0,023	0,011
Obs17	0,517	0,024	0,347	0,101	0,007	0,001	0,000	0,001	0,001
Obs18	0,839	0,014	0,012	0,050	0,033	0,002	0,001	0,046	0,002
Obs19	0,068	0,017	0,087	0,609	0,048	0,145	0,020	0,005	0,001
Obs20	0,212	0,390	0,249	0,013	0,093	0,030	0,001	0,005	0,007
Obs21	0,021	0,213	0,113	0,220	0,145	0,004	0,041	0,222	0,021
Obs22	0,285	0,131	0,068	0,020	0,021	0,132	0,300	0,043	0,000
Obs23	0,007	0,289	0,306	0,229	0,029	0,024	0,084	0,022	0,011
Obs24	0,211	0,064	0,495	0,132	0,002	0,020	0,052	0,006	0,018
Obs25	0,214	0,221	0,074	0,267	0,050	0,107	0,042	0,012	0,014
Obs26	0,223	0,039	0,352	0,259	0,063	0,018	0,001	0,042	0,001
Obs27	0,057	0,006	0,033	0,132	0,219	0,271	0,156	0,023	0,103
Obs28	0,004	0,834	0,057	0,048	0,035	0,003	0,003	0,003	0,013
Obs29	0,774	0,013	0,019	0,008	0,006	0,134	0,017	0,016	0,013
Obs30	0,561	0,026	0,000	0,234	0,060	0,019	0,030	0,049	0,022
Obs31	0,387	0,001	0,001	0,070	0,162	0,214	0,163	0,003	0,000
Obs32	0,278	0,035	0,301	0,222	0,014	0,136	0,007	0,008	0,000
Obs33	0,103	0,253	0,349	0,007	0,075	0,187	0,019	0,003	0,005
Obs34	0,173	0,016	0,227	0,013	0,055	0,351	0,067	0,085	0,013
Obs35	0,097	0,479	0,127	0,000	0,226	0,017	0,046	0,000	0,007
Obs36	0,781	0,050	0,008	0,021	0,077	0,001	0,029	0,027	0,007
Obs37	0,326	0,008	0,221	0,211	0,108	0,043	0,008	0,042	0,033
Obs38	0,736	0,038	0,008	0,169	0,031	0,003	0,000	0,015	0,000
Obs39	0,884	0,069	0,001	0,010	0,012	0,015	0,004	0,005	0,000
Obs40	0,853	0,075	0,000	0,002	0,008	0,056	0,000	0,003	0,002
Obs41	0,446	0,146	0,099	0,137	0,023	0,002	0,008	0,133	0,006
Obs42	0,012	0,247	0,159	0,000	0,009	0,239	0,045	0,288	0,000
Obs43	0,392	0,024	0,002	0,196	0,010	0,231	0,014	0,124	0,007
Obs44	0,048	0,430	0,096	0,079	0,260	0,000	0,068	0,018	0,002
Obs45	0,099	0,149	0,304	0,347	0,094	0,003	0,003	0,000	0,001
Obs46	0,681	0,194	0,003	0,049	0,001	0,062	0,002	0,005	0,003
Obs47	0,615	0,008	0,002	0,048	0,054	0,270	0,001	0,001	0,001
Obs48	0,176	0,123	0,287	0,006	0,350	0,005	0,001	0,052	0,002
Obs49	0,008	0,000	0,465	0,081	0,273	0,076	0,006	0,001	0,089
Obs50	0,007	0,010	0,013	0,068	0,009	0,391	0,362	0,138	0,002
Obs51	0,387	0,010	0,044	0,307	0,000	0,002	0,228	0,005	0,018
Obs52	0,867	0,012	0,002	0,001	0,051	0,022	0,022	0,000	0,023
Obs53	0,008	0,685	0,230	0,006	0,019	0,034	0,009	0,009	0,001

Resultados tras la rotación Quartimax:

Matriz de rotación:

	D1	D2	D3
D1	0,950	0,113	0,290
D2	-0,056	0,978	-0,199
D3	-0,306	0,173	0,936

Porcentaje della varianza tras rotación Quartimax:

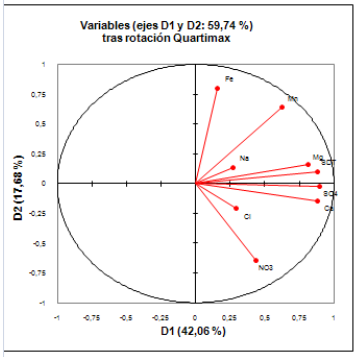
	D1	D2	D3	F4	F5	F6	F7	F8	F9
Variabilidad (%)	42,062	17,677	14,722	9,978	7,039	4,091	2,144	1,513	0,773
% acumulado	42,062	59,739	74,462	84,439	91,478	95,570	97,714	99,227	100,000

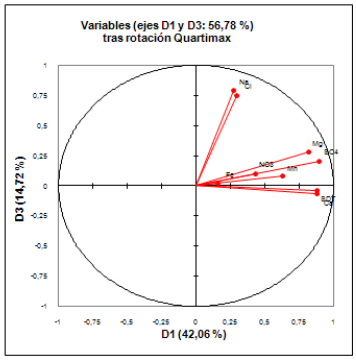
Carga factorial tras rotación Quartimax:

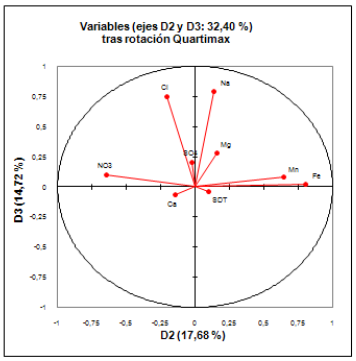
	D1	D2	D3
SDT	0,880	0,100	-0,044
Cl	0,293	-0,207	0,749
SO4	0,896	-0,021	0,206
Ca	0,883	-0,148	-0,068
Na	0,269	0,133	0,788
Mg	0,816	0,158	0,277
NO3	0,433	-0,644	0,099
Fe	0,161	0,802	0,019
Mn	0,626	0,645	0,078

Correlaciones entre las variables y los factores tras rotación Quartimax:

	D1	D2	D3
SDT	0,880	0,100	-0,044
Cl	0,293	-0,207	0,749
SO4	0,896	-0,021	0,206
Ca	0,883	-0,148	-0,068
Na	0,269	0,133	0,788
Mg	0,816	0,158	0,277
NO3	0,433	-0,644	0,099
Fe	0,161	0,802	0,019
Mn	0,626	0,645	0,078







Contribuciones de las variables (%) tras rotación Quartimax:

	D1	D2	D3
SDT	20,434	0,622	0,143
Cl	2,263	2,681	42,358
SO4	21,212	0,026	3,208
Ca	20,592	1,368	0,351
Na	1,910	1,104	46,909
Mg	17,607	1,570	5,808
NO3	4,945	26,074	0,737
Fe	0,682	40,401	0,028
Mn	10,353	26,153	0,460

Cosenos cuadrados de las variables tras rotación Quartimax:

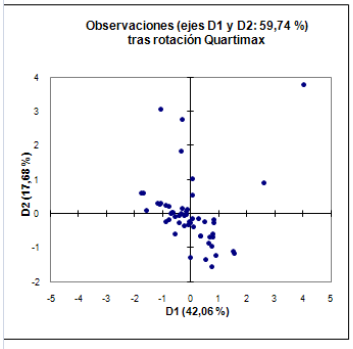
	D1	D2	D3
SDT	0,774	0,010	0,002
Cl	0,086	0,043	0,561
SO4	0,803	0,000	0,042
Ca	0,780	0,022	0,005
Na	0,072	0,018	0,622
Mg	0,667	0,025	0,077
NO3	0,187	0,415	0,010
Fe	0,026	0,643	0,000
Mn	0,392	0,416	0,006

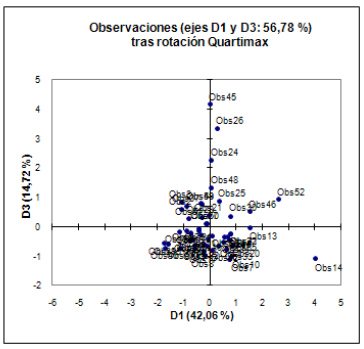
Coeficientes de transformación tras rotación Quartimax:

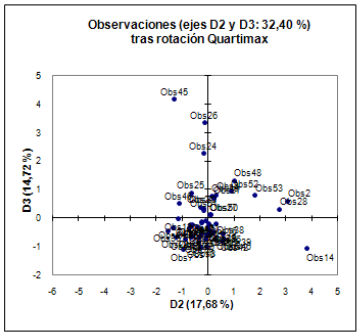
	D1	D2	D3
SDT	0,278	0,010	-0,209
Cl	-0,045	-0,120	0,593
SO4	0,241	-0,058	0,003
Ca	0,298	-0,149	-0,241
Na	-0,080	0,099	0,646
Mg	0,191	0,064	0,089
NO3	0,154	-0,434	-0,024
Fe	-0,001	0,504	0,016
Mn	0,142	0,379	-0,030

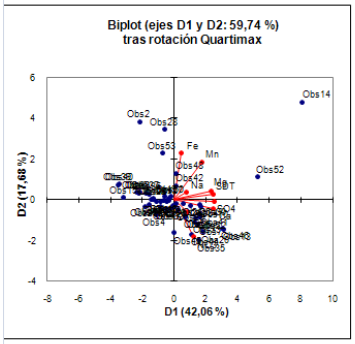
Coordenadas de las observaciones tras rotación Quartimax:

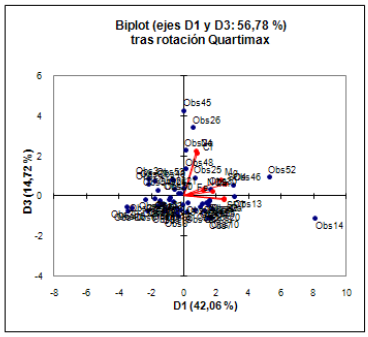
	D1	D2	D3
Obs1	0,341	-0,652	-0,666
Obs2	-1,069	3,059	0,595
Obs3	-1,080	0,291	0,814
Obs4	-0,554	-0,593	-0,642
Obs5	0,684	-0,704	-0,335
Obs6	-1,111	0,259	-0,732
Obs7	0,755	-0,960	-1,111
Obs8	-0,168	-0,039	-0,979
Obs9	-0,561	-0,076	-0,752
Obs10	0,832	-0,270	-1,019
Obs11	-0,329	-0,008	-0,294
Obs12	-0,215	-0,065	-0,580
Obs13	1,550	-1,154	-0,030
Obs14	4,015	3,792	-1,081
Obs15	-1,572	0,079	-0,602
Obs16	-0,716	0,016	-0,214
Obs17	-0,216	-0,361	-0,856
Obs18	-0,655	0,038	-0,406
Obs19	-0,042	-0,243	-0,421
Obs20	0,887	-1,228	-0,655
Obs21	-0,010	-0,275	0,374
Obs22	0,803	-0,689	-0,242
Obs23	0,112	-0,388	-0,324
Obs24	0,054	-0,162	2,261
Obs25	0,348	-0,650	0,861
Obs26	0,282	-0,147	3,343
Obs27	-0,147	0,068	0,103
Obs28	-0,299	2,754	0,301
Obs29	-0,639	0,027	-0,459
Obs30	0,810	-0,182	0,344
Obs31	-0,412	-0,069	-0,083
Obs32	-0,094	-0,329	-0,673
Obs33	0,640	-0,867	-0,757
Obs34	0,508	-0,228	-0,526
Obs35	0,758	-1,555	-0,457
Obs36	-0,780	0,213	-0,474
Obs37	-0,873	0,243	0,706
Obs38	-1,162	0,316	-0,187
Obs39	-1,741	0,590	-0,549
Obs40	-1,697	0,612	-0,728
Obs41	0,799	-0,589	-0,246
Obs42	0,080	0,547	-0,800
Obs43	-0,429	-0,255	-0,161
Obs44	0,554	-1,359	-0,365
Obs45	0,004	-1,296	4,160
Obs46	1,527	-1,104	0,508
Obs47	-0,895	-0,250	-0,129
Obs48	0,058	1,025	1,307
Obs49	-0,305	0,146	0,754
Obs50	-0,106	0,126	0,106
Obs51	-0,789	-0,172	0,265
Obs52	2,614	0,900	0,941
Obs53	-0,344	1,817	0,793

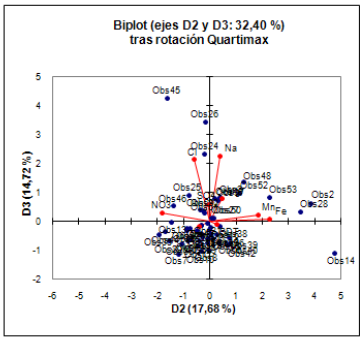












Cosenos cuadrados de las observaciones tras rotación Quartimax:

	D1	D2	D3
Obs1	0,096	0,350	0,365
Obs2	0,040	0,329	0,012
Obs3	0,292	0,021	0,166
Obs4	0,112	0,129	0,151
Obs5	0,341	0,361	0,082
Obs6	0,386	0,021	0,168
Obs7	0,139	0,224	0,300
Obs8	0,017	0,001	0,566
Obs9	0,225	0,004	0,404
Obs10	0,144	0,015	0,216
Obs11	0,129	0,000	0,103
Obs12	0,047	0,004	0,346
Obs13	0,308	0,171	0,000
Obs14	0,478	0,426	0,035
Obs15	0,530	0,001	0,078
Obs16	0,447	0,000	0,040
Obs17	0,042	0,115	0,651
Obs18	0,452	0,002	0,174
Obs19	0,001	0,029	0,088
Obs20	0,226	0,433	0,123
Obs21	0,000	0,097	0,178
Obs22	0,162	0,120	0,015
Obs23	0,026	0,306	0,214
Obs24	0,000	0,004	0,707
Obs25	0,033	0,115	0,201
Obs26	0,004	0,001	0,513
Obs27	0,030	0,007	0,015
Obs28	0,010	0,828	0,010
Obs29	0,348	0,001	0,180
Obs30	0,221	0,011	0,040
Obs31	0,127	0,004	0,005
Obs32	0,008	0,094	0,392
Obs33	0,150	0,276	0,211
Obs34	0,138	0,028	0,148
Obs35	0,108	0,455	0,039
Obs36	0,408	0,031	0,150
Obs37	0,231	0,018	0,151
Obs38	0,450	0,033	0,012
Obs39	0,699	0,080	0,070
Obs40	0,595	0,077	0,109
Obs41	0,299	0,162	0,028
Obs42	0,002	0,110	0,236
Obs43	0,109	0,039	0,015
Obs44	0,063	0,379	0,027
Obs45	0,000	0,042	0,435
Obs46	0,432	0,226	0,048
Obs47	0,270	0,021	0,006
Obs48	0,001	0,186	0,302
Obs49	0,062	0,014	0,381
Obs50	0,006	0,008	0,006
Obs51	0,176	0,008	0,020
Obs52	0,521	0,062	0,068
Obs53	0,026	0,729	0,139

7 RED DE MONITOREO DE CALIDAD EN SECTORES ACUÍFEROS SELECCIONADOS

7.1 Actual Red de monitoreo de calidad de aguas subterráneas de la DGA

Tabla 7.1: Ubicación de puntos de la red de monitoreo de calidad de aguas subterráneas de la DGA.

Estación	Código BNA	UTM Norte	UTM Este	Sector acuífero
POZO ALBARRACINES	01310075-6	7.953.175	371.502	Azapa
POZO GALLINAZOS	01110013-9	7.964.296	361.596	Lluta
POZO JICA B	01110012-0	7.964.929	364.115	Lluta
POZO JICA D	01700092-6	7.770.453	428.617	Pampa del Tamarugal
POZO JICA E	01700093-4	7.750.777	428.438	Pampa del Tamarugal
POZO JICA F	01700094-2	7.708.698	447.560	Pampa del Tamarugal
POZO JICA G	01700095-0	7.774.621	412.252	Pampa del Tamarugal
POZO LAONSANA (QDA. DE TARAPACÁ)	01700091-8	7.802.418	454.632	Pampa del Tamarugal
POZO QUEBRADA AROMA	01720005-4	7.807.960	429.192	Pampa del Tamarugal
POZO QUEBRADA CHACARILLA	01700096-9	7.717.351	464.839	Pampa del Tamarugal
POZO CHIU-CHIU	02104012-6	7.529.912	541.418	El Loa
POZO LOS CHOROS Nº1 C-3	04120018-9	6.757.704	276.566	Los Choros
POZO LOS CHOROS Nº4 B-2	04120019-7	6.750.351	300.131	Los Choros
POZO ASENTAMIENTO ALICAGUE	5200009-2	6.420.195	333.157	La Ligua
POZO CCU	05427017-8	6.347.952	287.074	Aconcagua
DREN LOS CALEOS	5454013-9	6.385.363	294.245	Aconcagua
POZO FUNDO ALGARROBAL	05736005-4	6.316.417	341.493	Maipo
POZO ASENTAMIENTO CENTRAL LO VARGAS	05736006-2	6.316.645	325.779	Maipo
POZO CLUB DE GOLF	05730040-K	6.302.373	352.344	Maipo
POZO AGRÍCOLA HERMANOS POBLETE	05737017-3	6.284.250	331.088	Maipo
POZO VERTEDERO CERROS DE RENCA	05730041-8	6.305.823	341.755	Maipo

Tabla 7.1: Ubicación de puntos de la red de monitoreo de calidad de aguas subterráneas de la DGA.

Estación	Código BNA	UTM Norte	UTM Este	Sector acuífero
POZO ESTADIO CORFO (LAS CONDES)	05730042-6	6.305.784	358.493	Maipo
POZO CEMENTERIO METROPOLITANO	05730043-4	6.289.333	342.126	Maipo
POZO PARQUE O`HIGGINS	05730044-2	6.296.207	345.851	Maipo
POZO ASENTAMIENTO MALLOCO	05737018-1	6.281.969	329.188	Maipo
POZO INIA	05730045-0	6.284.500	349.251	Maipo
POZO CRUCERO PERALILLO	05736007-0	6.306.062	328.170	Maipo
POZO CHACRA EL OLIVO	05730046-9	6.295.432	335.939	Maipo
POZO A.P.R. - CASA DE COLO COLO	05730048-5	6.307.448	335.965	Maipo
POZO CLUB DE GOLF	05730040-K	6.302.373	352.344	Mapocho Alto
POZO ESTADIO CORFO (LAS CONDES)	05730042-6	6.305.784	358.493	Mapocho Alto

7.2 Red de monitoreo de calidad de aguas subterráneas propuesta

7.2.1 Sector acuífero El Loa

Tabla 7.2: Ubicación de puntos de red de monitoreo de calidad de aguas subterráneas propuesta para sector acuífero El Loa.

Nº	Coord. UTM Este (PSAD56)	Coord. UTM Norte (PSAD56)	Características
1	498.800	7.513.900	Centro de área con pozos potenciales a muestrear
2	505.546	7.516.089	Centro de área con pozos potenciales a muestrear
3	549.100	7.500.100	Centro de área con pozos potenciales a muestrear
4	541.418	7.529.912	Pozo Red de Calidad DGA
5	600.400	7.529.400	Centro de área con pozos potenciales a muestrear
6	566.900	7.569.900	Centro de área con pozos potenciales a muestrear
7	454.504	7.517.941	Centro de área con pozos potenciales a muestrear
8	510.819	7.524.432	Centro de área con pozos potenciales a muestrear
9	534.720	7.517.920	Centro de área con pozos potenciales a muestrear
10	545.060	7.518.090	Centro de área con pozos potenciales a muestrear
11	535.220	7.523.281	Centro de área con pozos potenciales a muestrear
12	570.900	7.555.100	Centro de área con pozos potenciales a muestrear
13	575.500	7.551.100	Centro de área con pozos potenciales a muestrear
14	574.200	7.541.900	Centro de área con pozos potenciales a muestrear
15	579.800	7.536.700	Centro de área con pozos potenciales a muestrear
16	552.580	7.535..715	Centro de área con pozos potenciales a muestrear
17	562.750	7.534.525	Centro de área con pozos potenciales a muestrear
18	548.855	7.528.015	Centro de área con pozos potenciales a muestrear
19	546.734	7.561.671	Centro de área sin información de presencia de pozos
20	529.976	7.541.704	Centro de área sin información de presencia de pozos
21	547.090	7.487.508	Centro de área sin información de presencia de pozos
22	478.453	7.505.692	Centro de área sin información de presencia de pozos
23	473.640	7.516.032	Centro de área sin información de presencia de pozos
24	523.300	7.521.550	Centro de área con pozos potenciales a muestrear
25	538.741	7.500.761	Centro de área con pozos potenciales a muestrear
26	519.992	7.501.413	Centro de área sin información de presencia de pozos
27	498.064	7.501.413	Centro de área sin información de presencia de pozos
28	565.988	7.509.436	Centro de área sin información de presencia de pozos
29	585.150	7.521.300	Centro de área con pozos potenciales a muestrear
30	551.191	7.547.231	Centro de área sin información de presencia de pozos
31	591.631	7.547.368	Centro de área con pozos potenciales a muestrear
32	590.173	7.531.502	Centro de área con pozos potenciales a muestrear
33	589.000	7.564.000	Centro de área con pozos potenciales a muestrear
34	560.996	7.522.272	Centro de área sin información de presencia de pozos
35	573.297	7.526.194	Centro de área sin información de presencia de pozos
36	514.456	7.511.112	Centro de área con pozos potenciales a muestrear
37	560.020	7.543.287	Centro de área sin información de presencia de pozos
38	569.188	7.547.871	Centro de área sin información de presencia de pozos
39	562.312	7.553.028	Centro de área sin información de presencia de pozos

Tabla 7.2: Ubicación de puntos de red de monitoreo de calidad de aguas subterráneas propuesta para sector acuífero El Loa.

Nº	Coord. UTM Este (PSAD56)	Coord. UTM Norte (PSAD56)	Características
40	569.379	7.531.445	Centro de área sin información de presencia de pozos
41	556.391	7.514.828	Centro de área sin información de presencia de pozos
42	540.920	7.510.817	Centro de área sin información de presencia de pozos
43	527.550	7.508.907	Centro de área sin información de presencia de pozos
44	526.213	7.515.974	Centro de área sin información de presencia de pozos
45	542.639	7.538.894	Centro de área sin información de presencia de pozos
46	531.561	7.531.827	Centro de área sin información de presencia de pozos
47	521.438	7.527.434	Centro de área sin información de presencia de pozos
48	516.090	7.519.603	Centro de área sin información de presencia de pozos
49	502.146	7.508.334	Centro de área sin información de presencia de pozos
50	492.596	7.511.772	Centro de área sin información de presencia de pozos
51	533.280	7.492.672	Centro de área sin información de presencia de pozos
52	465.665	7.510.817	Centro de área sin información de presencia de pozos
53	488.012	7.500.312	Centro de área sin información de presencia de pozos

7.2.2 Sector acuífero Los Choros

Tabla 7.3: Ubicación de puntos de red de monitoreo de calidad de aguas subterráneas propuesta para sector acuífero Los Choros.

Nº	Coord. UTM Este (PSAD56)	Coord. UTM Norte (PSAD56)	Características
1	260.749	6.765.025	Pozo real muestreado anteriormente
2	262.304	6.761.630	Pozo real muestreado anteriormente
3	264.992	6.761.300	Pozo real muestreado anteriormente
4	269.201	6.758.551	Pozo real muestreado anteriormente
5	271.465	6.757.296	Pozo real muestreado anteriormente
6	272.857	6.754.934	Pozo real muestreado anteriormente
7	268.881	6.760.365	Pozo real muestreado anteriormente
8	269.952	6.761.326	Pozo real muestreado anteriormente
9	272.783	6.758.812	Pozo real muestreado anteriormente
10	274.532	6.758.105	Pozo real muestreado anteriormente
11	276.566	6.757.704	Pozo Red de Calidad DGA
12	272.109	6.762.677	Pozo real muestreado anteriormente
13	273.792	6.760.135	Pozo real muestreado anteriormente
14	267.254	6.759.283	Centro de área con pozos potenciales a muestrear
15	270.320	6.756.511	Centro de área sin información de presencia de pozos
16	272.263	6.754.151	Centro de área sin información de presencia de pozos

Tabla 7.3: Ubicación de puntos de red de monitoreo de calidad de aguas subterráneas propuesta para sector acuífero Los Choros.

Nº	Coord. UTM Este (PSAD56)	Coord. UTM Norte (PSAD56)	Características
17	274.836	6.756.389	Centro de área sin información de presencia de pozos
18	275.036	6.754.451	Centro de área sin información de presencia de pozos
19	267.284	6.764.209	Centro de área sin información de presencia de pozos
20	268.788	6.766.681	Centro de área sin información de presencia de pozos
21	263.207	6.763.975	Centro de área sin información de presencia de pozos
22	270.993	6.765.245	Centro de área sin información de presencia de pozos
23	264.678	6.766.514	Centro de área sin información de presencia de pozos
24	276.239	6.759.965	Centro de área sin información de presencia de pozos
25	258.429	6.767.550	Centro de área sin información de presencia de pozos
26	262.706	6.768.452	Centro de área sin información de presencia de pozos
27	267.351	6.769.087	Centro de área sin información de presencia de pozos
28	278.077	6.762.772	Centro de área sin información de presencia de pozos
29	275.404	6.769.087	Centro de área sin información de presencia de pozos
30	271.528	6.770.791	Centro de área sin información de presencia de pozos
31	276.607	6.765.846	Centro de área sin información de presencia de pozos

7.2.3 Sector acuífero Aconcagua

Tabla 7.4: Ubicación de puntos de red de monitoreo de calidad de aguas subterráneas propuesta para sector acuífero Aconcagua.

Nº	Coord. UTM Este (PSAD56)	Coord. UTM Norte (PSAD56)	Características
1	335.898	6.382.056	Centro de área con pozos potenciales a muestrear
2	354.968	6.366.256	Pozo real muestreado anteriormente
3	351.355	6.360.394	Pozo real muestreado anteriormente
4	342.550	6.364.731	Pozo real muestreado anteriormente
5	349.208	6.367.033	Pozo real muestreado anteriormente
6	345.394	6.370.319	Pozo real muestreado anteriormente
7	340.617	6.370.163	Pozo real muestreado anteriormente
8	339.458	6.374.451	Pozo real muestreado anteriormente
9	354.842	6.375.991	Pozo real muestreado anteriormente
10	348.644	6.381.922	Pozo real muestreado anteriormente
11	347.132	6.377.237	Pozo real muestreado anteriormente
12	336.518	6.379.767	Pozo real muestreado anteriormente
13	349.898	6.372.117	Centro de área sin información de presencia de pozos
14	309.828	6.366.405	Centro de área con pozos potenciales a muestrear
15	331.047	6.374.337	Pozo real muestreado anteriormente
16	326.607	6.371.510	Pozo real muestreado anteriormente
17	318.678	6.378.295	Pozo real muestreado anteriormente
18	317.648	6.374.127	Pozo real muestreado anteriormente
19	316.813	6.368.653	Pozo real muestreado anteriormente

Tabla 7.4: Ubicación de puntos de red de monitoreo de calidad de aguas subterráneas propuesta para sector acuífero Aconcagua.

Nº	Coord. UTM Este (PSAD56)	Coord. UTM Norte (PSAD56)	Características
20	322.036	6.369.217	Pozo real muestreado anteriormente
21	313.420	6.366.148	Pozo real muestreado anteriormente
22	318.603	6.364.522	Pozo real muestreado anteriormente
23	322.238	6.362.861	Pozo real muestreado anteriormente
24	320.409	6.361.004	Pozo real muestreado anteriormente
25	317.832	6.359.890	Pozo real muestreado anteriormente
26	307.295	6.367.677	Pozo real muestreado anteriormente
27	306.919	6.364.387	Pozo real muestreado anteriormente
28	300.769	6.366.281	Pozo real muestreado anteriormente
29	294.468	6.371.810	Pozo real muestreado anteriormente
30	291.468	6.366.494	Pozo real muestreado anteriormente
31	288.342	6.357.534	Pozo real muestreado anteriormente
32	285.243	6.355.495	Pozo real muestreado anteriormente
33	303.987	6.357.471	Pozo real muestreado anteriormente
34	302.761	6.361.078	Pozo real muestreado anteriormente
35	294.245	6.385.363	Pozo Red de Calidad DGA
36	294.201	6.380.895	Pozo real muestreado anteriormente
37	292.102	6.377.545	Pozo real muestreado anteriormente
38	294.717	6.374.869	Pozo real muestreado anteriormente
39	297.029	6.346.423	Pozo real muestreado anteriormente
40	294.140	6.345.363	Pozo real muestreado anteriormente
41	287.074	6.347.952	Pozo Red de Calidad DGA
42	283.170	6.350.180	Pozo real muestreado anteriormente
43	276.372	6.354.935	Pozo real muestreado anteriormente
44	267.570	6.354.486	Pozo real muestreado anteriormente
45	273.836	6.354.539	Pozo real muestreado anteriormente
46	315.216	6.364.730	Pozo real muestreado anteriormente
47	290.824	6.343.792	Centro de área con pozos potenciales a muestrear
48	298.219	6.369.666	Centro de área con pozos potenciales a muestrear
49	292.286	6.361.521	Centro de área con pozos potenciales a muestrear
50	277.709	6.351.044	Centro de área con pozos potenciales a muestrear
51	338.212	6.389.505	Centro de área con pozos potenciales a muestrear
52	341.114	6.395.723	Centro de área sin información de presencia de pozos

GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
DIRECCION GENERAL DE AGUAS

DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE SECTORES ACUÍFEROS

INFORME EJECUTIVO DE DIFUSIÓN

REALIZADO POR:
GEOHIDROLOGÍA CONSULTORES LTDA.

SANTIAGO, JULIO 2009

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

Ministro de Obras Públicas

Ingeniero Civil Sr. Sergio Bitar Ch.

Director General de Aguas

Abogado Sr. Rodrigo Weisner L.

Jefa Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos

Ingeniero Sra. Mesenia Atenas V.

Inspector Fiscal

Ingeniero Sra. María Eugenia Molina L.

GEOHIDROLOGÍA CONSULTORES LTDA.

Jefe de Proyecto

Ingeniero Civil Sr. José Muñoz P.

Especialistas

Ingeniero Civil Sr. José Muñoz P.

Ingeniero Civil Sr. Pablo Rengifo O.

Ingeniero Agrónomo Sr. Cristian Ortiz A.

Geóloga Sra. Laura Vitòria C.

Profesionales:

Ingeniero Civil Sr. Carlos Vásquez G.

Ingeniero Civil Sr. Nicolás Ramírez N.

Geógrafo Sr. Rodrigo López A.

Ingeniero Civil Sr. Pedro Sanzana C.

Geólogo Sr. Felipe García-Huidobro C.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS 1
2 RESUMEN DEL ESTUDIO 2
2.1 METODOLOGÍA DE CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS 2
2.1.1 Esquema general de la metodología 2
2.1.2 Cálculo de índice de calidad 5
2.1.3 Análisis temporal del índice de calidad 11
2.1.4 Análisis estadístico para determinar el origen de los compuestos disueltos 12
2.2 APLICACIÓN DE METODOLOGÍA DE CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS 13
2.2.1 Sector acuífero El Loa 13
2.2.2 Sector acuífero Los Choros 16
2.2.3 Sector acuífero Aconcagua 19
2.3 INSTRUMENTOS PARA LA PROTECCIÓN DE LA CALIDAD QUÍMICA DEL AGUA SUBTERRÁNEA 21
2.3.1 Aproximación de las medidas de protección en sectores acuífero estudiados 22
2.4 PROPUESTA DE MONITOREO DE LA RED DE MEDICIÓN DE LA DGA 33
3 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 37
3.1 CONCLUSIONES DEL PROYECTO 37
3.1.1 Desarrollo de la metodología 37
3.1.2 Instrumentos de protección 39
3.1.3 Red de monitoreo de calidad de aguas subterráneas 41
3.2 RECOMENDACIONES DE TRABAJOS FUTUROS 42
4 BIBLIOGRAFÍA 43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Esquema y diagrama de flujo de la metodología. 4

Figura 2.2: Índice de calidad general para el sector acuífero El Loa. 15

Figura 2.4: Índice de calidad general para el sector acuífero Aconcagua. 20

Figura 2.5: Captaciones subterráneas y fuentes potenciales de contaminación sector acuífero El Loa. 25

Figura 2.6: Captaciones subterráneas y mapa de índice de calidad sector acuífero Los Choros. 27

Figura 2.7: Vulnerabilidad sector acuífero Los Choros. 28

Figura 2.8: Captaciones subterráneas, fuentes potenciales de contaminación y resultados de la metodología en sector acuífero Aconcagua. 30

Figura 2.10: Vulnerabilidad sector acuífero Aconcagua. 32

Figura 2.11: Propuesta de muestreo sector acuífero El Loa. 34

Figura 2.12: Propuesta de muestreo sector acuífero Los Choros (sector costero). 35

Figura 2.13: Propuesta de muestreo sector acuífero Aconcagua. 36

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Criterios para establecer el IC general. 9

Tabla 2.2: Reclasificación temporal de la calidad química de aguas. 11

Tabla 2.3: Origen principal de parámetros en sector acuífero El Loa. 16

Tabla 2.4: Origen principal de parámetros en acuífero Los Choros. 18

Tabla 2.5: Origen principal de parámetros en sector acuífero Aconcagua. 21

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

La creciente demanda de agua asociada al desarrollo económico del país, provoca efectos sobre los sistemas hídricos no sólo en su disponibilidad sino que también en su calidad.

Actualmente, existe una intensa explotación de las aguas subterráneas, la que puede provocar el deterioro de su calidad por diferentes causas, entre ellas intrusión salina, contaminación difusa, etc. Además, la intensidad del re-uso del recurso implica un potencial deterioro de la calidad del agua de recarga a los acuíferos, incorporándose elementos potencialmente nocivos tales como fertilizantes, pesticidas, metales, lixiviación de suelos, etc.

En este contexto, la DGA licitó el estudio de "Diagnóstico y clasificación de sectores acuíferos" en búsqueda de desarrollar las bases para la caracterización, en términos de calidad química, de los recursos hídricos subterráneos, además de desarrollar metodologías que permitan proponer cuerpos normativos respecto a la protección dichos recursos.

De acuerdo a lo anterior, los objetivos generales del proyecto son:

- Desarrollar una metodología que caracterice sectores acuíferos en cuanto a la calidad química de los recursos hídricos subterráneos, estableciendo criterios para su protección.
- Aplicar esta metodología en sectores acuíferos previamente definidos en conjunto con la Autoridad, considerando los niveles de explotación, la calidad química, el riesgo de contaminación que presenten.
- Establecer y validar instrumentos de protección de acuíferos.

El estudio en su conjunto ha sido desarrollado en varias etapas. Primeramente se realizaron los estudios básicos correspondientes a la recopilación de antecedentes y análisis. Luego, en base a estos antecedentes se realizó el desarrollo y aplicación de Metodología de clasificación de sectores acuíferos. Finalmente se propusieron y discutieron los posibles instrumentos de protección de acuíferos de acuerdo a la realidad local. Adicionalmente, y de manera complementaria al desarrollo de la metodología se revisó la red de monitoreo de calidad de aguas subterráneas de la DGA y se realizó una propuesta de red de monitoreo óptima detallando sus características, para cada uno de los sectores acuíferos en estudio.

2 RESUMEN DEL ESTUDIO

2.1 Metodología de clasificación de acuíferos

La metodología diseñada para la clasificación de acuíferos en cuanto a la calidad de sus aguas, toma como base el análisis de todas las metodologías estudiadas y los antecedentes revisados. Esta metodología se ha desarrollado en base a los siguientes pilares fundamentales:

- El análisis de las concentraciones químicas medidas en el agua subterránea, tanto de parámetros de análisis común como de interés local.
- La comparación de las concentraciones observadas en el agua subterránea con diferentes normas de calidad.
- La generación y representación espacial y temporal de un índice de calidad mediante una herramienta de Sistemas de Información Geográfica (SIG).
- El análisis estadístico multivariado para visualizar las agrupaciones y correlaciones de elementos que posiblemente provienen de una misma fuente.

La validación de esta metodología fue realizada a través de su aplicación en los sectores acuífero El Loa, Los Choros y Aconcagua.

2.1.1 Esquema general de la metodología

La Figura 2.1 muestra un esquema general de la metodología, la cual permite por una parte, obtener los mapas de calidad de las aguas del acuífero a partir del cálculo de un índice de calidad (IC) para un instante o período dado, y por otro, determinar la o las fuentes de origen de los distintos parámetros químicos disueltos en ellas. También indica la potencialidad de realizar comparaciones temporales de la calidad en un mismo acuífero.

Para el cálculo del índice de calidad (IC), la metodología necesita obtener mapas de isoconcentración de cada uno de los parámetros químicos involucrados en el cálculo, los cuales representan también resultados parciales de la misma metodología. Estos mapas se utilizan para clasificar la calidad química de cada parámetro químico involucrado en el cálculo (IC individual) según la clasificación propuesta. Esta clasificación presenta un rango de variación continuo entre 0 (mejor) y 5 (peor), dividido en cinco clases de calidad: excepcional,

buena, regular, insuficiente e intratable. Posteriormente, a partir del IC individual se obtiene la calidad global del acuífero, IC general, adoptando criterios adecuados, presentados más adelante (sección 2.1.2.3), que consideren como base aquellos elementos químicos que presentan mayor riesgo para la salud humana. El IC general también toma valores en el rango continuo de 0 a 5, sin embargo su representación espacial es discretizada sólo en 5 clases.

Por otra parte, mediante un análisis estadístico se pretende identificar las fuentes (naturales o antrópicas) que determinan la presencia y/o concentración encontrada de los parámetros químicos en cada sector del acuífero, en base a relaciones existentes entre ellos.

A partir de la combinación de los resultados de cada análisis, tanto químico como temporal y estadístico, se obtienen mapas de la calidad química del acuífero, caracterizadas según su origen y/o tendencia temporal.

Las herramientas de interpolación espacial son uno de los puntos importantes de esta metodología, las que se utilizan para extrapolar a un área extensa las mediciones puntuales observadas de los parámetros de interés. Existen distintos métodos de interpolación que pueden ser utilizados, siempre bajo la hipótesis de que la concentración de los parámetros físico-químicos es continua en el espacio y que posee correlación espacial. El método de interpolación debe ser elegido bajo criterio experto tomando en cuenta al menos los siguientes aspectos:

- Cantidad y ubicación de los puntos muestreados.
- Superficie del acuífero.
- Tamaño de la grilla de interpolación.
- Relación entre los valores de la medición entre muestras cercanas.
- Geometría del acuífero y consideración de barreras naturales hidrogeológicas.
- Consideraciones especiales por diferencias de acuíferos muestreados.

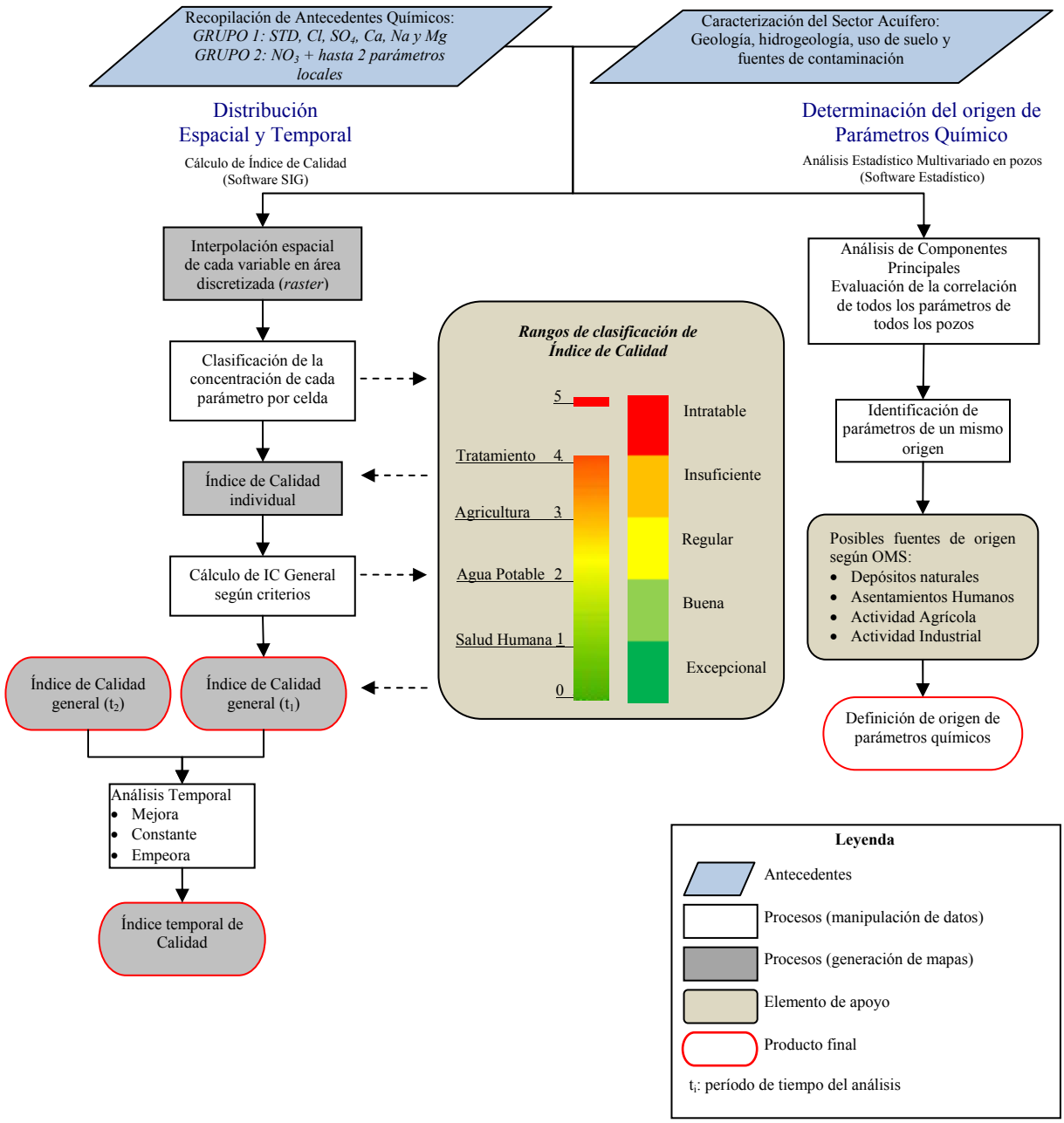


Figura 2.1: Esquema y diagrama de flujo de la metodología.

Otros de los puntos importantes en esta metodología es la elección de los parámetros relevantes a medir. La metodología contempla trabajar con dos grupos de parámetros:

- El primer grupo está conformado por los parámetros químicos Sólidos Disueltos Totales (SDT), Cloruros (Cl), Sulfatos (SO_4), Calcio (Ca), Sodio (Na) y Magnesio (Mg), que corresponden a parámetros comúnmente analizados en cualquier muestra de agua y que además son utilizados en la mayoría de las metodologías internacionales. Estos parámetros se encuentran siempre disueltos en las aguas en forma natural, y el aumento de sus concentraciones puede deberse a efectos antrópicos.
- El segundo grupo está conformado por parámetros químicos que dan cuenta de la singularidad de cada acuífero y está conformado por un máximo de tres parámetros: la concentración de Nitratos (NO_3), más la concentración de dos elementos minoritarios que pueden escogerse en forma libre para cada acuífero, siempre y cuando reflejen las particularidades del mismo, ya sea por causas naturales o antrópicas.

2.1.2 Cálculo de índice de calidad

2.1.2.1 Mapas de isoconcentración

La aplicación de la metodología requiere la generación de mapas de isoconcentración de cada uno de los parámetros en estudio, a partir de una base de datos químicos convenientemente depurada considerando el balance iónico, la temporalidad, unidad hidrogeológica de interés, límites de detección, y chequeo de valores anormales. Los mapas de isoconcentración se generan con herramientas SIG, en base a un método de interpolación espacial, aceptando la hipótesis que las concentraciones de los parámetros físico-químicos son continuas y que están correlacionadas en el espacio.

Posteriormente, cada uno de los mapas es subdividido en un conjunto de celdas regulares (rasterización), conocidas como *raster*, las cuales podrán tener distinto tamaño según la extensión del acuífero que se esté estudiando, su morfología y densidad de puntos con información química.

2.1.2.2 Índice de calidad individual por parámetro

Después de generar los archivos en formato *raster* con la concentración de cada parámetro químico obtenido en cada una de las celdas, se procede a la clasificación de cada celda a partir de la escala de valores del índice de calidad.

El índice de calidad (IC) de una celda, para cada uno de los parámetros, se obtiene mediante la interpolación lineal entre las concentraciones límites de cinco clases de calidad (C1, C2, C3, C4 y C5) asociados a los valores de corte (VC1, VC2, VC3 y VC4).

Las cinco clases de calidad corresponden a diferentes condiciones cualitativas de la calidad del agua subterránea, en base a valores de corte o límites provenientes de normativas vigentes y/o recomendaciones sanitarias, tal como se presenta a continuación.

- Valor de corte 1 (VC1) define la concentración máxima de calidad *Excepcional* (C1). Se define en base a recomendaciones de concentración máxima de un parámetro químico, que toma en cuenta la salud humana o bien la aceptabilidad del agua potable dada por su sabor. Por lo tanto, toma concentraciones que aseguran la no afectación a la salud humana o su percepción de las características organolépticas del agua que consume. La referencia principal de este valor son las indicaciones de la Organización Mundial de la Salud respecto a la calidad del agua para consumo humano[1].
- Valor de corte 2 (VC2) define la máxima concentración para la calidad *Buena* (C2). Se define en base a las exigencias sobre las características de concentración máxima permitida en el agua potable por una normativa legal. En este caso, la principal referencia es la normativa chilena respecto a los requisitos del agua potable NCh409 (INN, 2005). En el caso que esta norma no establezca límite para un parámetro de interés se toma como referencia otras fuentes como OMS[1], USEPA[2], o normas del Consejo de la Unión Europea[3] (CE).

[1] Guidelines for Drinking-water Quality de OMS (2006).

[2] NPDWR y NSDWR, de la USEPA (2009).

[3] Directiva 98/83/CE 3 Nov. 1998, del Consejo de la Unión Europea.

- Valor de corte 3 (VC3) define la máxima concentración de calidad *Regular* (C3). Se define en base a recomendaciones y/o especificaciones de concentración máxima de elementos en el agua subterránea para ser utilizada en la actividad agrícola. La referencia principal proviene de la *Water Quality for Agriculture* de la FAO (1994), sin embargo se considera también la norma chilena de riego, NCh1333 (INN, 1996).

- Valor de corte 4 (VC4) define la máxima concentración de calidad *Insuficiente* (C4). Se define como la concentración máxima de un cierto compuesto o elemento químico presente en el agua subterránea, de modo que permita ser tratada y alcanzar la calidad de agua potable definida por la normativa establecida. La estimación de este valor depende de las tecnologías de tratamiento disponibles y de su efectividad de remoción de cada parámetro, considerando aspectos técnicos y económicos. Se han considerado dos referencias principales, primero el criterio propuesto por SISS (INN, 2008) para definir el tipo de tratamiento necesario cuando se supera determinado nivel de concentración, y segundo, la clasificación de rangos de efectividad encontrados en la literatura técnica (HAMANN, y otros, 1990; LANKFORD y ECKENFELDER, 1990; PONTIUS, 1996 y MENA, 2007).

  La estimación del valor de corte 4 queda establecida por la siguiente ecuación (Ec. 1), en donde el valor límite (VL) es el valor definido para aguas tipo III de acuerdo a la SISS (INN, 2008) o en su defecto el valor para la clase C2, y % Eficiencia Remoción indicado en la Ec. 1, para cada parámetro.

$$C4 = \frac{VL}{1 - \%\text{Eficiencia Remoción}} \qquad \text{Ec. 1}$$

- Los parámetros con concentraciones por sobre valor de corte 4 son clasificados como *Intratables* (C5). Hay que considerar que al haber adoptado un valor intermedio de remoción para la definición del valor de C4, las aguas de esta clase no se refiere, en términos estrictos, a aguas que no se pueden tratar, sino más bien que el tratamiento requerido para cumplir normativa de agua potable, de ser posible, sería con procesos que aseguren una mayor eficiencia, por lo que probablemente más complejos y costosos.

2.1.2.3 Cálculo del IC general

Una vez que se dispone del IC individual de cada parámetro es posible obtener el IC general del sector acuífero. Se definió que los criterios para definir el IC general dependieran principalmente del IC de los elementos químicos que, de acuerdo a la norma chilena de agua potable vigente, afecten la salud humana (Tabla 2.1), y buscan reflejar que la calidad del acuífero esté definida por el parámetro de peor calidad, de manera de ser consistente con los objetivos de la DGA. Los criterios se presentan en la Tabla 2.2 y se aplican para cada celda del sector acuífero de acuerdo a la interpolación generada (archivo *raster*).

Tabla 2.1: Elementos o sustancias químicas de importancia para la salud (Tipo II) según NCh409/1Of.2005.

Elementos esenciales	**Elementos no esenciales**	**Sustancias orgánicas**	**Plaguicidas**	**Productos secundarios de la desinfección**
Cobre	Arsénico	Teracloroeteno	DDT	Monocloroamina
Cromo	Cadmio	Benceno	DDD	Dibromoclorometano
Fluoruro	Cianuro	Tolueno	DDE	Bromodiclorometano
Hierro	Mercurio	Xilenos	2.4-D	Tribromometano
Manganeso	Nitrato		Lindano	Triclorometano
Magnesio	Nitrito		Metoxicloro	Trihalometanos
Selenio	Plomo		Pentaclorofenol	
Zinc				

Fuente: INN (2005).

Tabla 2.2: Criterios para establecer el IC general.

Condición IC individual		Resultado IC general	Expresión
Si existe un parámetro con IC Intratable	→	IC general es Intratable	$Si\ \ IC_{individual} > 4$ $IC_{general} = 5$
Si alguno de los parámetros que afectan la salud humana, según NCh409, presentan IC Bueno, Regular o Insuficiente	→	IC general es el peor IC individual de todos los parámetros	$Si\ \ 1 < IC_{individual} \leq 4$ $IC_{general} = \underset{i=parametro}{Max}\left(IC_i\right)$
Si todos los parámetros que afectan la salud humana, según NCh409, presentan IC Excepcional	→	IC general es el promedio aritmético del IC individual de todos los parámetros	$Si\ \ IC_{individual} \leq 1$ $IC_{general} = \frac{\sum_{i=parametro} IC_i}{n^o\ parametros}$

A partir de lo anterior se obtiene un valor para el IC general del sector acuífero en el rango continuo entre 0 y 5, sin embargo para efectos de la visualización se utiliza una escala discreta de las cinco clases establecidas. La interpretación de la calidad según el IC general está definida en base a los criterios utilizados para su determinación, es decir los parámetros que afectan a la salud humana y/o que presenten la peor calidad química. A continuación se describe la interpretación de los valores que puede tomar el IC general, sin embargo se recalca que debido a los criterios definidos, ésta debe ser complementada con los IC individuales.

Calidad Excepcional ($0 \leq IC_{general} \leq 1$): Implica que todos los parámetros definidos por la norma NCh409 como de importancia para la salud (elementos esenciales y no esenciales, sustancias orgánicas, plaguicidas y productos secundarios de la desinfección), presentan IC Excepcional y que el IC final está dado por el promedio aritmético de todos los parámetros seleccionados. Por lo tanto, la calidad excepcional permite asegurar que entre los parámetros seleccionados ninguno afecta a la salud humana, aunque el resto de parámetros presentes puede tener calidad Regular o Insuficiente. Sin embargo la situación esperada es que el resto de parámetros seleccionados presenten calidad Buena o Excepcional, en cuyo caso estas aguas con IC Excepcional no afectan la salud humana y cumplirían con criterios de aceptabilidad del agua potable. Para una interpretación más completa será necesario analizar el IC individual del resto de parámetros que no afecten la salud humana, por ejemplo para definir la existencia de

afectación antrópica, el nivel de dureza, la clasificación como fuente de agua potable según la SISS o las limitaciones de uso.

Calidad Buena ($1 < IC_{general} \leq 2$): Esta situación puede darse tanto porque existe algún parámetro que afecta a la salud humana (según normativa NCh409) que presenta IC individual Bueno y el resto presenta IC Bueno o Excepcional, o bien los parámetros de importancia para la salud humana, según normativa NCh409, presentan IC Excepcional y el resto de parámetros presenta IC Buena, Regular y/o Insuficiente. De este modo las aguas clasificadas con IC Bueno no afectan a la salud humana, sin embargo podrían presentar concentración elevada en algunos parámetros que reflejen afectación antrópica o limiten su uso. Una interpretación más detallada requiere del análisis del IC individual.

Calidad Regular ($2 < IC_{general} \leq 3$): Esta calidad puede ser reflejo que al menos uno de los parámetros que afectan la salud humana (según normativa NCh409) tiene IC Regular mientras el resto presenta IC Regular, Bueno y/o Excepcional. Sin embargo, también puede ocurrir cuando la concentración de parámetros relevantes a la salud humana no son altos (IC Bueno o Excepcional) y existe uno o más del resto de parámetros con IC Regular. Por lo tanto, el IC Regular corresponderá principalmente a aguas que afectan a la salud humana, aunque no se descarta que las aguas no sean nocivas para la salud humana y sea el resto de los parámetros seleccionados los que definen la calidad general. Dado esto, se debe analizar el IC individual para definir con mejor detalle limitaciones de uso o afectación antrópica.

Calidad Insuficiente ($3 < IC_{general} \leq 4$): Esta situación puede reflejar que existe al menos un parámetro nocivo para la salud humana (según normativa NCh409) que presenta IC Insuficiente, es decir que limita su uso en agricultura. Sin embargo, también puede producirse cuando los parámetros que afectan la salud humana tienen IC Bueno o Excepcional, pero existe al menos uno del resto de parámetros con IC Insuficiente. Por lo tanto, el IC Insuficiente corresponde a aguas que no pueden ser usadas en la agricultura ni menos para el consumo humano, debido a que al menos uno de los parámetros seleccionados, tanto nocivos o no nocivos para la salud humana supera las recomendaciones.

Calidad Intratable ($IC_{general}$ = 5): Esta situación define cuando existe al menos un parámetro de los seleccionados que presenta una calidad intratable, ya sea que afecte o no a la salud humana. Estos niveles son tales que dificultan enormemente su tratamiento, pues exigen procesos de tratamiento de alta eficiencia, y probablemente asociado a mayor complejidad y costos. En definitiva esta agua presentaría limitaciones para la mayoría de los usos.

2.1.3 Análisis temporal del índice de calidad

Mediante un análisis temporal se busca complementar la caracterización de la calidad química de aguas en un sector acuífero. El análisis temporal de la metodología permite conocer la evolución o tendencia de la calidad del agua en el tiempo o en dos momentos dados, pudiendo ésta empeorar, mejorar o mantenerse. En términos generales la evaluación de este cambio temporal consiste en comparar el IC proveniente de mapas de calidad del mismo sector acuífero, pero en distintos momentos o entre un tiempo reciente y la situación de la línea base.

En el caso que el análisis temporal se realice entre dos momentos dados, la evaluación consiste en determinar el cambio porcentual entre el IC inicial y final, con respecto a la situación inicial. La evaluación de la tendencia temporal se realiza a partir de la regresión lineal de la serie temporal de datos, para luego establecer que si existe tendencia al incremento (pendiente positiva) la calidad empeora, o si la tendencia es decreciente (pendiente negativa) la calidad mejora, o bien si la tendencia es constante (pendiente nula) la calidad se mantiene inalterada.

Considerando la variable temporal en la metodología es posible obtener un nuevo mapa del sector acuífero que refleje la calidad del agua subterránea considerando la variación temporal del índice de calidad. Para esto se plantea una nueva clasificación en base al cruce entre las clases de calidad y la clase temporal según la Tabla 2.3.

Tabla 2.3: Reclasificación temporal de la calidad química de aguas.

Clase temporal	Clase de Calidad: Excepcional	Bueno	Regular	Insuficiente	Intratable
Empeorando					
Constante					
Mejorando					

Fuente: Adaptado de PASSARELLA y CAPUTO (2006).

2.1.4 Análisis estadístico para determinar el origen de los compuestos disueltos

El origen de los compuestos disueltos que definen la calidad de las aguas subterráneas puede identificarse en base a los antecedentes disponibles de la zona de estudio como el uso de suelo, catastro de actividades antrópicas, etc. Cuando no se dispone de esta información o ésta no es lo suficientemente precisa como para determinar el origen de la calidad química del acuífero, pueden utilizarse herramientas estadísticas aplicadas a la concentración de los elementos o compuestos químicos presentes en el agua subterránea. En particular para el estudio de la hidrogeoquímica es utilizado el Análisis de Componentes Principales (ACP), ya que tiende a develar factores latentes que existen entre los parámetros físico-químicos de un acuífero (TOLOSANA-DELGADO, y otros, 2005) y con ello permite agrupar parámetros que se encuentren correlacionados, y por ende reconocer grupos de características similares (LOVE, y otros, 2004).

El ACP es una técnica estadística de síntesis de la información, o reducción de la dimensión (número de variables). Es decir, ante un banco de datos con muchas variables, el objetivo será reducirlas a un menor número perdiendo la menor cantidad de información posible.

Los nuevos componentes principales o factores serán una combinación lineal de las variables originales, y además serán independientes entre sí. La interpretación de estos factores principales y su relación con las variables originales puede asociar estas variables a fuentes de origen común.

Bajo esta perspectiva la metodología considera en primer lugar, desarrollar un ACP a la base de datos (en el período de tiempo de estudio, por ejemplo un año) de valores de concentración de los parámetros en los puntos de muestreo, obteniendo al final de éste grupos de parámetros químicos que probablemente provienen desde una misma fuente. En segundo lugar, para identificar las fuentes comunes se cruza la información obtenida con referencias disponibles, por ejemplo actividad industrial en el sector acuífero o correlaciones realizadas por la OMS (2007) entre distintos compuestos en las aguas subterráneas, y así identificar el origen común de los compuestos disueltos, por ejemplo agricultura, industria, aguas servidas, etc.

2.2 Aplicación de metodología de clasificación de acuíferos

La aplicación de la metodología se realizó para tres acuíferos: El Loa, Los Choros y Aconcagua.

Todos los cálculos se realizaron bajo la plataforma ArcGIS®, aunque con el apoyo de Excel®, donde se realizó la interpolación y las posteriores clasificaciones del IC individual y el IC general. Se eligió esta plataforma debido a que contiene una gran cantidad de opciones de interpolación y contiene opciones de cálculo. Cada uno de estos cálculos arroja como resultado mapas de los acuíferos donde se representa espacialmente los distintos índices de calidad.

2.2.1 Sector acuífero El Loa

Este acuífero está ubicado en la II Región de Antofagasta, al interior de la cuenca del Río Loa y posee un comportamiento exorreico. Los escurrimientos principales son el río San Pedro, El Loa, Salado y El Salvador y las quebradas Llalqui y León. El acuífero posee un área de 7.950 km^2 y se extiende desde el valle central hasta la Cordillera de los Andes. Entre las ciudades importantes se puede mencionar a Calama.

La hidrogeología del sector acuífero la componen depósitos no consolidados, con rocas volcánicas fracturadas y rocas carbonatadas, en tres zonas características: Calama, Llalqui y León. Existen dos acuíferos, uno superior de condición libre y con espesor máximo de 100 m, y otro inferior del tipo confinado y cuyo espesor puede alcanzar los 200 m. Ambos acuíferos se encuentran separados por un estrato confinante con espesor entre 0 y 200 m (DICTUC, 2005).

La metodología describe la calidad de un acuífero, por lo que en este sector acuífero como se reconocen dos, uno superior libre y otro inferior confinado, sería necesario aplicarla a cada uno de ellos en forma independiente. En el presente informe sólo se aplicó la metodología al acuífero superior por contar con más datos y revestir mayor riesgo de afectación antrópica.

2.2.1.1 Índice de calidad

De acuerdo a la metodología, se analizaron los dos grupos de parámetros, en que el primer grupo está conformado por los parámetros obligatorios (SDT, Cl, SO_4, Ca, Na y Mg). Además

del NO_3, para el segundo grupo sólo se eligió el Arsénico (As), ya que es el único parámetro que cuenta con datos en todos los puntos seleccionados y que presenta valores elevados en la zona.

Cabe destacar que la escasez de datos disponibles no permite obtener una correcta interpolación en todo el sector acuífero, y por tanto la calidad sólo puede definirse en un área reducida en torno a los pozos disponibles. En este caso se consideró adecuado que cada pozo o dato disponible es representativo de 200 km^2. La Figura 2.2 presenta el mapa de IC general para el sector acuífero El Loa. Se aprecia una importante zona con IC Intratable, debido principalmente a los Cloruros y SDT, aunque el Arsénico también contribuye en el extremo sureste. El resto del área presenta mayoritariamente IC Regular.

La distribución espacial del IC muestra claramente el efecto de aumento natural de la concentración, en el sector oriental del acuífero, donde se alcanzan altas concentraciones de As, Cl y SDT, producto de la actividad volcánica en el sector del Tatio. Por otra parte en el sector nororiente se observa una calidad mejor del agua debido a que se está cerca de las zonas de recarga del sistema acuífero. Finalmente el sector poniente presenta mala calidad, que puede ser el reflejo de la mezcla de efectos naturales y antrópicos, dada su ubicación cercana a un centro urbano.

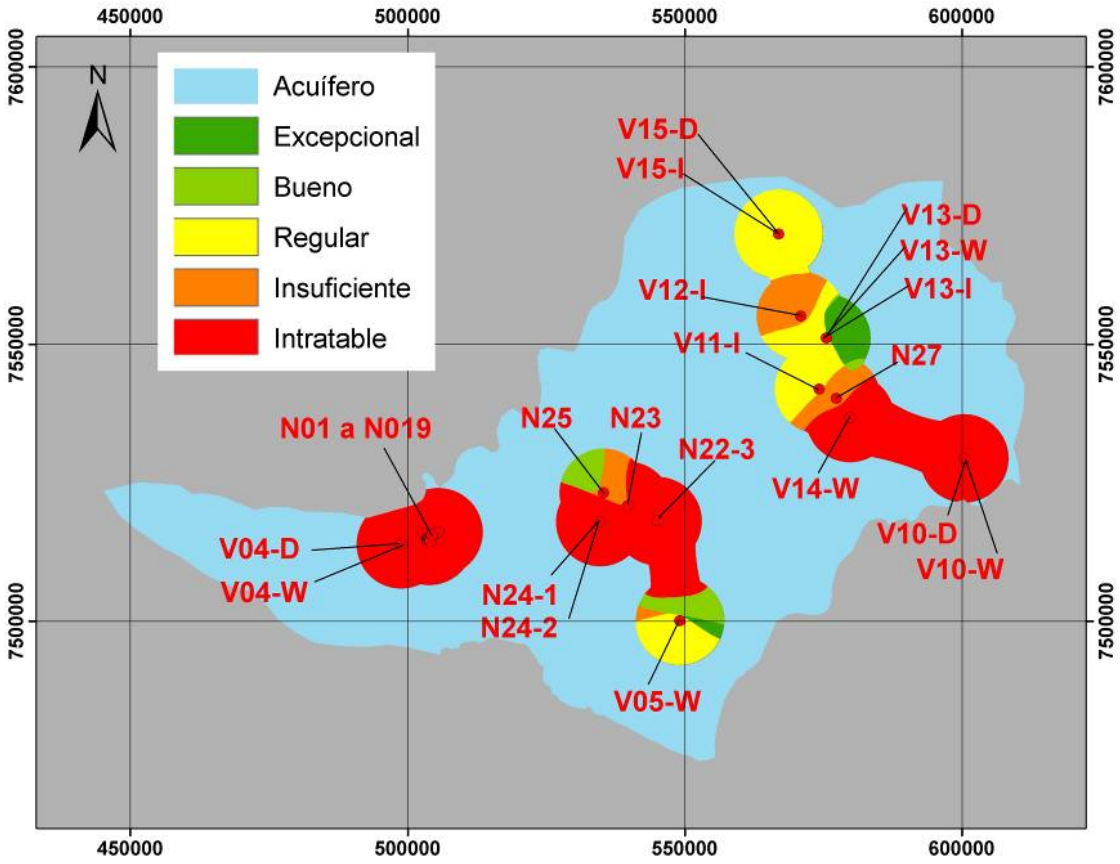


Figura 2.2: Índice de calidad general para el sector acuífero El Loa.

2.2.1.2 Análisis estadístico ACP

Para obtener la caracterización de posibles fuentes u origen de la calidad química en el sector acuífero El Loa, se realiza el análisis de componentes principales con el apoyo de una rutina establecida en el programa computacional XLSTAT® acoplado al *software* Excel®, y siguiendo cada uno de los pasos presentados en la metodología.

De acuerdo al análisis realizado se elaboró la Tabla 2.4 en donde se presenta cada uno de los parámetros elegidos y el origen principal obtenido del ACP.

Tabla 2.4: Origen principal de parámetros en sector acuífero El Loa.

Parámetros	Origen principal
Na, Cl, SDT, Ca	Natural (condiciones hidrogeoquímicas)
Mg	Natural (condiciones hidrogeoquímicas)
NO_3	Antrópico (industrial y/o asentamiento urbano)
SO_4	Natural y Antrópico (industrial minería)
As	Natural y Antrópico (industrial minería)

2.2.1.3 Conclusiones

En general, el acuífero presenta aguas subterráneas de mala calidad química, ya que predominan zonas con IC Regular a IC Intratable. Esta situación se debe a altos niveles de SDT, Cl y As. Tanto el Cl como SDT tienen un origen natural producto de condiciones hidrogeoquímicas del acuífero. Mientras que el As tendría un origen mixto, es decir natural y antrópico.

2.2.2 Sector acuífero Los Choros

Este acuífero se ubica en la IV Región de Coquimbo, al interior de la cuenca Los Choros que tiene comportamiento exorreico. Los principales cauces son Quebrada el Pelicano, quebrada los Pedernales y Quebrada Los Choros. Este acuífero posee un área total de 4.173 km^2 y se desarrolla en la depresión intermedia y zona costera. La hidrogeología del sector está compuesta por rocas sedimentarias y mixtas sedimento-volcánicas, además de encontrarse rocas plutónicas e hipabisales. En el área de estudio, comprendida en parte por subsector acuífero Los Choros Bajos y Playa Los Choros, en el sector costero, se reconoce un único acuífero con espesor de relleno entre 10 y 200 m, en donde se mezclan arcillas, limos, arena y gravas (DGA, 2005).

El uso de suelo es predominantemente agrícola, mediante cultivos tales como olivos, hortalizas, maíz y cítricos. Respecto a los derechos de aprovechamiento del recurso subterráneo destaca el riego (agrícola), posteriormente agua potable y finalmente minería.

Existen antecedentes respecto a problemas de intrusión salina en la zona de estudio (DGA, 2005), el cual se acrecienta por efecto del bombeo que realiza el sector agrícola en la zona más cercana a la costa.

2.2.2.1 Índice de calidad

De acuerdo a la metodología, se analizaron los dos grupos de parámetros, en que en el primer grupo se analizaron los parámetros obligatorios (SDT, Cl, SO_4, Ca, Na y Mg). Además del NO_3, para el segundo grupo se escogió el Hierro (Fe) y el Aluminio (Al), ya que presentaron valores más elevados que el resto de parámetros minoritarios disponibles (K, Mo, Ni, Hg, y PO_4).

En la Figura 2.3 se aprecia el mapa de IC general para el sector acuífero Los Choros, donde se observa zonas con IC Insuficiente e IC Regular. En la parte este se aprecia una pequeña área con IC Insuficiente que responde a la conjunción de las concentraciones de SDT y Al. También al este, pero entorno a punto LC15 se tiene IC Insuficiente pero de carácter puntual, y que responde al SDT y al Mg (que afecta a la salud humana según normativa NCh409). La intrusión salina se muestra en la zona noroeste con IC Regular e IC Insuficiente, debido a la calidad del SDT en donde el Mg presenta IC Bueno o IC Regular. En la zona sureste se aprecia un área con IC Regular que se explica por el Al en un pozo ubicado en zona urbana. El resto del área que posee valores de IC Bueno y Excepcional, se debe al promedio de todos los parámetros.

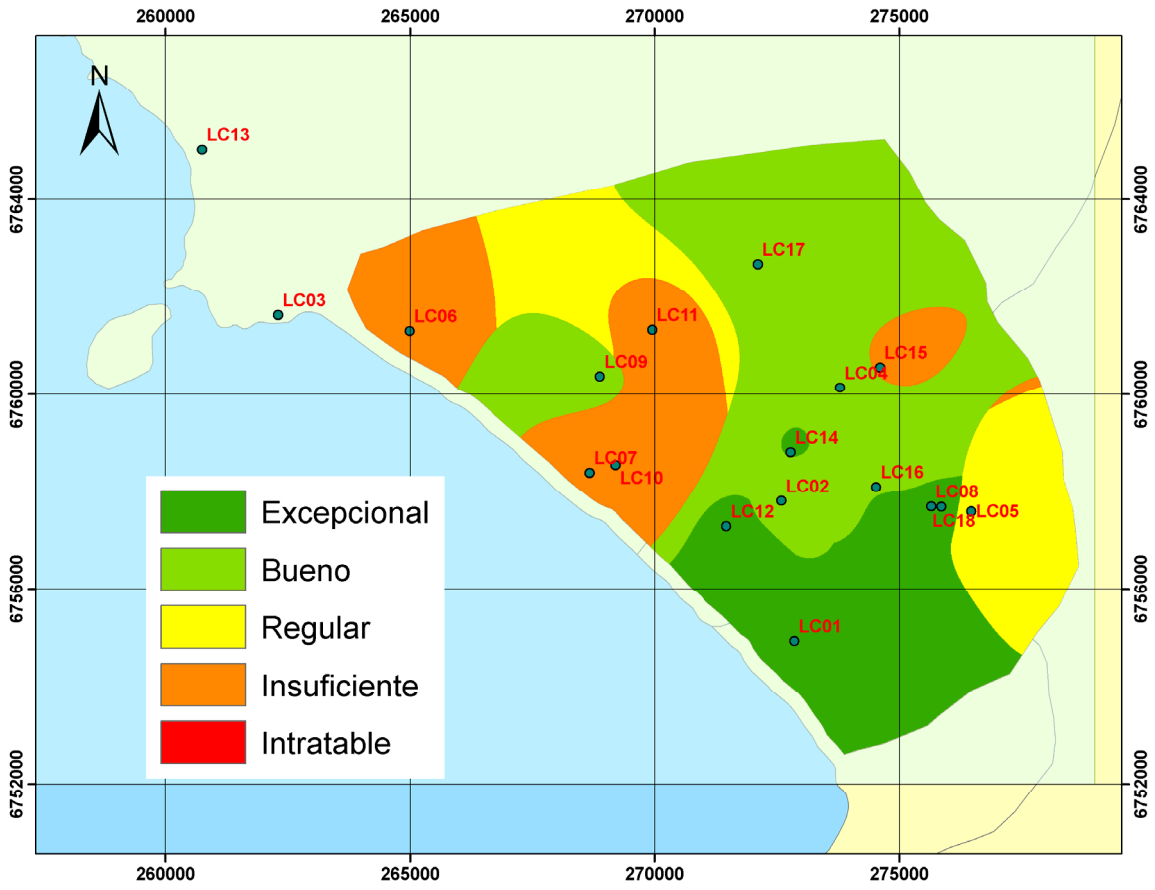


Figura 2.3: Índice de calidad general para el sector acuífero Los Choros.

2.2.2.2 Análisis estadístico ACP

De acuerdo al análisis realizado se elaboró la Tabla 2.5 en donde se presenta cada uno de los parámetros elegidos y la fuente u el origen principal obtenido del ACP.

Tabla 2.5: Origen principal de parámetros en acuífero Los Choros.

Parámetros	Origen principal
Na, Cl, SDT, Mg	Natural (intrusión salina)
SO_4, Ca	Natural
NO_3, Al	Antrópico (asentamiento urbano)
Fe	Antrópico (estado de pozos)

2.2.2.3 Conclusiones

En general, la calidad química de las aguas subterráneas de este acuífero se encuentra entre IC Excepcional a Regular en su parte central y con IC Regular e IC Insuficiente hacia el noroeste y hacia el este. La zona con IC Regular al sureste se ubica en las cercanías del pueblo, con valores más elevados de Aluminio y Nitratos. Su origen se asocia principalmente a contaminación característica de asentamientos urbanos. Se logra reconocer la intrusión salina, al noroeste de la zona de estudio, asociado a parámetros SDT, Cl, Na y Mg, y con IC Regular e IC Insuficiente. Las zonas con IC Bueno e IC Excepcional en la parte central son el resultado que todos los parámetros presentan valores bajos y que no afectan a la salud humana.

2.2.3 Sector acuífero Aconcagua

El sector acuífero del río Aconcagua se ubica en la V Región de Valparaíso, en la cuenca del río Aconcagua y es de tipo exorreica. La red de drenaje superficial está constituida por los siguientes ríos principalmente: Estero Pocuro, Estero San Francisco, Río Putaendo, Estero de Catemu, Estero El Melón y Río Aconcagua. El área superficial del acuífero corresponde a 1.156 km^2 y se extiende a través de la zona costera, Cordillera de la Costa y Valle Central. Los centros urbanos que destacan son Concón, Quillota, La Calera, San Felipe y Los Andes.

La hidrogeología de la zona se desarrolla en depósitos no consolidados, que poseen como relleno rocas sedimentarias y mixtas sedimento-volcánicas. Sólo en sectores de Las Vegas, Llay-Llay, parte de Desembocadura y, posiblemente en Catemu, es posible reconocer más de un acuífero, donde el inferior tiene algún grado de confinamiento. El espesor del acuífero superficial es variable según los distintos sectores: San Felipe-Los Andes entre 50 a 100 m, Putaendo entre 70 y 150 m, Las Vegas entre 35 y 80 m, Llay-Llay entre 5 y 30 m, Rabuco entorno a 20 m, Quillota entre 35 y 90 m, Limache entre 60 y 115 m, Desembocadura entre 10 y 150 m, y en Nogales y Catemu se desconoce (DGA, 2001).

2.2.3.1 Índice de calidad

De acuerdo a la metodología, se analizaron los dos grupos de parámetros, en que el primer grupo está conformado por los parámetros obligatorios (SDT, Cl, SO_4, Ca, Na y Mg). Además del NO_3, para el segundo grupo sólo se eligieron Hierro (Fe) y el Manganeso (Mn), ya que

presentan valores importantes en las mediciones efectuadas frente al resto de parámetros disponibles (K, Al, Cu, Mo, Hg, Ni y Ba). Por otra parte, de acuerdo a la literatura (DESPOUY, 2005), en la V región estos metales junto al Aluminio, Molibdeno y Bario presentan contenidos elevados con origen natural en esta zona.

En la Figura 2.4 se aprecia el mapa de IC general para el sector acuífero Aconcagua, y donde se aprecia cuatro zonas con IC Insuficiente, debidas principalmente al Manganeso. El resto del área posee en general un IC entre Bueno y Regular debido principalmente a Nitratos al centro y al oeste, y al Hierro en el extremo este. Los valores altos de manganeso y hierro parecen estar asociados a la actividad industrial.

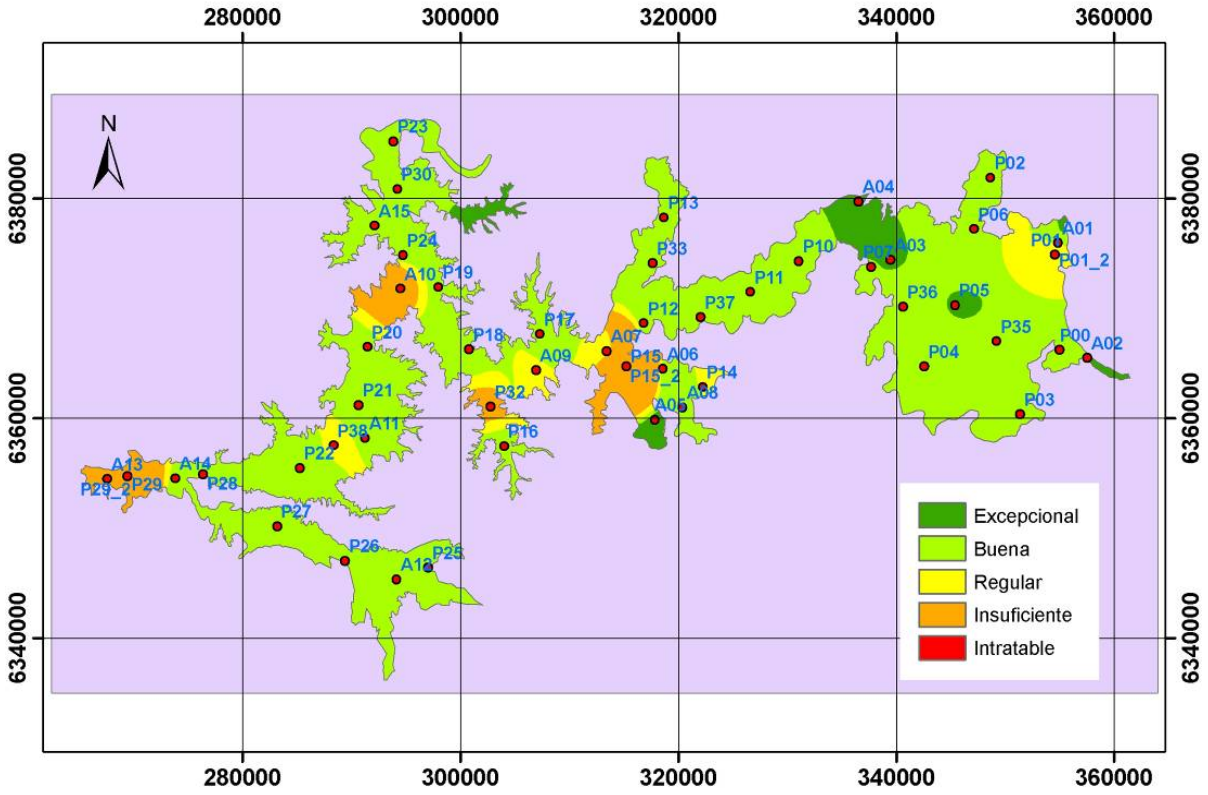


Figura 2.4: Índice de calidad general para el sector acuífero Aconcagua.

2.2.3.2 Análisis estadístico ACP

De acuerdo al análisis realizado se elaboró la Tabla 2.6 en donde se presenta cada uno de los parámetros elegidos y la fuente u origen principal obtenido del ACP.

Tabla 2.6: Origen principal de parámetros en sector acuífero Aconcagua.

Parámetros	Origen principal
Na, Cl	Natural
SDT, Mg, SO_4, Ca	Natural
Fe, Mn	Antrópico (industrial) y Natural
NO_3	Antrópico (agricultura)

2.2.3.3 Conclusiones

En general se aprecia que la calidad de las aguas de este acuífero es Buena, sin embargo existen zonas donde la calidad empeora hasta ser Insuficiente. El IC Bueno generalizado está marcado por los niveles de NO_3, los que reflejan una afectación antrópica cuyo origen principal sería la actividad agrícola. Las zonas con peor calidad (IC Regular e IC Insuficiente) se deben a valores aún más elevados de NO_3, así como de Mn y Fe. La ubicación de estas zonas, así como la correlación entre parámetros hace suponer que su origen sea la actividad industrial en dichos lugares.

2.3 Instrumentos para la protección de la calidad química del agua subterránea

Los instrumentos de protección de acuíferos tienen como objetivo preservar la calidad y continuidad del recurso hídrico subterráneo de una determinada zona. Estas medidas constituyen todas las acciones gubernamentales y privadas destinadas para este fin que abarcan desde una gestión directa sobre situaciones de emergencia, hasta labores de educación orientadas a la prevención.

Los diversos instrumentos y medidas de protección de acuíferos, pueden dividirse en cuatro grupos principales, que son:

- **Medidas de Conocimiento e Investigación.**
    - Contexto Hidrogeológico: geología, química del agua, hidrología, hidráulica subterránea.
    - Vulnerabilidad, riesgo y carga de contaminantes.
    - Línea Base de calidad de aguas
    - Fuentes de contaminación
    - Puntos de extracción
    - Monitoreo.
- **Medidas Educacionales.**
    - Promover el uso racional del agua y los programas de prevención de su contaminación.
    - Implementar programas de enseñanza en escuelas, hogares y empresas.
- **Medidas Políticas y Económicas.**
    - Incentivos económicos
    - Políticas de autorregulación.
    - Programas de ordenamiento territorial.
    - Elaboración de planes de manejo integrales.
- **Medidas de Acción Directa**.
    - Zonificación del acuífero.
    - Recargas artificiales.
    - Tratamiento y descontaminación.

2.3.1 Aproximación de las medidas de protección en sectores acuífero estudiados

De acuerdo a los instrumentos de protección mencionados, en el estudio se realizó el ejercicio de aplicar la primera parte de estas medidas que corresponden a las de **conocimiento e investigación** en donde se recopila toda la información disponible y relevante respecto del acuífero en estudio. En base a la información recopilada y a la definición de cada una de las medidas de protección, se realizó una discusión sobre la aplicabilidad de este primer grupo de

medidas y la repercusión que tendrán en las medidas Educacionales, Políticas y Económicas y de Acción Directa que se aplican después de realizar el levantamiento de la información existente.

Los sectores acuíferos utilizados fueron El Loa, Los Choros y Aconcagua, pues fue donde se aplicó la Metodología de Diagnóstico y Clasificación de Acuíferos. La aplicación de la metodología fue incluida dentro de la recopilación de antecedentes ya que constituye una buena herramienta para clasificar espacialmente la situación del acuífero.

Se debe tener en cuenta que la aproximación realizada constituye sólo un ejercicio elaborado con la información disponible. En el desarrollo de cada una de las aplicaciones se realizaron recomendaciones cuando existía información faltante sobre las posibles fuentes o el levantamiento que se deba realizar.

2.3.1.1 Sector acuífero El Loa

La Figura 2.5 reúne toda la información recopilada en los estudios y bases de datos proporcionadas. En ella se puede ver la directa relación que tiene cada uno de los ítems presentados, como por ejemplo la actividad minera, el resultado de la metodología y el uso de suelos. En particular se puede señalar lo siguiente:

- En primer lugar se debe revisar la definición del área sector acuífero, ya que la DGA la realiza tomando en cuenta variados factores, que no necesariamente están ciento por ciento relacionados con la hidrogeología. Sin embargo, no existe un criterio único de definición del área denominada “sector acuífero”, por lo que se debiese implementar un criterio único para su determinación que considere todas las variables posibles y tome en cuenta las grandes diferencias que puedan existir entre un acuífero y otro.
- Existe una cantidad importante de derechos de aprovechamiento sin información acerca de su uso. Se deben determinar con exactitud los derechos que corresponden a extracciones de aguas subterráneas destinadas a agua potable, ya que éstas son las que requerirán una calidad mayor.
- Existen derechos de aprovechamiento para uso minero que no están asociados a actividad minera o alguna generación de residuos de este rubro. Por lo que se debería

realizar un levantamiento acucioso de las mineras presentes en el sector ya que es la principal actividad productiva.

- El resultado de la metodología no comprende toda el área del sector acuífero, sin embargo abarca casi la totalidad de la zona de extracciones en las tres áreas que se presentan. Los valores encontrados en las 3 áreas son en su mayoría desde Regular a Intratable debido a las altas concentraciones de cloruros y arsénico.
- Se distingue la necesidad de realizar una ampliación de la red de monitoreo de manera de generar información para aplicar la evaluación de índice de calidad al sector acuífero completo, o por lo menos a las áreas de interés.
- Para este sector aún no existe un estudio completo de vulnerabilidad de acuíferos por lo que no es posible incorporarlo. Sin embargo, cuando se disponga de esta información se podrá contar con un mayor conocimiento de la fragilidad de las distintas zonas a ser afectadas por contaminaciones de origen antrópico.
- El uso de suelo indica que existe un incipiente actividad agrícola en los alrededores de Calama y el resto son zonas sin vegetación o praderas naturales en la parte alta de la cuenca.

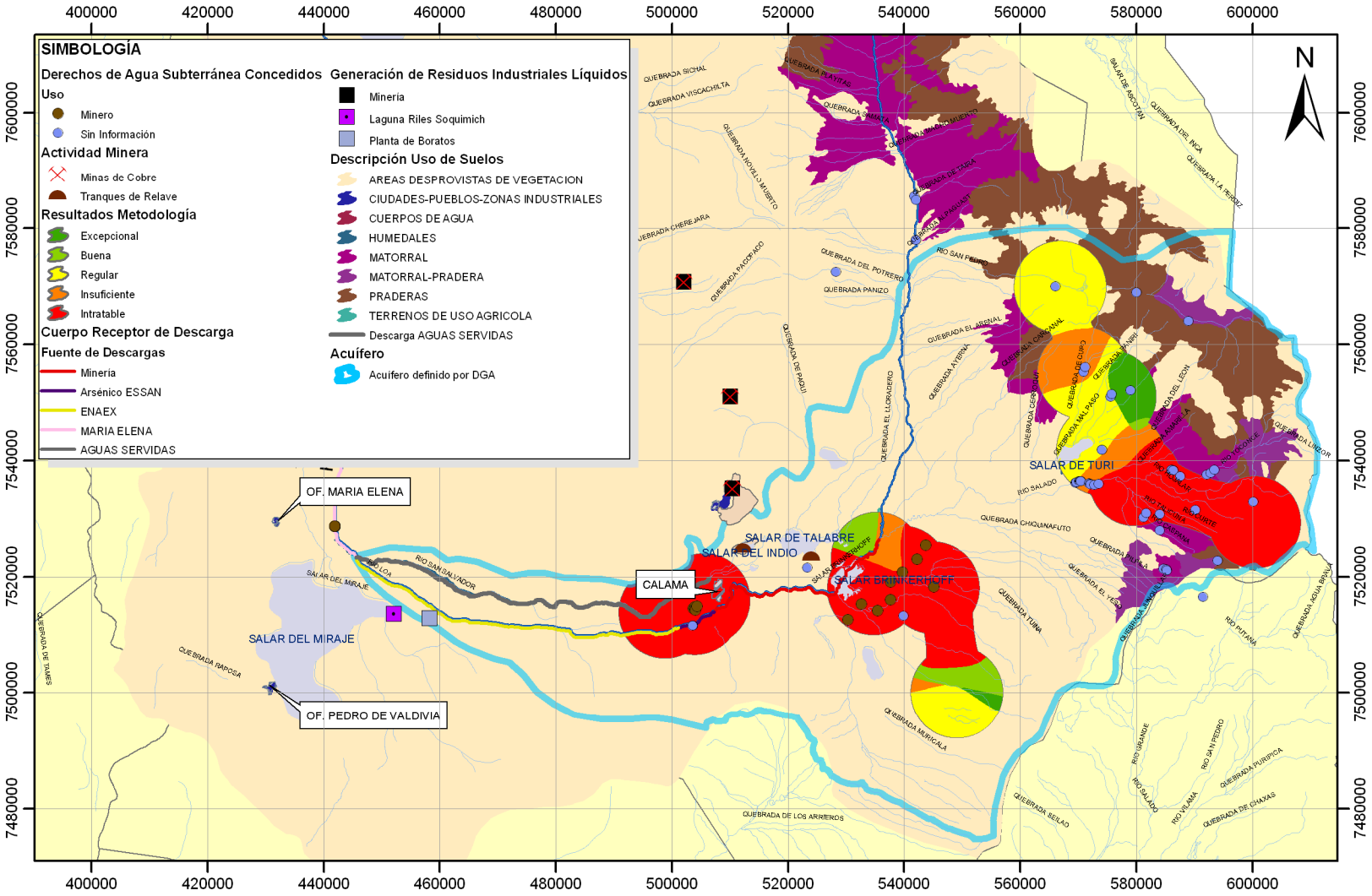


Figura 2.5: Captaciones subterráneas y fuentes potenciales de contaminación sector acuífero El Loa.

2.3.1.2 Sector acuífero Los Choros

El mapa de Índice de Calidad General se realizó sólo para el sector Playa Los Choros y Los Choros Bajos de acuerdo a lo solicitado por la DGA en su interés de cuantificar los efectos de la intrusión salina para el sector específico. La Figura 2.6 reúne la información del mapa de índice de calidad y los derechos otorgados, en tanto que la Figura 2.7 se presenta la vulnerabilidad estimada por SERNAGEOMIN, el cual estima la vulnerabilidad considerando las condiciones naturales de protección del acuífero, es decir sin la existencia de obras de infiltración, ya que utiliza el método BGR. De acuerdo a estas figuras se puede señalar lo siguiente:

- Se debe realizar un levantamiento de las actividades mineras e industriales dentro del sector, en conjunto con cualquier otra actividad que constituya una fuente potencial de contaminación.
- El resultado de la metodología comprende un área reducida de la totalidad del sector, sin embargo constituye una primera aproximación a una zonificación del acuífero ya que al cruzar esta información con la de vulnerabilidad se podrían definir sectores de protección.
- Al igual que en el sector El Loa, se distingue la necesidad de realizar una ampliación de la red de monitoreo de manera de generar información para aplicar la evaluación de índice de calidad al sector acuífero completo, o por lo menos a las áreas de interés.
- En la Figura 2.7 se presenta la vulnerabilidad para el sector acuífero Los Choros. En ella se aprecia que las mayores vulnerabilidades se encuentran cercanas a la Quebrada los Choros y donde se concentran los derechos otorgados (Figura 2.6). También se aprecia que en el sector donde se aplicó la metodología de Índice de Calidad existen valores de vulnerabilidad de moderados a altos.

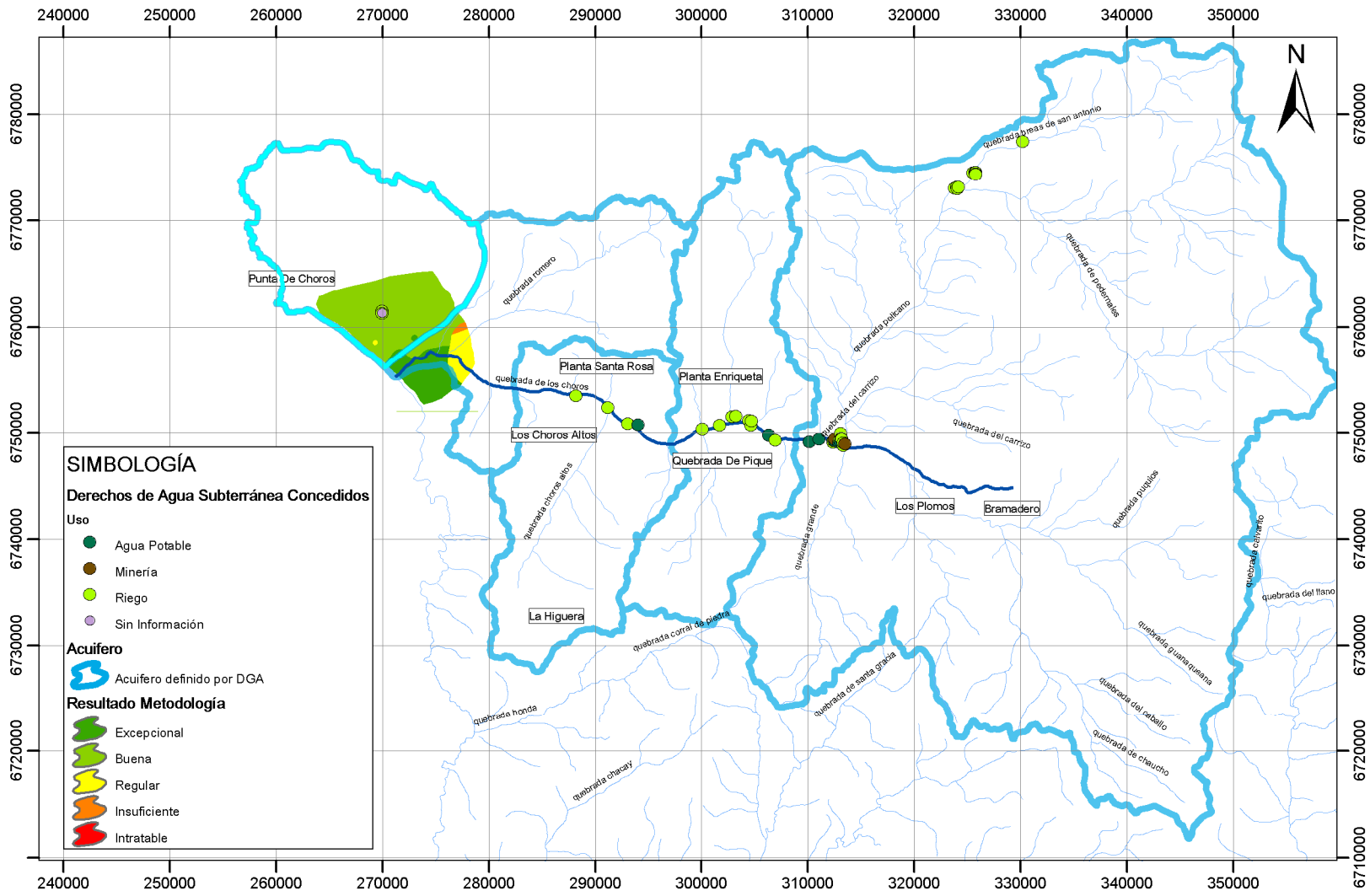


Figura 2.6: Captaciones subterráneas y mapa de índice de calidad sector acuífero Los Choros.

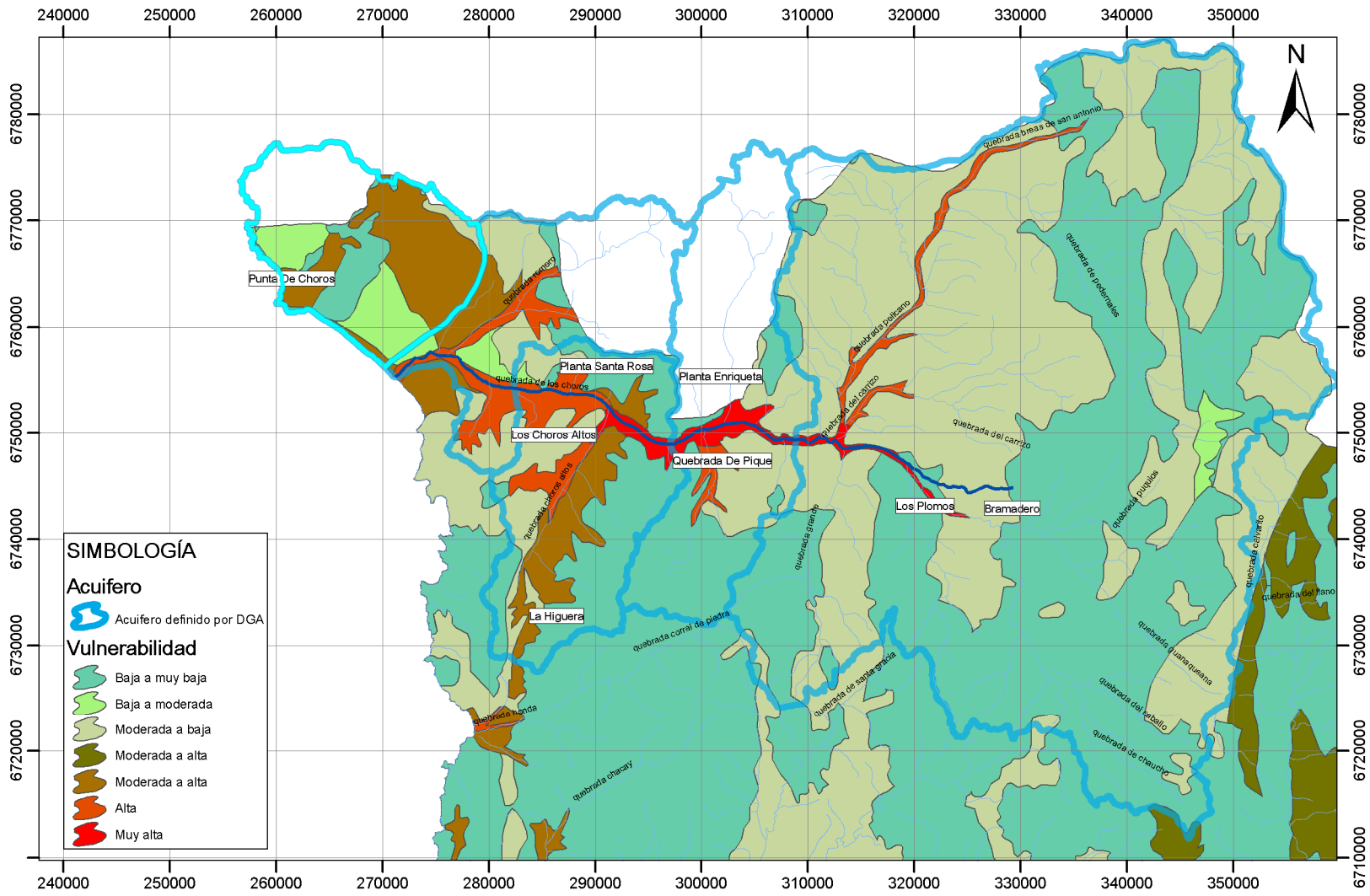


Figura 2.7: Vulnerabilidad sector acuífero Los Choros.

2.3.1.3 Sector acuífero Aconcagua

La Figura 2.8 presenta la información recopilada en los estudios y bases de datos proporcionadas con respecto a las captaciones subterráneas, fuentes potenciales de contaminación y los resultados de la metodología aplicada.

En la Figura 2.9 se presenta el mapa de uso de suelos del sector acuífero y en la Figura 2.10 se presenta la vulnerabilidad. Con respecto a todas estas figuras se debe señalar lo siguiente:

- En tres de las cuatro áreas en que se presentan valores Insuficientes de índice de calidad se encuentran derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas destinados a agua potable. Junto con la anterior, existe una numerosa generación de residuos industriales líquidos (RILes) en estas mismas áreas. Existen varios puntos de actividad minera que en general se encuentra fuera de la definición del sector, no obstante se encuentran en cuencas aportantes al sector acuífero.
- De acuerdo al mapa de uso de suelos (Figura 2.9) se aprecia que la totalidad del sector acuífero corresponde a terrenos agrícolas.
- En cuanto a la vulnerabilidad (Figura 2.10), se puede decir que la mayor parte de la superficie del sector presenta vulnerabilidades altas debidas a la baja profundidad del agua subterránea.

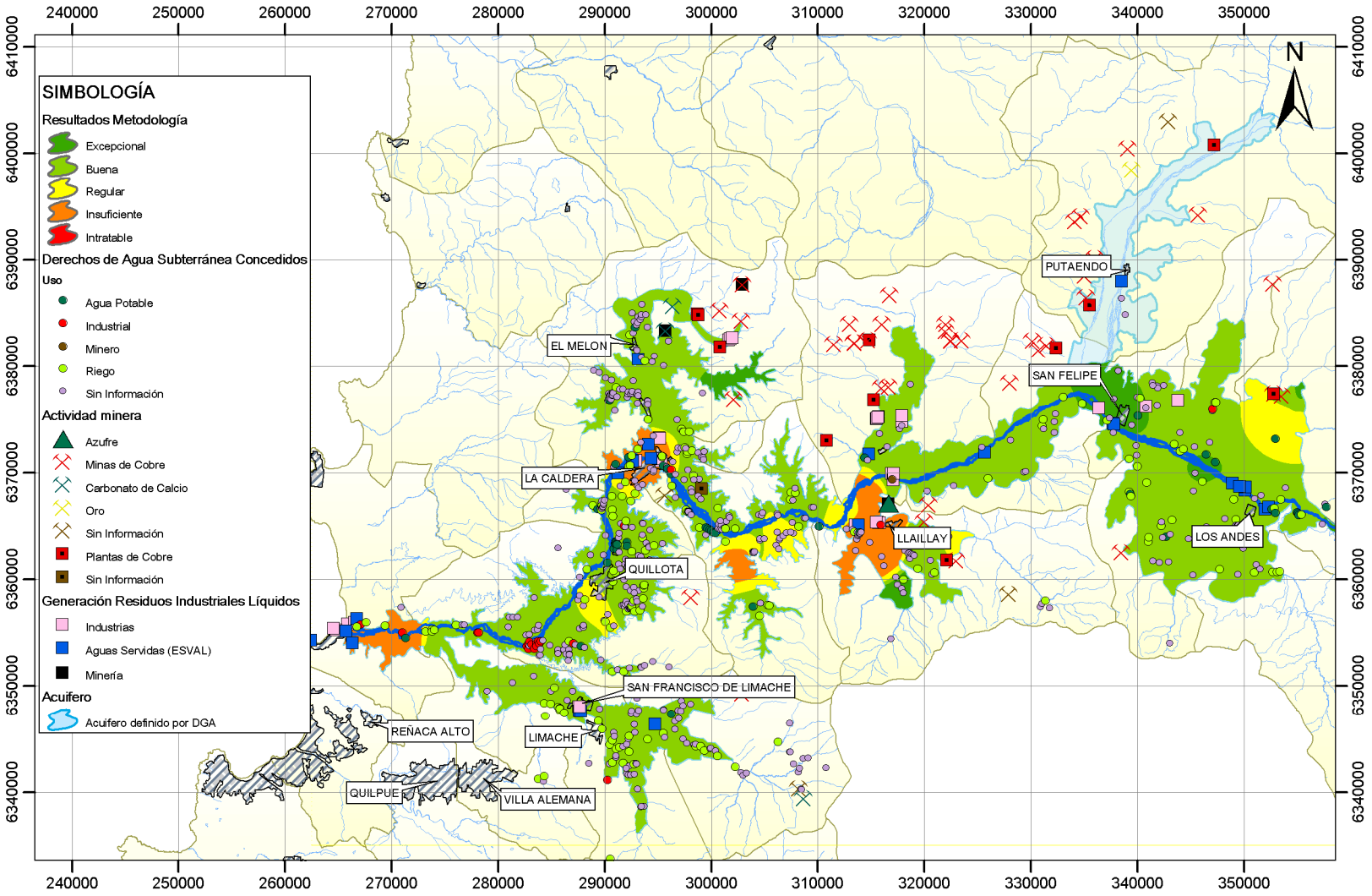


Figura 2.8: Captaciones subterráneas, fuentes potenciales de contaminación y resultados de la metodología en sector acuífero Aconcagua.

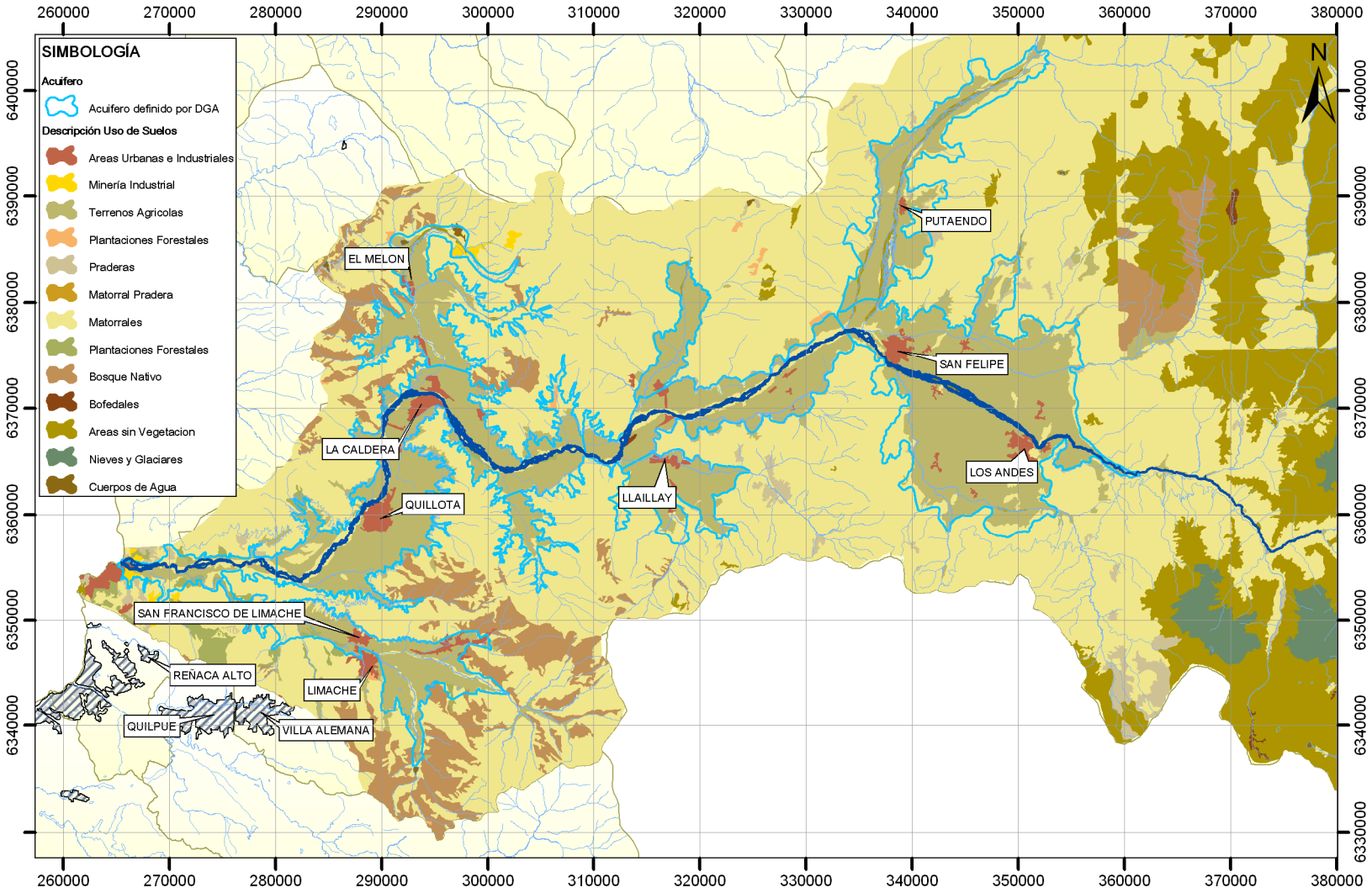


Figura 2.9: Uso de suelos sector acuífero Aconcagua.

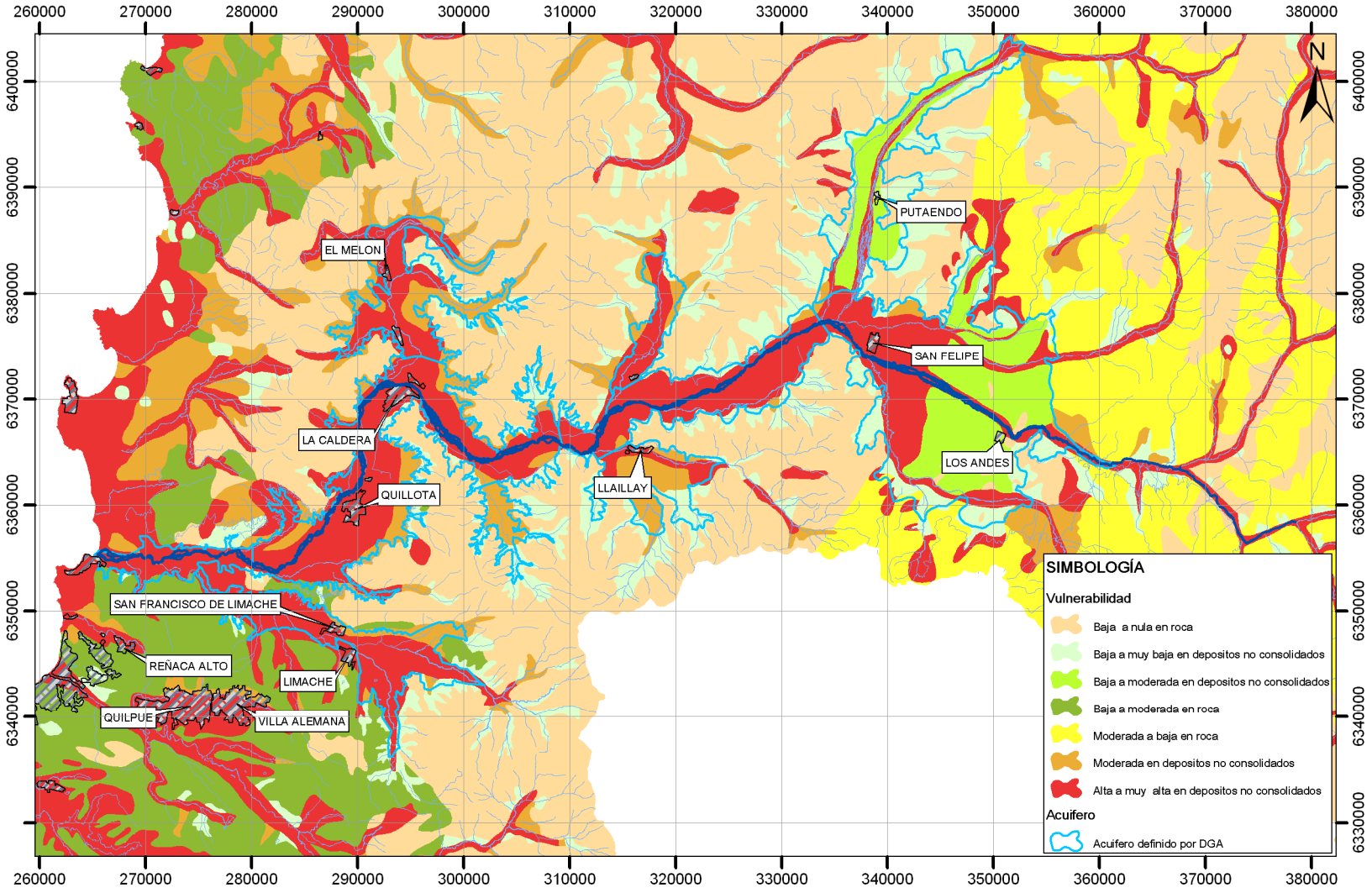


Figura 2.10: Vulnerabilidad sector acuífero Aconcagua.

2.4 Propuesta de monitoreo de la red de medición de la DGA

Se realizó una propuesta de puntos de control para los acuíferos estudiados de acuerdo a criterios recopilados de bibliografía especializada; estos criterios se refieren principalmente a:

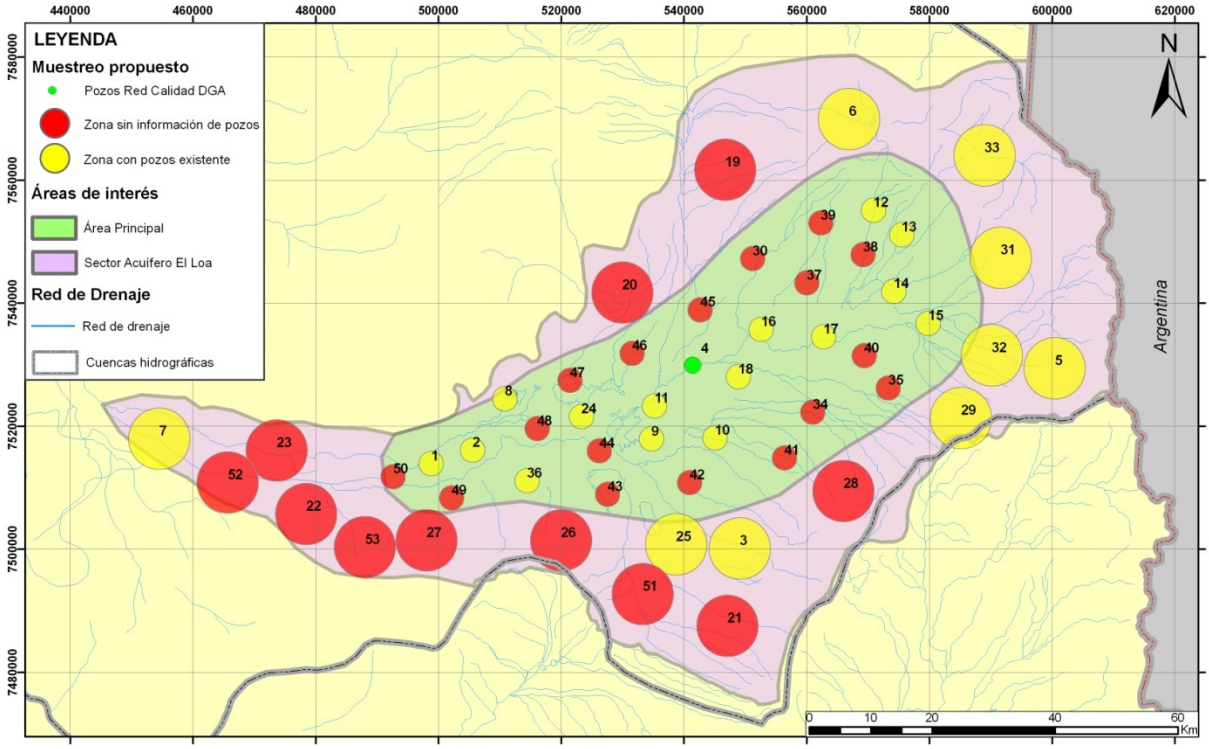
- Ubicación y distribución de los puntos de control en base a la disponibilidad y características constructivas de estos, y de las condiciones del acuífero. (EUROWATERNET, 1998; RENTIER, y otros, 2006).
- Parámetros a controlar que sean consistentes con la metodología.
- Frecuencia del muestreo en base a condiciones del acuífero. (EUROWATERNET, 1998).
- Protocolo de muestreo, transporte y análisis de las muestras que aseguren la representatividad de la calidad química del agua subterránea. (INN, 1998).

A continuación se presenta para cada sector acuífero, mediante fichas (Figura 2.11, Figura 2.12 y Figura 2.13), una propuesta de red de muestreo que cumple con los criterios de diseño, junto a los antecedentes disponibles y a la experiencia obtenida durante las campañas de muestreo adicional realizadas durante el proyecto.

La ubicación propuesta se basa en la ubicación de pozos existentes (muestreados, red de calidad de la DGA y red de pozos con derechos de aguas DGA) de modo de reducir la necesidad de construir nuevos. En el caso que la ubicación propuesta no era un pozo de la red de calidad o no hubiese sido muestreado en este proyecto, se consideró adecuado establecer un área en la cual resulta necesario definir un pozo existente o bien la construcción de uno.

Además de la localización se indican los parámetros químicos mínimos que interesaría muestrear desde el punto de vista de la aplicación de la metodología para definir la calidad del acuífero. Todos los parámetros deben medirse como disueltos, excepto aquellos con sufijo (t), que deben medirse como totales.

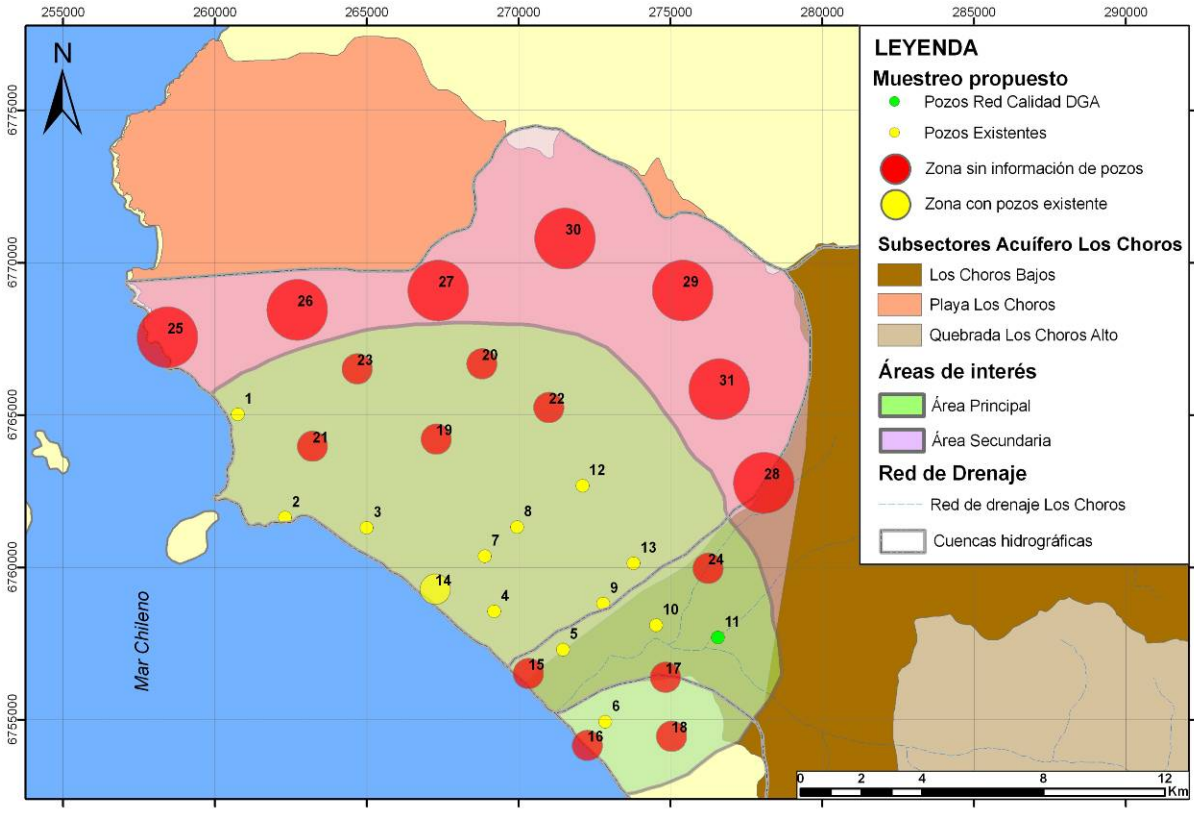
Por otro lado se recomienda la frecuencia de muestreo mínimo e ideal y las condiciones del acuífero. Y por último, se indica detalles respecto al método de muestreo que complementa con lo descrito en capítulos anteriores.



Características

Ubicación	**Parámetros a controlar**
Distribución homogénea en cada área. Área principal: Puntos: 33. Densidad: 93 km^2/punto. Área secundaria: Puntos: 20. Densidad: 243 km^2/punto.	Grupo 1: Cl, SO_4, Ca, Na, Mg, SDT. Grupo 2: NO_3, As (t), Li (t), Cu (t), Mo (t), Al (t), B (t), Ag (t), Be (t), Ba (t), Sb (t). Adicional: CO_3, HCO_3, K, C.E., pH, Tº y OD. Hidrogeológicos: nivel freático.
Frecuencia de muestreo	**Toma de muestras**
Mínimo cada 12 meses, ideal cada 3 meses.	Uso de bombas instaladas o de muestreadores discretos (*bailer*).

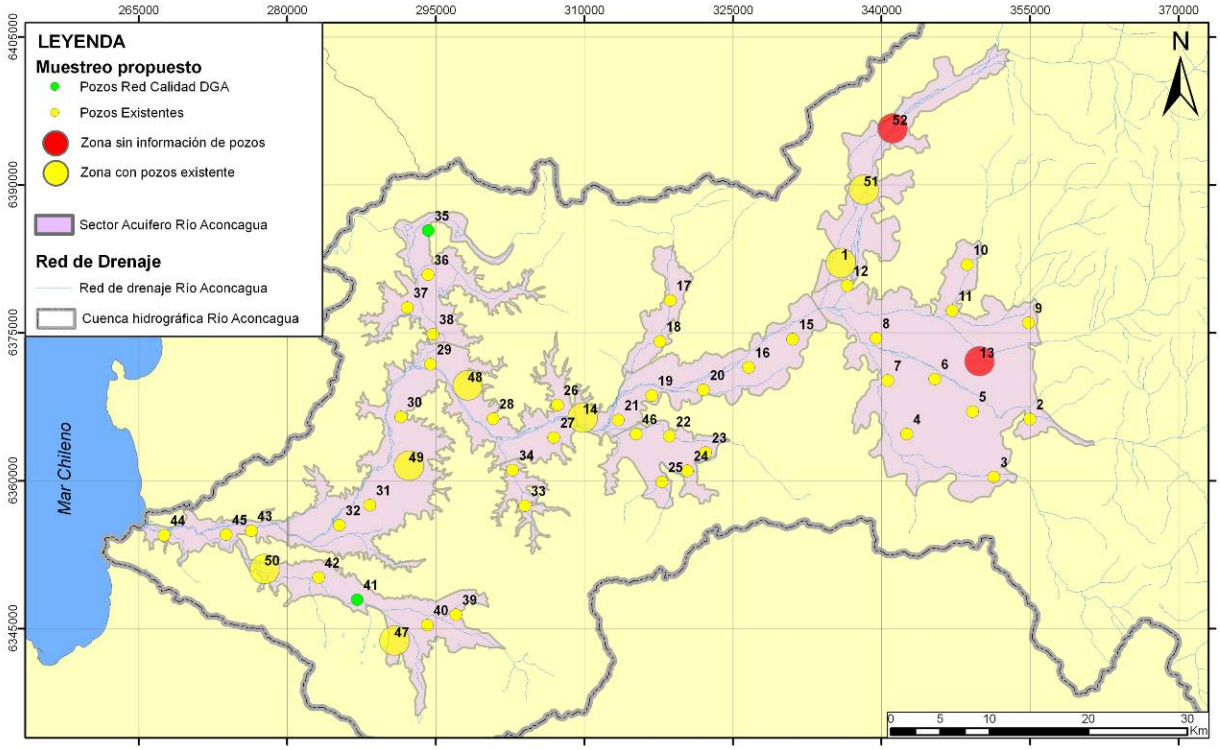
Figura 2.11: Propuesta de muestreo sector acuífero El Loa.



Características

Ubicación	**Parámetros a controlar**
Distribución homogénea en cada área. Área principal: Puntos: 24. Densidad: 7 km^2/punto. Área secundaria: Puntos: 7. Densidad: 15 km^2/punto.	Grupo 1: Cl, SO_4, Ca, Na, Mg, SDT. Grupo 2: NO_3, Al (t), Fe (t), Mn (t), Mo (t), Ni (t), Hg (t), PO_4. Adicional: CO_3, HCO_3, K, C.E., pH, Tº y OD. Hidrogeológicos: nivel freático.
Frecuencia de muestreo	**Toma de muestras**
Mínimo cada 12 meses, ideal cada 3 meses.	Uso de bombas instaladas o de muestreadores discretos (*bailer*).

Figura 2.12: Propuesta de muestreo sector acuífero Los Choros (sector costero).



Características

Ubicación	Parámetros de control
Distribución homogénea. Puntos: 52. Densidad: 23 km^2/punto.	Grupo 1: Cl, SO_4, Ca, Na, Mg, SDT. Grupo 2: NO_3, Al (t), Fe (t), Mn (t), Mo (t), Hg (t), Ni (t), B (t). Adicional: CO_3, HCO_3, K, C.E., pH, Tº y OD. Hidrogeológicos: nivel freático.
Frecuencia de muestreo	**Toma de muestras**
Mínimo cada 6 meses, ideal cada 3 meses.	Uso de bombas instaladas.

Figura 2.13: Propuesta de muestreo sector acuífero Aconcagua.

3 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1 Conclusiones del proyecto

3.1.1 Desarrollo de la metodología

En base a la revisión de la literatura científica nacional e internacional y a partir de la experiencia alcanzada durante la ejecución de este proyecto se puede realizar las siguientes conclusiones respecto del desarrollo de la metodología de clasificación de acuíferos:

- La revisión de la literatura científica especializada permite concluir que existen pocas metodologías de clasificación de calidad química de acuíferos desarrolladas a nivel mundial, y que las existentes no son aplicables en Chile, ya que no satisfacen los criterios, las realidades y las necesidades de nuestro país.
- Lo anterior implicó el desarrollo de una metodología propia que permitiera clasificar la calidad química del agua subterránea considerando la gran variabilidad natural de los acuíferos a nivel nacional, incorporando criterios de la Dirección General de Aguas, en cuanto el uso del agua y la protección de la salud de las personas.
- La metodología de clasificación de la calidad química de acuíferos desarrollada demostró ser una herramienta útil y confiable, que puede ser aplicada a diferentes acuíferos del país, que entrega una valiosa información respecto de los potenciales usos del agua subterránea.
- Dada la gran variabilidad de la calidad química de los acuíferos en Chile, la utilización de una metodología flexible que permita incorporar parámetros químicos característicos de una zona o acuífero, resulta fundamental. En este sentido la metodología desarrollada cuenta con un conjunto de parámetros químicos fijos (Grupo 1) y otro conjunto con parámetros variables (Grupo 2). Los primeros permiten calcular un índice de calidad (IC) intermedio que permite comparar la calidad química de los diferentes acuíferos en idénticas condiciones. Por otra parte, los parámetros variables incorporan parámetros propios del acuífero en estudio, permitiendo dar cuenta de las características propias de cada sector acuífero del país.

- El desarrollo de una metodología de clasificación requiere necesariamente la adopción de criterios que permita catalogar los diferentes tipos de agua. La metodología desarrollada adoptó como primeros criterios la utilización de normas de calidad de agua. Esto le confiere, por una parte, un sólido respaldo técnico y legal, y por otra, una gran flexibilidad, ya que si se promulgan nuevas normas o nuevos valores máximos de parámetros químicos, es posible volver a aplicar la metodología sin cambios metodológicos importantes.
- Uno de los aspectos importantes a considerar en el diseño de una metodología de clasificación de la calidad química de acuíferos, es el comportamiento temporal de la calidad química. Se requiere para ello una visión dinámica de la calidad química, ya que el recuso hídrico subterráneo tiene un comportamiento dinámico, al igual que las actividades que potencialmente pueden alterar o cambiar su composición química. A modo de ejemplo se puede indicar que es muy distinto tener un acuífero que presenta un IC Bueno, que se ha mantenido constante en el tiempo, a que este mismo índice anteriormente haya sido excepcional. En este último caso la calidad del acuífero va empeorando.
- La utilización de técnicas estadísticas como el Análisis de Componentes Principales (ACP) permite analizar situaciones en la cual existe una gran cantidad de información. Este es el caso del monitoreo de la calidad química de aguas subterráneas, donde se tiene un alto número de parámetros químicos medidos, en un número importante de pozos y en muchos casos con series históricas largas. La técnica ACP demostró ser una herramienta que permite analizar la fuente de cada uno de los parámetros químicos observados en el agua subterránea.
- La aplicación de cualquier metodología de clasificación de calidad química de acuíferos requiere una buena red de medición, en cuanto a calidad de los análisis de laboratorio, número de parámetros analizados, número y distribución espacial de los pozos de monitoreo, y ojala con una frecuencia adecuada.
- Utilizar información de análisis químicos de distintas fuentes como: Banco Nacional de Aguas de la DGA, estudios hidrogeológicos varios, estudios de impacto ambiental (SEIA), informes de fiscalización de la Superintendencia de Servicios Sanitarios

(SISS), etc., no es viable o genera información poco confiable. Lo anterior se funda en el hecho que la información muchas veces no es comparable, ya que corresponde a periodos de tiempo diferentes, análisis químicos incompletos, análisis en distintos laboratorios, etc.

- Por lo tanto, se refuerza el hecho de que la DGA es el organismo que debe continuar con la labor de mantención y operación de la red de monitoreo de agua subterránea. Sin embargo, se debe poner énfasis en la ampliación de la red de monitoreo actual, especialmente en el número de puntos de control en aquellos acuíferos en los que actualmente existe monitoreo.

3.1.2 Instrumentos de protección

Respecto de los instrumentos de protección de acuíferos se puede realizar las siguientes conclusiones:

- Las medidas de conocimiento e investigación son fácilmente aplicables en Chile, e incluso muchas de ellas están siendo ya abordadas actualmente por distintos organismos. Por ejemplo, los mapas de vulnerabilidad de acuífero para todo el país se están realizando en el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN), mientras la Dirección General de Aguas (DGA) se ocupa de los monitoreos de calidad de las aguas.

- La zonificación de acuíferos es también una herramienta de fácil implementación, eficiente y sencilla, que permite diseñar planes de manejo y gestión de los recursos hídricos considerando las zonas que requieren una mejor protección.

- Las medidas de acción directa, tienen un costo económico más alto y pueden plantearse en determinados sectores donde exista un riesgo elevado de deterioro del recurso en cuanto a su calidad y/o cantidad.

- Las medidas educacionales son altamente recomendables, puesto que la consciencia de la sociedad frente los problemas medioambientales es una de las mejores medidas auto-regulatorias.

- Las medidas políticas y económicas son absolutamente necesarias para que el Estado tenga el control en la protección de sus recursos. Muchas de las medidas descritas ya existen en nuestro país aunque parece necesario que el Estado tenga más capacidad para implementar tales medidas o que éstas sean más duras (multas) de modo que las actividades privadas se autorregulen mejor. Hay que considerar que estas medidas, son quizás las que serían más lentas de implementar en el país ya que requieren de la elaboración (o modificación) de nuevas normativas y leyes.

- El punto crucial para poder contar con instrumentos de protección de acuíferos es la elaboración de normas de calidad ambiental (secundarias), de modo de poder utilizar las herramientas de gestión que la actual institucionalidad ambiental permite.

- Dado que la elaboración de normas secundarias, es complejo y muchas veces toma un tiempo considerable, se recomienda realizar a la brevedad una caracterización de acuíferos desde el punto de vista físico-químico, que permitan contar con información de la calidad natural del acuífero o similar a su calidad natural. De modo que en el momento que se decida confeccionar las normas de calidad ambiental se cuente con una información técnicamente óptima.

- Desde el punto de vista de la aplicabilidad de las medidas de protección, se observa que pueden ser perfectamente aplicables en Chile siempre que se destinen los recursos necesarios en cada uno de los aspectos. De acuerdo al levantamiento de información realizado en los acuíferos de estudio, se aprecia que existen varios ítems que requieren un mayor conocimiento como son los tipos de extracción de aguas subterráneas, potenciales fuentes de contaminación, vulnerabilidad, etc. Todos ellos fundamentales para obtener un conocimiento acabado del estado del recurso para un determinado sector acuífero. Resulta especialmente importante contar con información espacialmente distribuida de la calidad química de los acuíferos, ya que es la base para cualquiera de las medidas de protección propuestas. En definitiva, resultará más difícil proteger un sistema mientras menos información y/o conocimiento se tenga de él.

- Junto con lo anterior, se destaca que la metodología desarrollada resulta muy útil para el análisis del estado de un sector acuífero. Esta herramienta sumada a los otros

aspectos que se analizan dentro del sector constituyen los elementos con que se podría implementar un sistema de zonificación de acuíferos. En esta zonificación se podrían proteger acuíferos que presenten un estado crítico en cuanto a vulnerabilidad, calidad o continuidad del recurso, o alguna combinación de estos.

- La elaboración de normas de secundarias debe tomar en cuenta no sólo la calidad química del agua subterránea, sino que también el nivel de explotación de los acuíferos que pudieran inducir contaminación. En este sentido, el desarrollo de normas de calidad debe ir acompañado de un análisis legal que considere las leyes que rigen el aprovechamiento. Por ejemplo, si se indica que un acuífero está en estado de latencia se debería restringir las extracciones por razones de calidad, y no por razón de disponibilidad.

3.1.3 Red de monitoreo de calidad de aguas subterráneas

En base al análisis de la información de la red de calidad química de aguas subterráneas de la DGA se puede realizar las siguientes conclusiones:

- La actual red de monitoreo de aguas subterráneas de la Dirección General de Aguas es deficiente, especialmente en términos espacial y temporal. Sin embargo, el conjunto de parámetros analizados y la calidad de los análisis de laboratorio cumplen con los requisitos necesarios para la caracterización y seguimiento de la calidad química del acuífero. En definitiva la red resulta poco representativa de las condiciones químicas de los acuíferos seleccionados, y por tanto no permite un adecuado seguimiento de ésta.

- Para cada sector acuífero seleccionado se propuso una nueva red de monitoreo, en la que se aumentó el número de puntos, los pozos existentes y/o nuevos, y que se cumplan con criterios claros respecto a representatividad y características constructivas.

- La red de monitoreo se complementa con definiciones respecto a los parámetros que se deben muestrear en cada punto de control, la frecuencia de muestreo mínimo y los protocolos de toma, transporte y análisis de las muestras.

3.2 Recomendaciones de trabajos futuros

Basado en la revisión de la literatura especializada, la experiencia obtenida durante la elaboración del estudio y las características de la red de medición de la calidad química de aguas subterráneas de la DGA se realiza las siguientes recomendaciones de trabajos futuros:

- Realizar muestreos de calidad química en 2 ó 3 acuíferos representativos de cada región, en al menos dos estaciones del año, considerando las recomendaciones indicadas en el capítulo 2.4 del presente informe. Esto permitirá contar con información de línea base con la calidad técnica necesaria para su posterior utilización en el diseño de medidas de protección de acuíferos más concretas.
- En este sentido es muy importante y recomendable que los muestreos se realicen a corto plazo, ya que en la medida que pasa el tiempo la calidad química del acuífero se aleja de la natural, y por tanto puede llevar a tomar decisiones erróneas respecto de, por ejemplo, la elaboración de normas secundarias.
- Consolidar la información de la calidad química de modo que sea asequible para cualquier usuario.
- Realizar monitoreo de la calidad química en los sectores acuíferos estudiados en este proyecto, es decir El Loa, Los Choros y Aconcagua, para aplicar, estudiar y analizar la temporalidad del índice de calidad. Esto resulta muy importante debido a que la escasez de información de calidad química no permitió aplicar las etapas de temporalidad de la metodología desarrollada.
- Una vez que se cuente con la información base de la calidad química de un acuífero, es necesario trabajar en el desarrollo de normas de calidad ambiental para los acuíferos, de modo que se utilice la institucionalidad ambiental que actualmente posee el país

4 BIBLIOGRAFÍA

DESPOUY, I. (2005). Caracterización de fuentes y Análisis Crítico de los Tratamientos de Agua Potable en Chile. Memoria para Optar al Título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile [Libro]. - Santiago : [s.n.].

DGA (2001). Evaluación de los recuros subterráneos de la cuenca del río Aconcagua. S.D.T. Nº101. [Informe técnico]. Santiago: DGA-MOP.

DGA (2005). Estudio de intrusión salina en acuíferos costeros: Sector Costa Quebrada Los Choros, IV Región. S.I.T. Nº109. [Informe]. - Santiago : [s.n.].

DICTUC (2005). Hidrogeología de la II Región y asesoría para la revisión de informes de estudios de evaluación de recursos hídricos. Sector Calama-Pampa Llalqui. [Informe]. Santiago: DGA-MOP.

EUROWATERNET (1998). The European Environment Agency's Monitoring and Information Network for Inland Water Resources. Technical Guidelines for Implementation. [Informe].

FAO (1994). Water quality for agriculture, Irrigation and Drainage Paper (Ayers, R. S.; Westcot, D. W.) [Libro]. Vol. 29 Rev 1.

HAMANN, C.L., McEWEN, J.B. y MYERS, A.G. (1990). Guide to selection of water treatment process. En: **AWWA (1996)**. Water Treatment Membrane Processes, Cap. 10 Pág 10.9[Libro].

INN (1996). NCh 1333/78. Requisitos de calidad del Agua para diferentes usos [Libro]. - Santiago : [s.n.].

INN (1998). NCh411/3.Of98. Calidad de Agua, Muestreo, Parte 3. Guía sobre la preservación y manejo de las muestras [Libro].

INN (2005). NCh 409/1. Agua Potable 1 Requisitos [Libro]. - Santiago : [s.n.].

INN (2008). NCh 777/1 c. R2008. Agua Potable, Fuentes de abastecimiento y obras de captación, Parte 1 Captación de aguas superficiales [Libro]. - Santiago : [s.n.].

LANKFORD P. y ECKENFELDER W. (1990). Toxicity reduction in industrial effluents [Libro]. - NY : [s.n.].

LOVE D., HALLBAUER, D, AMOS, A. y HRANOVA, R. (2004). Factor analysis as a tool in groundwater quality management two southern African case studies [Publicación periódica] // Physics and Chemistry of the Earth. 15-18: Vol. 29. - págs. 1135-1143.

MENA, P. (2007). Apuntes del curso CI66Q-1 Procesos avanzados de tratamiento, FCFM, Universidad de Chile. [Libro].

OMS (2006). Guidelines for drinking water quality: incorporating first addendum. 3ª Edition. - Vol. 1: recomendations.

OMS (2007). Chemical safety of drinking-waater: Assessing priorities for risk management [Libro].

PASSARELLA, G. y CAPUTO, M.C. (2006). A methodology for space time classification of groundwater quality [Publicación periódica] // Environmental Monitoring and Assessment. 1-3: Vol. 115. - págs. 95-117.

PONTIUS, F. (1995). Regulatory compliance using Membrane Processes [Publicación periódica]. 5: Vol. 88. - págs. 12-14.

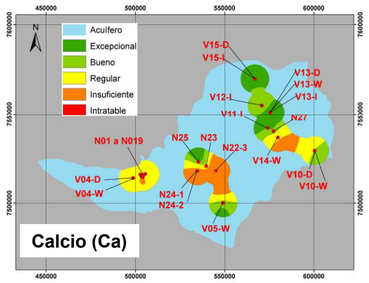
RENTIER, C., DELLOYE, F., BROUYÈRE, S. y DESSARGUES, A. (2006). A framework for an optimized groundwater monitoring network and aggregated indicators [Publicación periódica] // Environmental Geology. 50: Vol. 2. - págs. 194-201.

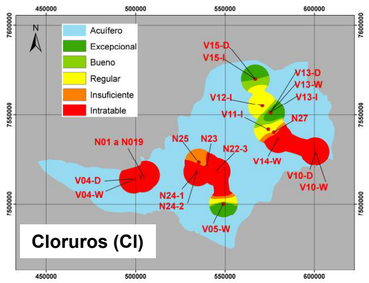
TOLOSANA-DELGADO, R., OTERO, N., PAWLOWSKY-GLAHN, V. y SOLER, A. (2005). Latent Compositional factors in the Llobregat River Basin (Spain) Hydrogeochemestry [Publicación periódica] // Mathematical Geology. 7: Vol. 37. - págs. 681-702.

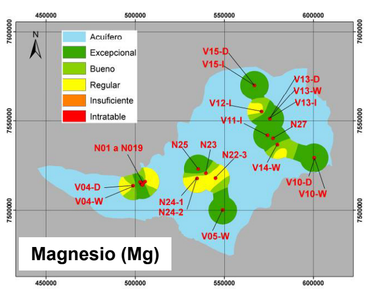
USEPA (2009). Drinking water contaminants. Recuperado el Abril de 2009, de Safewater, Water USEPA: http://www.epa.gov/safewater/contaminants/index.html.

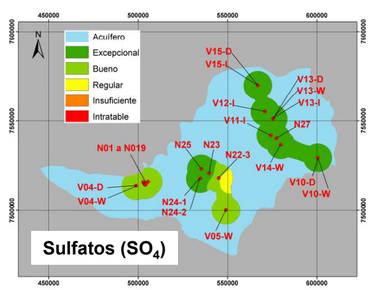
ÍNDICES DE CALIDAD SECTOR ACUÍFERO EL LOA

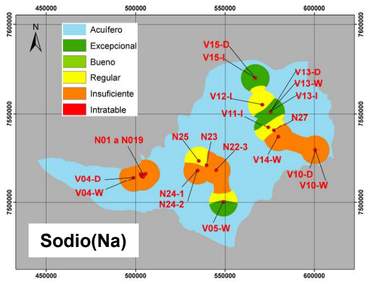
Índices de calidad individuales

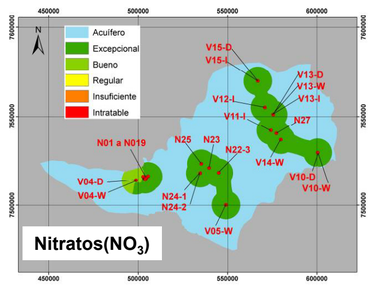


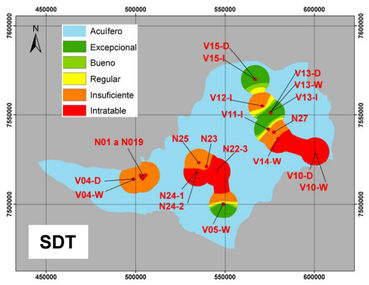


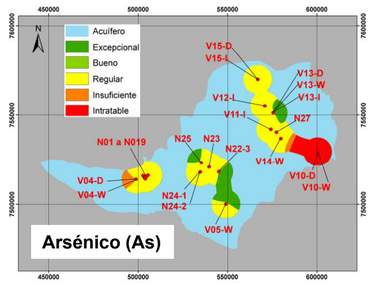






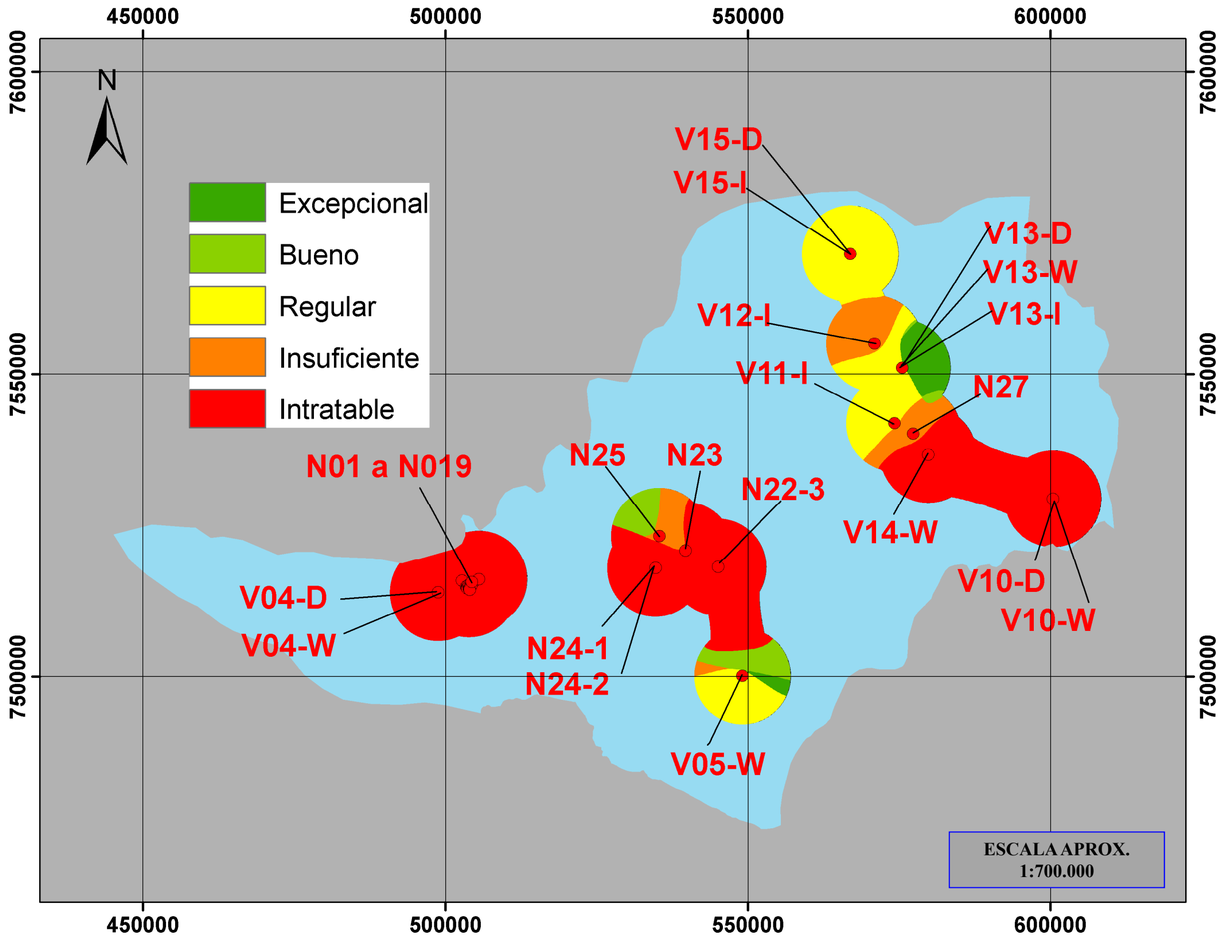






ESCALA APROX. 1:2.500.0000

Índice de calidad general



Análisis estadístico ACP

Parámetros	Origen principal
Na, Cl, SDT, Ca	Natural
Mg	Natural
NO_3	Antrópico (industrial y/o asentamiento urbano)
SO_4	Natural y antropogénico (minería)
As	Natural y antropogénico (minería)

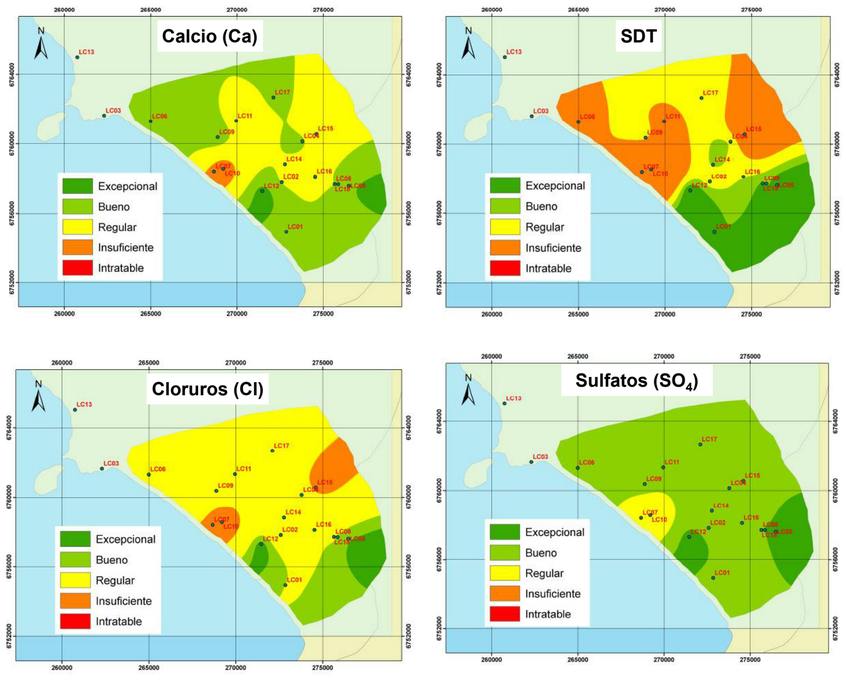
GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

CONSULTORES Geohidrología Consultores Ltda.	**PROYECTO** DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE SECTORES ACUÍFEROS

DIRECTOR GENERAL DE AGUAS Sr. Rodrigo Weisner L.	**JEFE DEPTO.** Sra. Mesenia Atenas V.	**INSPECTOR FISCAL** Sra. María Eugenia Molina L.
ESCALA APROX. 1:1.700.000 y 1:2.500.000	**Nº MAPA** 01	**AÑO** 2009

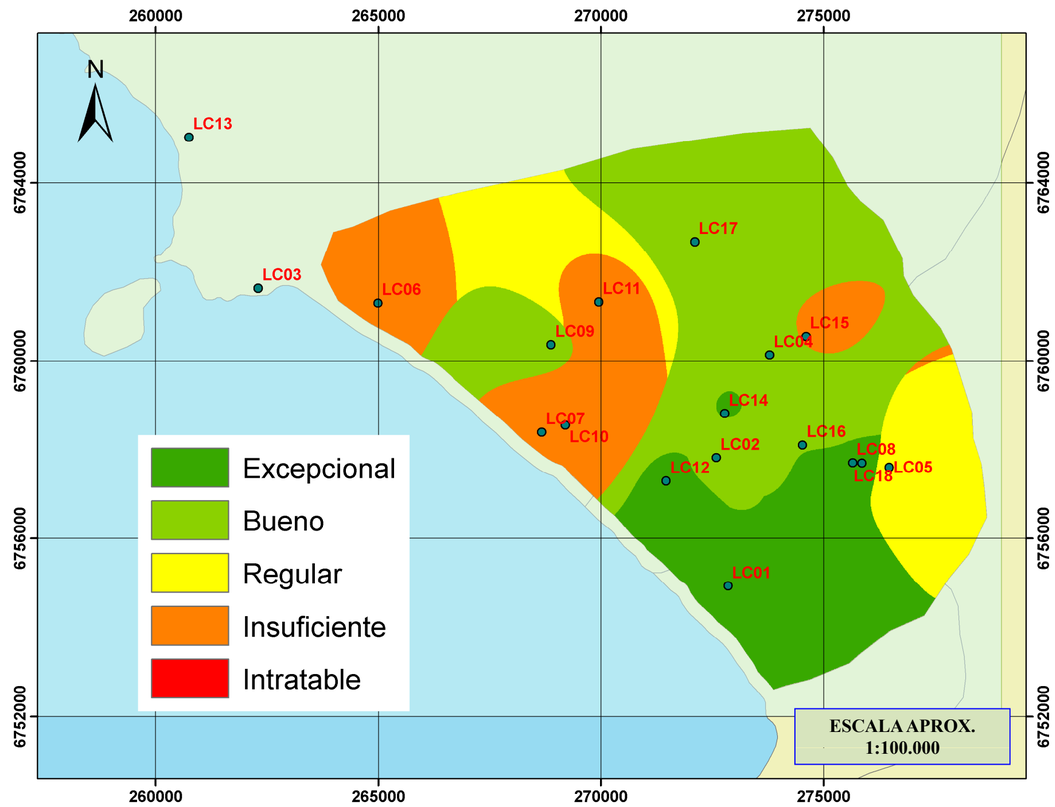
ÍNDICES DE CALIDAD SECTOR ACUÍFERO LOS CHOROS

Índices de calidad individuales



ESCALA APROX. 1:250.000

Índice de calidad general



Análisis estadístico ACP

Parámetros	Origen principal
Na, Cl,	Natural
SDT, Mg, SO_4, Ca	Natural
Fe, Mn	Antrópico (industrial) y natural
NO_3	Antrópico (agricultura)

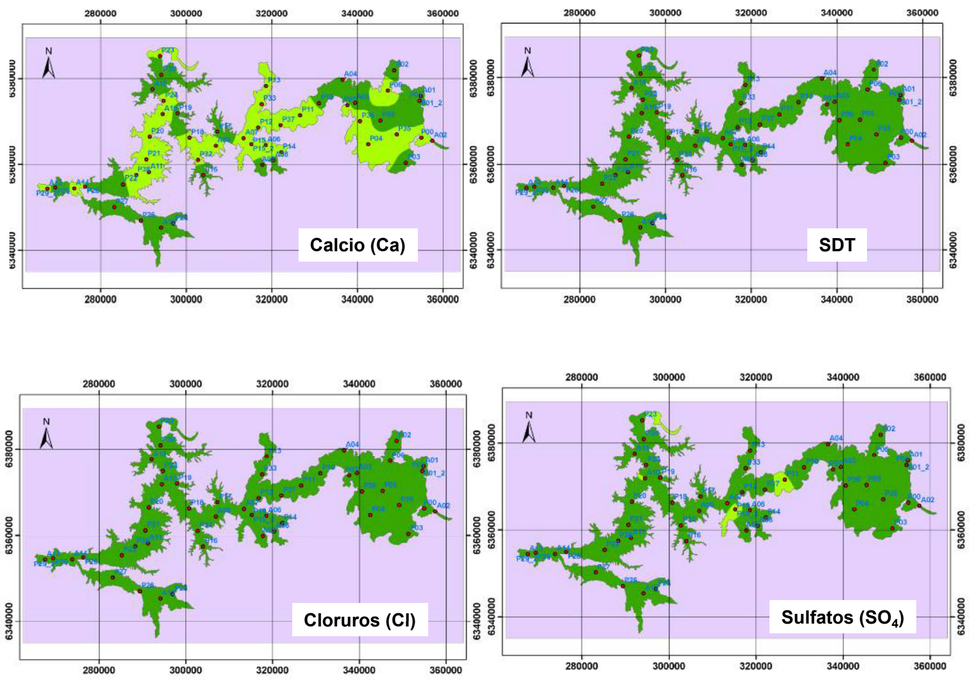
GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

CONSULTORES Geohidrología Consultores Ltda.	**PROYECTO** DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE SECTORES ACUÍFEROS

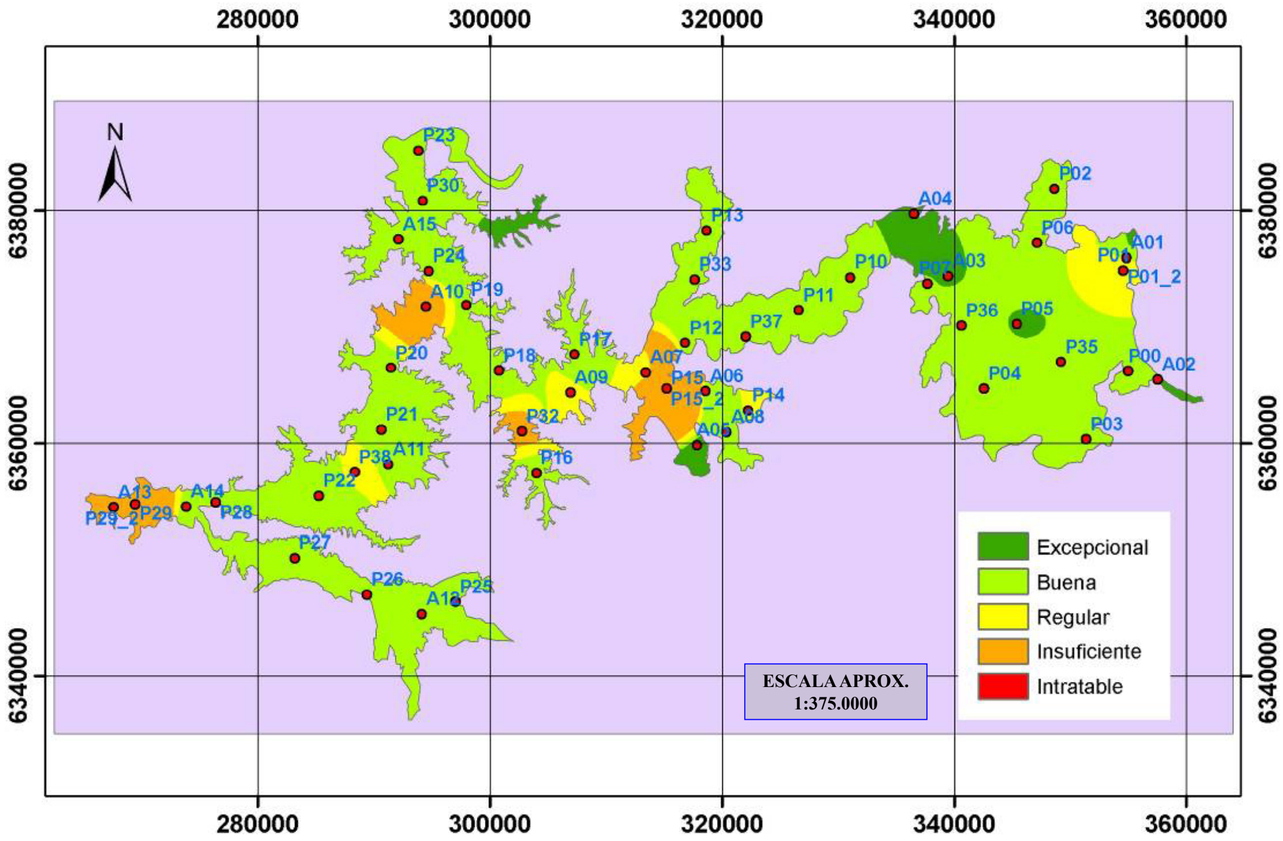
DIRECTOR GENERAL DE AGUAS Sr. Rodrigo Weisner L.	**JEFE DEPTO.** Sra. Mesenia Atenas V.	**INSPECTOR FISCAL** Sra. María Eugenia Molina L.
ESCALA APROX. 1:100.000 y 1:250.000	**Nº MAPA** 02	**AÑO** 2009

ÍNDICES DE CALIDAD SECTOR ACUÍFERO ACONCAGUA

Índices de calidad individuales



Índice de calidad general



ESCALA APROX.
1:1.000.0000

Análisis estadístico ACP

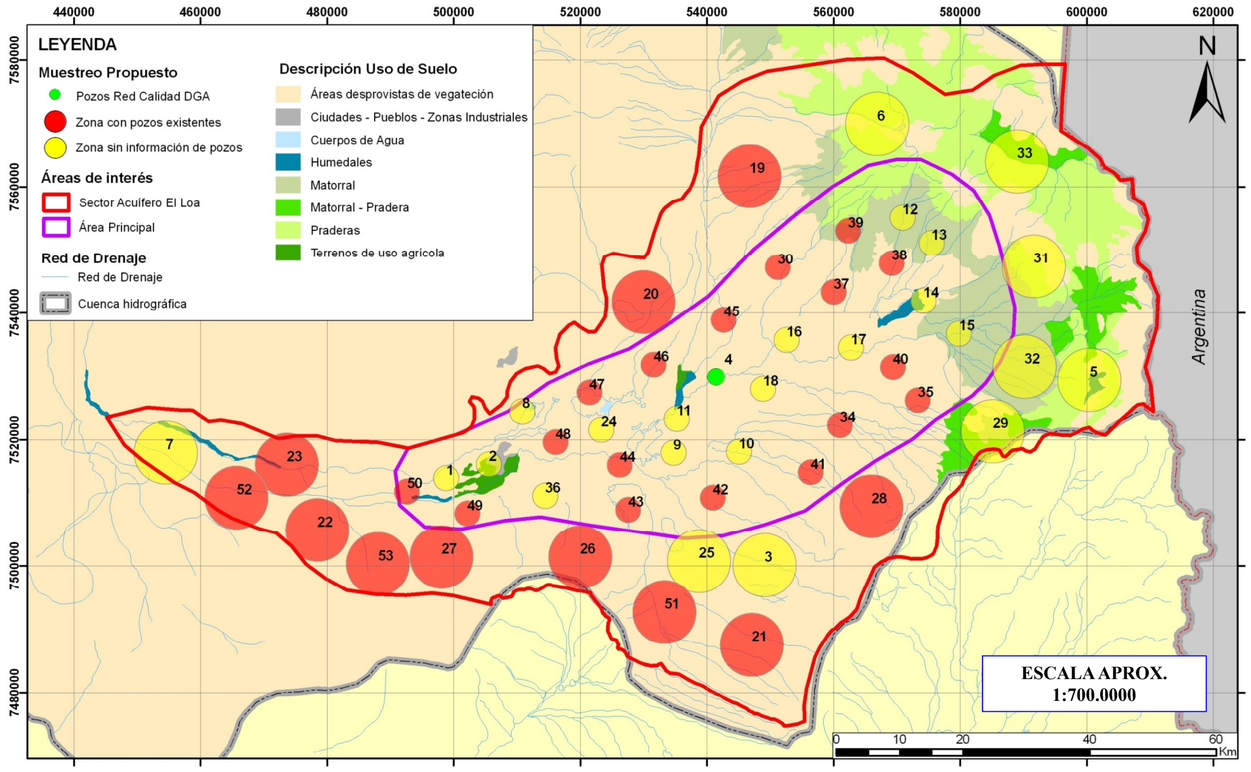
Parámetros	Origen principal
Na, Cl	Natural
SDT, Mg, SO_4, Ca	Natural
Fe, Mn	Antrópico (industrial) y natural
NO_3	Antrópico (agricultura)

GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

CONSULTORES:	PROYECTO:
Geohidrología Consultores Ltda.	DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE SECTORES ACUÍFEROS

DIRECTOR GENERAL DE AGUAS	JEFE DEPTO.	INSPECTOR FISCAL
Sr. Rodrigo Weisner L.	Sra. Mesenia Atenas V.	Sra. María Eugenia Molina L.
ESCALA APROX.	**Nº MAPA**	**AÑO**
1:375.000 y 1:1.000.000	03	2009

RED DE MUESTREO PROPUESTA Y MAPA DE SUELOS SECTOR ACUÍFERO EL LOA

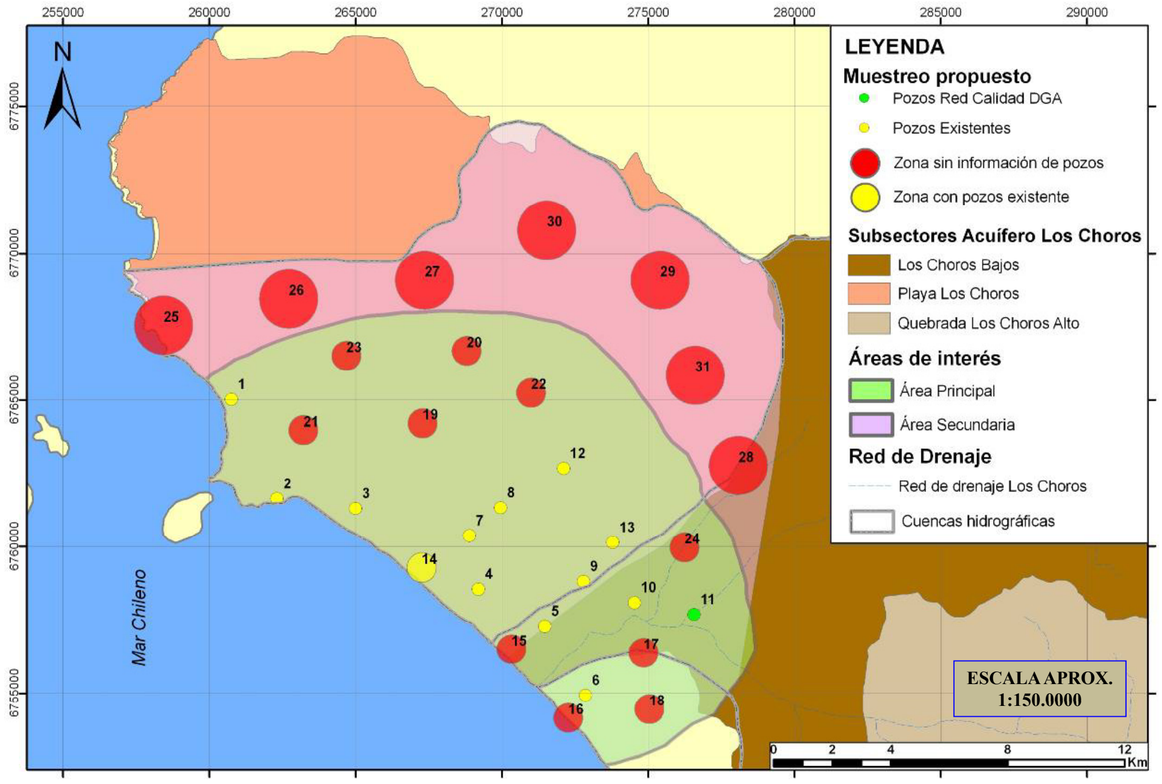


Características	
Ubicación Distribución: homogénea (en cada área) Área principal: Puntos: 33 Densidad: 93 km^2/punto Área secundaria: Puntos: 20 Densidad: 243 km^2/punto	**Parámetros a controlar** Grupo 1: Cl, SO_4, Ca, Na, Mg, SDT. Grupo 2: NO_3, As (t), Li (t), Cu (t), Mo (t), Al (t), B (t), Ag (t), Be (t), Ba (t), Sb (t). Adicional: CO_3, HCO_3, K, C.E., pH, Tº y OD. Hidrogeológicos: nivel freático
Frecuencia de muestreo Mínimo cada 12 meses, ideal cada 3 meses.	**Toma de muestras** Uso de bombas instaladas o de muestreadores discretos (*bailer*).

GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

CONSULTORES Geohidrología Consultores Ltda.	**PROYECTO** DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE SECTORES ACUÍFEROS	
DIRECTOR GENERAL DE AGUAS Sr. Rodrigo Weisner L.	**JEFE DEPTO.** Sra. Mesenia Atenas V.	**INSPECTOR FISCAL** Sra. María Eugenia Molina L.
ESCALA APROX. 1:700.000	**Nº MAPA** 04	**AÑO** 2009

RED DE MUESTREO PROPUESTA SECTOR ACUÍFERO LOS CHOROS



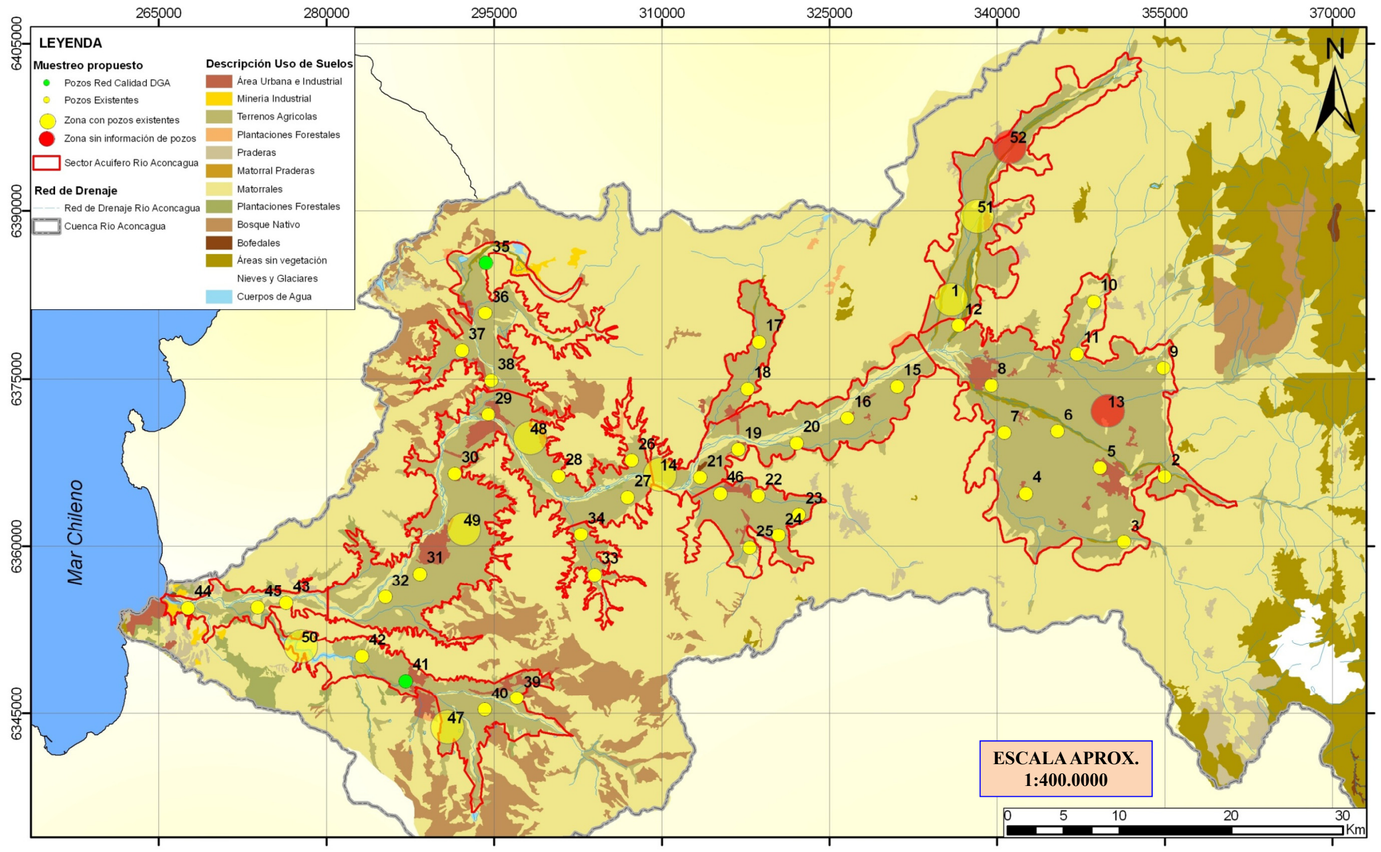
Características	
Ubicación	**Parámetros a controlar**
Distribución: homogénea (en cada área) Área principal: Puntos: 24 Densidad: 7 km^2/punto Área secundaria: Puntos: 7 Densidad: 15 km^2/punto	Grupo 1: Cl, SO_4, Ca, Na, Mg, SDT. Grupo 2: NO_3, Al (t), Fe (t), Mn (t), Mo (t), Ni (t), Hg (t), PO_4. Adicional: CO_3, HCO_3, K, C.E., pH, Tº y OD. Hidrogeológicos: nivel freático
Frecuencia de muestreo	**Toma de muestras**
Mínimo cada 12 meses, ideal cada 3 meses	Uso de bombas instaladas o de muestreadores discretos (*bailer*)

GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

CONSULTORES	PROYECTO
Geohidrología Consultores Ltda.	DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE SECTORES ACUÍFEROS

DIRECTOR GENERAL DE AGUAS	JEFE DEPTO.	INSPECTOR FISCAL
Sr. Rodrigo Weisner L.	Sra. Mesenia Atenas V.	Sra. María Eugenia Molina L.
ESCALA APROX.	**Nº MAPA**	**AÑO**
1:150.000	05	2009

RED DE MUESTREO PROPUESTA Y MAPA DE SUELOS SECTOR ACUÍFERO ACONCAGUA



Características	
Ubicación Distribución: homogénea Puntos: 52 Densidad: 23 km^2/punto	**Parámetros de control** Grupo 1: Cl, SO_4, Ca, Na, Mg, SDT. Grupo 2: NO_3, Al (t), Fe (t), Mn (t), Mo (t), Hg (t), Ni (t), B (t). Adicional: CO_3, HCO_3, K, C.E., pH, Tº y OD. Hidrogeológicos: nivel freático
Frecuencia de muestreo Mínimo cada 6 meses, ideal cada 3 meses	**Toma de muestras** Uso de bombas instaladas

GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

CONSULTORES	PROYECTO	
Geohidrología Consultores Ltda.	DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE SECTORES ACUÍFEROS	
DIRECTOR GENERAL DE AGUAS Sr. Rodrigo Weisner L.	**JEFE DEPTO.** Sra. Mesenia Atenas V.	**INSPECTOR FISCAL** Sra. María Eugenia Molina L.
ESCALA APROX. 1:400.000	**Nº MAPA** 06	**AÑO** 2009