



**Registro fotográfico “Acumulación de aguas
lluvias en Laguna N° 1”**



Ilustración 1 de 5 de abril de 2016

essal



Ilustración 2 de fecha 8 de abril de 2016



Ilustración 3 de fecha 14 de abril de 2016

essal



Ilustración 4 de fecha 15 de abril de 2016



Ilustración 5 de 18 de abril de 2016



Ilustración 6 de 19 de abril de 2016



Ilustración 7 de 26 de abril de 2016



Ilustración 8 de fecha 27 de abril de 2016



Ilustración 9 de 28 de abril de 2016



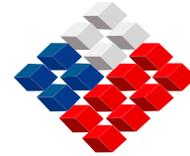
Ilustración 10 de 29 de abril de 2016



Ilustración 11 de 30 de abril de 2016



**GOBIERNO REGIONAL
DE LOS LAGOS**



**GOBIERNO DE CHILE
SERVICIO NACIONAL DE
GEOLOGÍA Y MINERÍA**

SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA

GOBIERNO REGIONAL DE LOS LAGOS



**LEVANTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO Y POTENCIAL
DE AGUA SUBTERRÁNEA DEL VALLE CENTRAL
DE LA REGIÓN DE LOS LAGOS
(COD. BIP N° 20186775-0)
INFORME FINAL**

FEBRERO DE 2008

Referencia bibliográfica

SERNAGEOMIN-GORE Los Lagos, 2008. Levantamiento hidrogeológico y potencial de agua subterránea del Valle Central de la Región de Los Lagos, Informe Final. Servicio Nacional de Geología y Minería-Gobierno Regional de Los Lagos, 188 p., 8 mapas escala 1:250.000, 12 figuras, 2 tablas, 2 apéndices, 3 anexos. Puerto Varas.

Derechos reservados, prohibida su reproducción sin autorización escrita de SERNAGEOMIN o GORE Los Lagos.

Producción digital: Ignacio Bascuñan A., Eduardo Córdova Z., Jorge Parra R., Oficina Técnica Puerto Varas, Servicio Nacional de Geología y Minería.

Apoyo financiero. Auspiciado por el Gobierno de la Región de Los Lagos, a través del Estudio FNDR código BIP No. 20186775-0. Ejecutado por el Servicio Nacional de Geología y Minería, Oficina Técnica Puerto Varas.

INDICE

	Pag.
RESUMEN	6
INTRODUCCIÓN	7
OBJETIVOS	8
INFORMES PREVIOS DE AVANCES	9
METODOLOGÍA	11
GEOLOGÍA	19
RECURSOS DE AGUA SUBTERRÁNEA	39
CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA	49
VULNERABILIDAD DE ACUÍFEROS	54
ANÁLISIS DE FERTILIZANTES	61
DIFUSIÓN, CAPACITACIÓN Y ASISTENCIA TÉCNICA	62
CONCLUSIONES	65
RECOMENDACIONES	67
ACTIVIDADES FUTURAS: DIFUSIÓN Y PUBLICACIÓN	73
AGRADECIMIENTOS	75
REFERENCIAS	76
GLOSARIO	79

FIGURAS

- Figura 1. Ubicación del área de estudio.
Figura 2. Ventana de ingreso de información general a sigam.
Figura 3. Ventana de SIGAM con ingreso de la información litológica y columna estratigráfica.
Figura 4. Ventana de SIGAM con ingreso de los resultados de análisis químicos.
Figura 5. Ventana de SIGAM con ingreso de los valores de nivel estático.
Figura 6. Ubicación de las Hoja Valdivia, Osorno, Puerto Montt y Castro, escala 1:250.000.
Figura 7. Composición y clasificación de las aguas subterráneas de la Hoja Osorno.
Figura 8. Composición y clasificación de las aguas subterráneas de las Hojas Puerto Montt y Castro.
Figura 9. Composición y clasificación de las aguas subterráneas de la Hoja Valdivia.
Figura 10. Procesos que afectan a los contaminantes en su viaje a través del suelo y la zona no saturada.
Figura 11. Método GOD para cálculo de la vulnerabilidad.
Figura 12. Panel de discusión y conclusiones del Seminario sobre aguas Subterráneas realizado en INIA Osorno en diciembre de 2007.

TABLAS

- Tabla 1. Carta Gantt.
Tabla 2. Recomendaciones según actividades potencialmente contaminantes.

APÉNDICES

- Apéndice I. Términos de referencia del estudio.
Apéndice II. Resultados relevantes para Hojas Valdivia, Osorno, Puerto Montt y Castro.

ANEXOS

- Anexo I. Hidroquímica de las aguas subterráneas de las Hojas Valdivia, Osorno, Puerto Montt y Castro.
- Anexo II. Parámetros fisicoquímicos analizados en terreno para las Hojas Valdivia, Osorno, Puerto Montt y Castro
- Anexo III. CD ROM con la información contenida en Banco de Datos SIGAM, con archivos de ploteos de los mapas y archivos PDF del texto del presente informe.

MAPAS (Fuera de texto, escala 1:250.000)

- Mapa 1. Recursos de agua subterránea de la Hoja Valdivia.
- Mapa 2. Recursos de agua subterránea de la Hoja Osorno.
- Mapa 3. Recursos de agua subterránea de la Hoja Puerto Montt.
- Mapa 4. Recursos de agua subterránea de la Hoja Castro.
- Mapa 5. Vulnerabilidad de acuíferos de la Hoja Valdivia.
- Mapa 6. Vulnerabilidad de acuíferos de la Hoja Osorno.
- Mapa 7. Vulnerabilidad de acuíferos de la Hoja Puerto Montt.
- Mapa 8. Vulnerabilidad de acuíferos de la Hoja Castro.

Nota. Los mapas de recursos de aguas subterráneas tienen una explicación común válida para cada uno de ellos.

RESUMEN

Se presenta el informe final con los resultados del estudio “Levantamiento Hidrogeológico y Potencial de Agua Subterránea del Valle Central de la Región de Los Lagos”, planificado a dos años de duración y realizado entre septiembre de 2005 y febrero de 2008, llevado a cabo por el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN) y financiado por el Fondo Nacional de Desarrollo Regional (FNDR) de la Región de Los Lagos. El estudio tuvo como objetivo fundamental investigar los recursos de agua subterránea, desde el punto de vista de su distribución, cantidad y calidad, de una parte importante de la Región de Los Lagos. Este Informe Final incluye los mapas de recursos de aguas subterráneas y de vulnerabilidad de acuíferos de la Depresión Central de las hojas Valdivia, Osorno, Puerto Montt y Castro, escala 1:250.000, donde se definieron los acuíferos principales y sus vulnerabilidades a la contaminación.

Los mapas de recursos de aguas subterráneas y de vulnerabilidad de acuíferos se construyeron con la información geológica y los datos recopilados y recolectados de 2.209 captaciones de agua subterránea en la Región. Los datos de las captaciones incluyen antecedentes del propietario, ubicación, descripción litológica de la estratigrafía, pruebas de bombeo, análisis químicos y fisicoquímicos, entre otros, todos ingresados en banco de datos SIGAM. La composición hidroquímica de las aguas subterráneas se realizó con base en 775 análisis hidroquímicos y 808 análisis fisicoquímicos, que permitieron caracterizar y clasificar las aguas e identificar lugares donde se vulnera la norma, especialmente con relación a contenidos de Fe, Mn y nitratos.

Con la realización del estudio, se avanzó en el conocimiento hidrogeológico en la Región, especialmente en áreas socialmente sensibles y rurales. Se investigó los acuíferos existentes, el potencial hidrogeológico de una parte importante de la Región y se determinó las zonas más vulnerables. Así, el estudio resultará relevante para el desarrollo urbano, industrial y territorial, actual y futuro, de la Región. Los resultados del estudio serán una base necesaria para la generación de nuevas fuentes de abastecimiento de aguas subterráneas y constituirán elementos de consulta y apoyo permanente a la gestión de planificación regional, urbana, rural y de obras viales de desarrollo regional.

La información generada fue difundida a través de charlas, un tríptico y un seminario sobre la situación actual y futura del agua subterránea en la Región de Los Lagos, especialmente sobre legislación, procesos productivos y abastecimiento. Nuevas iniciativas de difusión y transferencia del conocimiento generado, además de la publicación de un informe registrado formal, serán realizadas con posterioridad a la entrega del presente informe. Los resultados de las futuras actividades de difusión y transferencia del conocimiento generado, además de la publicación de los resultados, junto con nuevas aclaraciones y complementos eventualmente solicitados por GORE Los Lagos y la contraparte técnica, serán incluidos en un informe complementario al presente.

INTRODUCCIÓN

La falta general de interés acerca de las aguas subterráneas se debe a desconocimiento y a la creencia de que en el mediano y largo plazo los pozos profundos de aguas subterráneas se secan, o que los acuíferos drenan siempre hacia los ríos y se encuentran regulados naturalmente. En la Región de Los Lagos se ha producido un interés creciente en el abastecimiento de agua a través de pozos profundos que explotan acuíferos. También, se ha invertido en otros proyectos de captación de aguas, con considerables costos económicos, dejando en segundo plano la posibilidad de solucionar los problemas de abastecimiento con la utilización de aguas subterráneas o, lo que es muchas veces más aconsejable, utilizando sistemas de uso mixto, es decir de aguas superficiales y subterráneas.

El desarrollo productivo y el crecimiento de la población de la Región de Los Lagos ha involucrado un importante aumento en la demanda de los recursos de aguas, ya sea para los procesos industriales, acuícolas, agrícolas y ganaderos, como para el consumo de su población, especialmente rural. Esta creciente necesidad de agua puede ser, en gran medida, satisfecha con la explotación de aguas subterráneas, cuyo potencial debe ser evaluado mediante estudios geológicos e hidrogeológicos.

En los últimos años, el interés por las aguas subterráneas se ha incrementado, a nivel nacional y regional, tanto por el aumento de las captaciones que aprovechan este recurso, como por una mayor conciencia sobre su importancia, lo que se ha traducido en nuevas normativas y aumento de la fiscalización de las actividades que comprometen a las aguas subterráneas. Sin embargo, la planificación del uso de los recursos de agua y la fiscalización del cumplimiento de las normativas tendientes a su protección y regulación, exigen tener un alto nivel de conocimiento hidrogeológico, que permita determinar los acuíferos existentes en la región, caracterizar sus recursos, en cuanto a cantidad y calidad, analizar sus potencialidades de uso y hacer recomendaciones para su protección.

Con base en esta necesidad de información hidrogeológica regional, desde el Gobierno Regional de Los Lagos y el Servicio Nacional de Geología y Minería, surge el estudio "Levantamiento Hidrogeológico y Potencial de Agua Subterránea del Valle Central de la Región de Los Lagos", financiado a través del Fondo de Desarrollo Regional (Apéndice I). El estudio se realizó, principalmente, en la Depresión Central de la Región de Los Lagos, entre los 39°15' y 43°30'S y los 72°15' y 73°45' O, aproximadamente, tanto continental como insular, que considera una amplia zona de la Depresión Intermedia de Chile (Fig. 1). En dicha área se sitúan, entre otras, las ciudades de Valdivia, Los Lagos, La Unión, Río Bueno, Osorno, Río Negro, Purránque, Puerto Octay, Fresia, Frutillar, Puerto Varas, Puerto Montt, Calbuco, Maullín, Ancud, Castro, Chonchi, Quellón y numerosas comunidades rurales.

El estudio, que se inició en agosto de 2005, pretendió avanzar en el conocimiento hidrogeológico de la Región, especialmente en áreas socialmente sensibles y rurales, a través la investigación y evaluación de los acuíferos

existentes, lo que permitirá determinar el potencial hidrogeológico de una parte importante de la Región. Así, el estudio resulta relevante para el desarrollo urbano, industrial y territorial, actual y futuro. Sus resultados, consistentes en una cartografía de recursos de aguas subterráneas y de vulnerabilidad de acuíferos a escala regional (1:250.000, mapas 1 a 8, fuera de texto), serán una base necesaria para la ubicación de nuevas captaciones para el abastecimiento de agua potable, para uso industrial y agrícola, y constituirán elementos de consulta y apoyo permanente a la gestión de planificación regional, urbana y de obras viales de desarrollo regional. Además, podrán ser utilizadas como línea base para evaluar los posibles impactos ambientales de proyectos de diversa índole, que comprometan en algún aspecto a las aguas subterráneas, en la implementación de normativas relativas al control del vertido de residuos industriales líquidos y en la ubicación y manejo de vertederos de residuos sólidos.

Como parte del trabajo que queda por realizar, una vez entregado el presente informe, SERNAGEOMIN continuará la difusión del conocimiento generado durante el desarrollo de este estudio, además de la información básica sobre la temática de las aguas subterráneas, a través de diversas actividades que consideran la distribución de material gráfico, seminarios y charlas informativas, lo que permitirá aumentar el nivel de transferencia del conocimiento y crear mayor conciencia sobre la importancia de las aguas subterráneas, tanto a nivel de organismos públicos y privados, como de la comunidad en general. Finalmente, una vez revisada y editada la información generada, SERNAGEOMIN publicará los resultados en la Carta Geológica de Chile, Serie Hidrogeología.

OBJETIVOS

El objetivo principal del Estudio fue generar conocimiento integrado de los recursos de aguas subterráneas de una parte importante de la Región de Los Lagos, a objeto que sean difundidos entre las autoridades gubernamentales, encargados de la planificación territorial, y usuarios en general, para avanzar hacia un manejo sustentable y sostenible y en la protección de los recursos disponibles de aguas. Otro objetivo importante fue genera la cartografía de recursos de agua subterránea, a escala 1:250.000, que permita evaluar el potencial de aguas subterráneas de una parte importante de la Región. Antes de este Informe Final se han presentado 4 informes de avance:

Los objetivos específicos fueron:

- Generar y consolidar bancos de datos hidrogeológicos, con información técnica de las captaciones de agua subterráneas, que sirvan de complemento y apoyo con el conocimiento de la exploración y explotación de las aguas subterráneas de la región.
- Elaborar mapas hidrogeológicos a escala 1:250.000 del Valle Central de la Región, con el propósito de definir, caracterizar y evaluar los acuíferos existentes. Estos mapas incluirán las diferentes unidades hidrogeológicas,

sus características estratigráficas, químicas y sus principales parámetros hidráulicos.

- Elaborar mapas de vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos, que permitan evaluar el riesgo de posible contaminación y la composición.
- Definir las zonas más aptas para la explotación de dicho recurso, así como las áreas de reserva. Las zonas de reserva serán evaluadas frente a problemáticas actuales, tales como pozos de áridos, conflicto frente a otros recursos naturales, eventuales sequías, salinidad de los acuíferos, vulnerabilidad con respecto a una eventual contaminación.
- Colaborar en la definición de focos de contaminación y áreas que, desde el punto de vista hidrogeológico, son más adecuadas para la ubicación de vertederos de residuos sólidos.
- Definir recomendaciones que ayuden al manejo adecuado y sustentable, a la protección de este recurso, para asegurar su uso racional en el contexto de ordenamiento territorial.
- Avanzar en la capacitación de profesionales chilenos en hidrogeología y uso de SIG en geología y medio ambiente, que puedan continuar aportando sus conocimientos en la región.
- Introducir a los planificadores regionales en el conocimiento de las aguas subterráneas y educar a la comunidad en la valoración y protección de los acuíferos, a través de seminarios y talleres de trabajo.

INFORMES PREVIOS DE AVANCES

Como complemento al contenido de este Informe Final, el lector es referido a revisar la información contenida en los siguientes informes de Avances, debida y oportunamente entregados a GORE Los Lagos de acuerdo con la programación original:

Primer Informe Técnico y Contable

Se presentó en noviembre de 2005 e incluyó los siguientes aspectos:

- Cronograma de trabajo del proyecto.
- Conformación de grupos de trabajo integrados por profesionales y técnicos del SERNAGEOMIN.
- Recopilación bibliográfica sobre estudios geológicos e hidrogeológicos realizados en la región e hidrogeología en general.
- Definición y adquisición de insumos de trabajo.
- Ubicación y antecedentes geológicos de las Hojas Valdivia y Osorno.
- Información sobre captaciones de agua subterránea recopilada e ingresada a la base de datos.
- Mapas geológicos escala 1:250.000 de las Hojas Valdivia y Osorno, incluyendo ubicación de captaciones de agua subterránea e indicando la calidad de la información disponible para cada una de ellas.
- Informe contable.

Primer Informe Anual

Se presentó en Diciembre de 2005 e incluye:

- Descripción de unidades geológicas presentes en las Hojas Valdivia y Osorno
- Definición preliminar de unidades hidrogeológicas, en base a las unidades geológicas descritas anteriormente para las Hojas Valdivia y Osorno.
- Información de terreno colectada a la fecha para las Hojas Valdivia y Osorno, incluyendo niveles estáticos medidos en pozos y norias, parámetros fisicoquímicos medidos in situ (pH, oxígeno disuelto, conductividad, amonio y fosfato) y listado de muestras colectadas para análisis de laboratorio por iones de mayoritarios y elementos traza.
- Descripción litológica de pozos profundos localizados en las áreas visitadas en terreno, en las Hojas Valdivia y Osorno.
- Diseño para un de tríptico referente a las aguas subterráneas en la región, que será utilizado como material de difusión.
- Informe contable.



Figura 1. Ubicación del área del estudio, destacando la localización del Valle central (o Depresión Central) en la Región de Los Lagos.

Segundo Informe Técnico y Contable

Se presentó en agosto de 2006 y abarcó los siguientes aspectos:

- Resultados del trabajo de terreno para recopilación de información hidrogeológicas para la caracterización de las unidades hidrogeológicas reconocidas preliminarmente en las Hojas Valdivia y Osorno.
- Resultados de análisis de laboratorio de muestras de agua colectadas en las Hojas Osorno y Valdivia.
- Interpretación preliminar de los resultados de análisis químicos y comparación con la Norma Chilena de calidad para agua potable NCh 409/1 (INN, 1984).
- Recomendación de áreas para proteger y/o realizar estudios hidrogeológicos de detalle en las Hojas Osorno y Valdivia.
- Informe de asistencia técnica realizada para la Municipalidad de La Unión.
- Informe sobre solución de problemas técnicos y mejoramiento de la base de datos.
- Resultados de análisis químicos de fertilizantes que se utilizan en la región, realizados en conjunto por el SERNAGEOMIN y la Universidad de Los Lagos (a solicitud de la contraparte técnica).
- Informe Contable.

Tercer Informe Técnico y Contable

Se presentó en diciembre de 2006 e incluyó los siguientes aspectos relevantes.

- Versión preliminar de los mapas de recursos de agua subterránea de las Hojas Valdivia y Osorno.
- Recopilación e ingreso a la base de datos de información de captaciones localizadas en Hojas Puerto Montt y Castro
- Elaboración de Programa de Difusión, Capacitación y Asistencia Técnica.
- Informe Contable.

METODOLOGÍA

CRONOGRAMA DE TRABAJO

El cronograma de trabajo original consideró iniciar los trabajos el año 2005, pero en la práctica el estudio se inició en septiembre de ese mismo año, una vez se recibió por parte de GORE Los Lagos la primera cuota considerada en el financiamiento.

El cronograma original incluyó las siguientes etapas, todas las cuales fueron debidamente cumplidas:

1. Conformación de equipo de trabajo para realización del proyecto.
2. Definición y adquisición de materiales de trabajo.

3. Recopilación bibliográfica.
4. Recopilación de la información sobre captaciones de agua subterránea (pozos profundos, norias y vertientes) disponible en diferentes instituciones de la región.
5. Ingreso de esta información a la base de datos Access disponible en el SERNAGEOMIN.
6. Integración de la información geológica disponible a escala 1:50.000 para llevarla a las hojas 1:250.000.
7. Trabajo de terreno para verificar la ubicación de pozos, medición de nivel estático y muestreo para análisis químico. En lo posible complementar esta información con observaciones de nuevos pozos, vertientes y norias en terreno, sobretodo en aquellas unidades carentes de información.
8. Verter la información de captaciones de agua subterránea sobre los mapas geológicos para distinguir unidades hidrogeológicas, mediante la revisión e integración de la estratigrafía de pozos y geología de superficie.
9. Realizar mediciones con GPS diferencial y medición de niveles estáticos en pozos seleccionados para confección de isopiezas.
10. Realización de mapas hidrogeológicos.
11. Evaluación de sondajes mediante método GOD para cálculo de vulnerabilidad.
12. Recopilación de información sobre uso del terreno y posibles fuentes contaminantes.
13. Revisión en terreno sobre las posibles fuentes de contaminación del agua subterránea.
14. Confección de mapas de vulnerabilidad de acuíferos.

RECOPIACIÓN E INGRESO DE INFORMACIÓN EN BASE DE DATOS SIGAM

Para los efectos de estudio FNDR al cual se refiere este informe, la información compilada y recopilada sobre captaciones de agua subterránea fue de un total de 2.209, de las cuales 307 son del área de la Hoja Valdivia, 989 son del área de la Hoja Osorno, 669 son del área de la Hoja Puerto Montt y 244 son de la isla de Chiloé. Estos datos incluyen los recopilados durante la realización de este estudio FNDR, además de los compilados desde publicaciones previas de SERNAGEOMIN relativas a Geología para Ordenamiento Territorial de las áreas de Puerto Montt, Osorno y Valdivia (SERNAGEOMIN, 1998; Antinao *et al.*, 2000; Pérez *et al.*, 2003; Arenas *et al.*, 2004).

De las 2209 captaciones, 415 análisis de muestras de agua subterránea, de las cuales 163 fueron tomadas en área de Valdivia, 111 en Osorno y 141 muestras en Chiloé, fueron recolectadas y analizadas durante la realización de este estudio (Anexo I). Las restantes fueron previamente publicados por SERNAGEOMIN (SERNAGEOMIN, 1998; Antinao *et al.*, 2000; Pérez *et al.*, 2003; Arenas *et al.*, 2004), pero también fueron consideradas para la caracterización hidroquímica. Además, en el marco de este estudio, se hicieron total de 448 mediciones de parámetros fisicoquímicos realizadas en terreno, 160 en Valdivia, 147 en Osorno y 141 en Chiloé (Anexo II), que se agregan a los previamente publicadas por SERNAGEOMIN y gran parte de los cuales, también fueron considerados para

efectos de preparación de cartografía de recursos y vulnerabilidad de agua subterránea.

Tabla 1. Carta Gantt original de la formulación del estudio.

	jul-05	ago-05	sep-05	oct-05	nov-05	dic-05	ene-06	feb-06	mar-06	abr-06	may-06	jun-06
FORMACION DE GRUPOS DE TRABAJO	█											
RECOPIACION DE INFORMACION	█	█	█	█								
PREPARACION DE CARTOGRAFIA DIGITAL	█	█	█	█								
GENERACION DE BANCO DE DE DATOS	█	█	█	█								
TRABAJOS EN TERRENO Y RECOLECCION DE MUESTRAS				█	█		█	█	█	█	█	█
CARACTERIZACION DE UNIDADES HIDROGEOLOGICAS				█	█		█	█	█	█	█	█
IDENTIFICACION Y DISTRIBUCION DE FUENTES CONTAMINANTES				█	█		█	█	█	█	█	█
INICIO DE TRASPASO A BANCO DE DATOS				█	█		█	█	█	█	█	█
INFORME DE AVANCE					█							█
INFORME ANUAL						█						█

SEGUNDO AÑO

	jul-06	ago-06	sep-06	oct-06	nov-06	dic-06	ene-07	feb-07	mar-07	abr-07	may-07	jun-07
TRABAJO EN TERRENO Y RECOLECCION DE MUESTRAS	█	█	█	█	█							
MEDICIONES CON dGPS					█		█	█	█			
TRASPASO DE INFORMACION A BANCO DE DATOS	█	█	█	█	█							
CARACTERIZACION Y CLASIFICACION HIDROQUIMICA							█	█	█	█		
DEFINICION DE PRINCIPALES FUENTES CONTAMINANTES							█	█	█	█		
CONSTRUCCION DE COLUMNAS Y PERFILES							█	█	█	█		
CONSTRUCCION DE ISOPIEZAS Y DETERMINACION DE DIRECCIONES DE FLUJO							█	█	█	█		
PREPARACION DE MAPAS HIDROGEOLOGICOS				█	█		█	█	█	█	█	█
ELABORACION DE MAPAS DE VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACION				█	█		█	█	█	█	█	█
PREPARACION DE MAPAS HIDROQUIMICOS							█	█	█	█	█	█
INFORME ANUAL						█						█
INFORME FINAL												█

La información técnica de captaciones de agua subterránea necesaria para la confección de los mapas de recurso de agua de la región fue recopilada en gran parte de los expedientes de solicitud de derechos de agua subterránea en la Dirección General de Aguas (DGA), en la Empresa de Servicios Sanitarios de Los Lagos (ESSAL) de Puerto Montt y Valdivia y empresas perforadoras de sondajes de aguas subterráneas, como Perfomaq, entre otras.

Esta información incluye los antecedentes generales de cada captación, tales como propietario, ubicación geográfica de la captación en coordenadas UTM, profundidad, tipo de captación, caudal y, en caso de encontrarse, la estratigrafía y habilitación de pozo, ensayos de bombeo y/o análisis químico de las aguas. La ubicación y antecedentes técnicos de las captaciones fueron trabajados en terreno y contrastada, con la información ya ingresada en la base de datos para evitar duplicidad. Por otro lado, los datos que se recopilaron en terreno fueron, principalmente: ubicación geográfica de la captación en coordenadas UTM; tipo de captación; conductividad; pH; Eh y O₂. A lo anterior, se deben agregar los resultados de análisis químicos realizados a muestras de agua tomadas en las distintas etapas de terreno. Es importante hacer mención que no en todos los

pozos se pudo obtener el total de la información requerida, estando muchos de ellos incompletos.

Este informe incluye un CD con la información de las 2.209 captaciones recopiladas, hasta la fecha e ingresadas a la base de datos SIGAM (Sistema de Información Geológico Ambiental) del SERNAGEOMIN (Servicio Nacional de Geología y Minería) por su Oficina Técnica Puerto Varas. Sin embargo, sólo podrán ser visualizados como tablas, sin poder trabajar con ellos (por ejemplos hacer consultas y trabajar con SQL), hasta que se concrete el traspaso de respectivo software a la institución debidamente designada por GORE Los Lagos. Esta base de datos, posee distintos módulos o ventanas que permiten ingresar una serie de información que va desde datos generales de la captación, ventana de los datos litológicos, ventanas de valores de niveles estáticos, ventana con datos de pruebas de bombeo y ventana con datos de análisis químicos.

Como parte del trabajo relacionado con el estudio FNDR presentado en este informe, se resolvieron algunas fallas en el software, surgidas durante el ingreso de los datos, como problemas con la interfaz gráfica, que producía dificultades para ingresar los datos básicos de pozo, litología, análisis químico, entre otros. Gran parte de estos problemas se solucionaron con la colaboración del Sr. Wolfgang König (Consultor de BGR, Alemania), programador de la base de datos. Sin embargo, todos los problemas relativos a consultas o instalación en un computador personal (sin servidor) se resolvieron en la Oficina Técnica de Puerto Varas.

35408		
Identificación de la coordenada	35408	
Identificación del la coordenada		
No. de pozo	XEP3664	
IsInSample		
DGA	ND-X-3-1110	
Boca del pozo		m s.n.m
Profundidad total del pozo	90	m
Área de recarga		m2
Altitude maxima de la zona de recarga		m
Fecha comienzo de la perforación	25/04/2005	
Fecha fin de la perforación	25/04/2005	
Empresa de la perforación		
Observaciones	C.A.P.R. CHINQUIHU	
Caudal según propietario	20	
Uso del pozo		
Tipo del pozo		
Tipo de bomba instalado en el pozo		
Tipo del paisaje		

tblSprings

Editar Añadir Borrar almacenar Salir

Figura 2. Ventana de SIGAM con ingreso de información general.

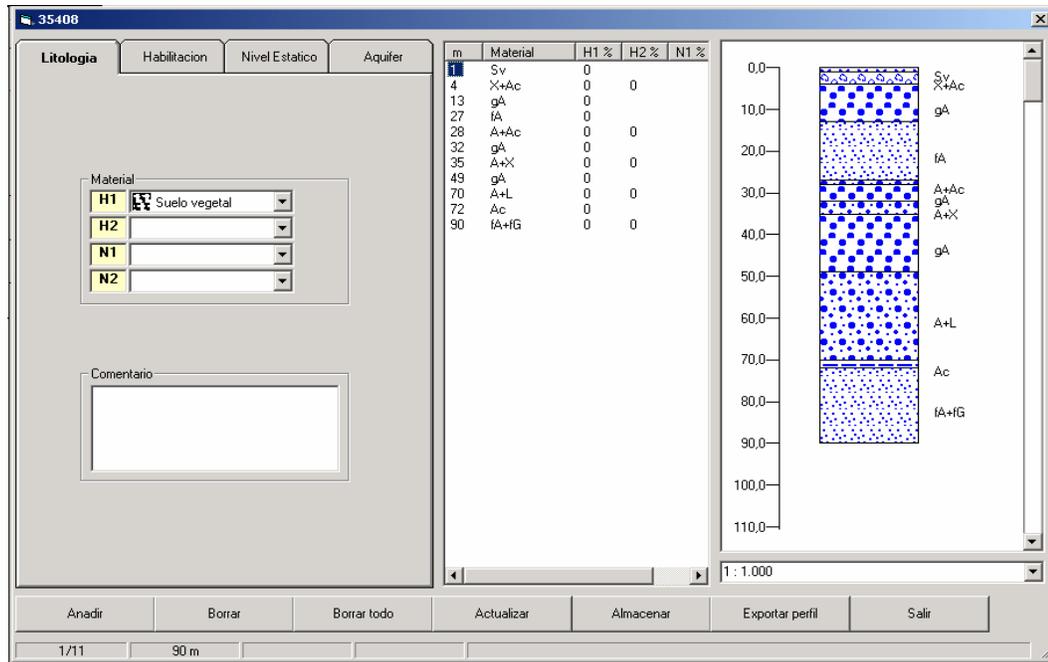


Figura 3. Ventana de SIGAM con ingreso de la información litológica y construcción de columna estratigráfica.

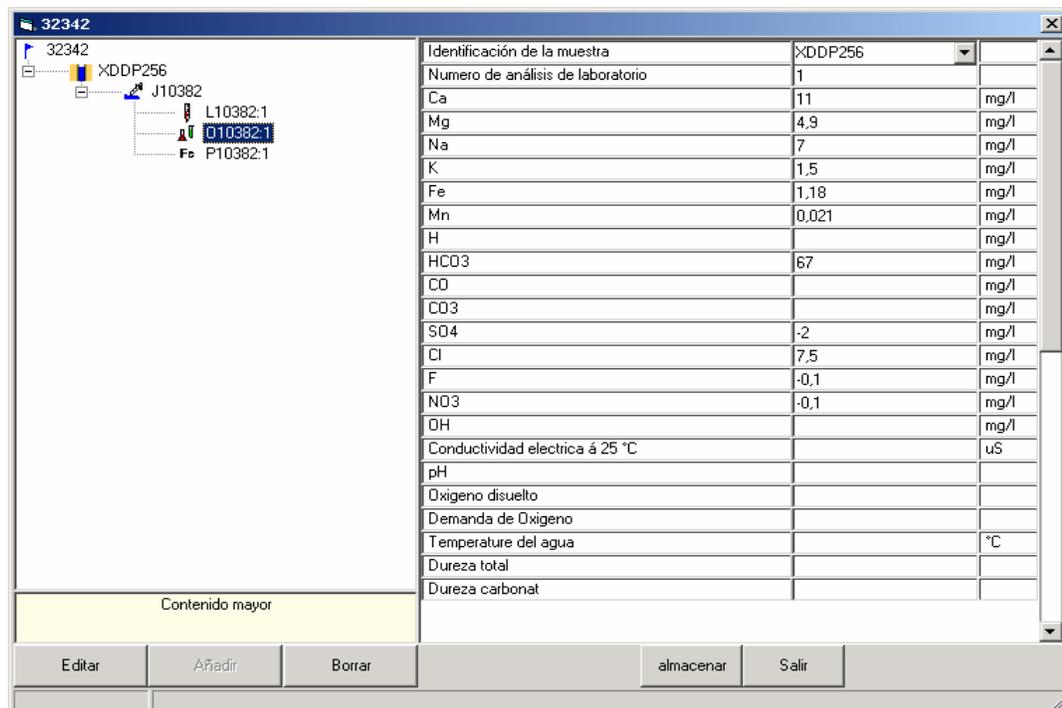


Figura 4. Ventana de SIGAM con ingreso de los resultados de análisis químicos.

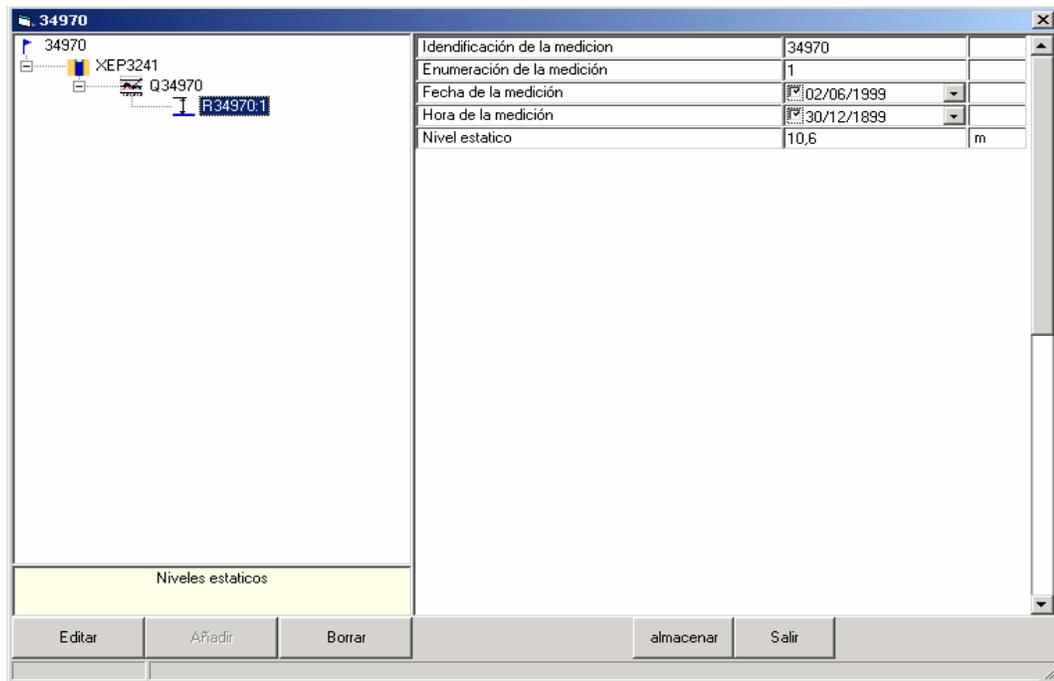


Figura 5. Ventana de SIGAM con ingreso de los valores de nivel estático.

Con dicho software, se realizaron y se pueden efectuar consultas en SQL. Por ejemplo, algunas consultas permitieron identificar todos los pozos que no cumplen con algún parámetro de la Norma Chilena 409/1, o bien en forma específica, los que no cumplen con los valores establecidos para esta norma para el Mn, Fe, pH o NO₃.

EDICIONES CON GPS DIFERENCIAL

Se realizaron mediciones con dGPS en 27 captaciones seleccionadas. Un GPS diferencial o dGPS es un sistema que proporciona a los receptores de GPS correcciones a los datos recibidos de los satélites GPS. Cuando las correcciones han sido aplicadas se proporciona una mayor precisión en la posición calculada. Para hacer mediciones con dGPS se necesita una estación base en tierra, con coordenadas muy bien definidas, que recibe los satélites de GPS. Cuando la posición está bien definida, el sistema calcula el error entre su posición verdadera y la calculada, estimando el error en cada satélite. Estas correcciones son enviadas al receptor a través de algún medio, ya que existen varias formas de obtener las correcciones dGPS. En el caso del estudio se han usado el WGS84 que es un Sistema Geodésico Global de 1984. Para que las correcciones dGPS sean válidas, el receptor tiene que estar relativamente cerca de alguna estación dGPS, generalmente, a menos de cien kilómetros. La precisión lograda puede ser de uno hasta cien milímetros en latitud y longitud, y en altitud.

CONTRAPARTE TÉCNICA

En el marco de la realización del estudio, se realizaron diversas reuniones con la contraparte técnica (GORE, DGA, SAG, DOH) para aclarar y complementar informes de avance y programar visitas de trabajo en terreno conjuntas. En dichas reuniones y actividades surgieron iniciativas de asistencias técnicas y reuniones de intercambio con organismos interesados en la problemática de las aguas subterráneas de la región, como por ejemplo con el Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA-Remehue). Durante las reuniones técnicas también surgieron iniciativas de difusión y educación en el tema de las aguas subterráneas.

Por otra parte, durante las reuniones técnicas, uno de los temas discutidos, a los que se le dio especial relevancia, fue el del traspaso de la información recopilada durante el proyecto hacia las instituciones públicas que constituyen la contraparte técnica, particularmente la base de datos hidrogeológica (SIGAM), que el SERNAGEOMIN ha desarrollado para almacenar la información puntal sobre captaciones de agua subterránea y que incluye tanto los datos generales de ubicación, propietario, entre otros, como los resultados de análisis químicos y pruebas de bombeo.

Durante las reuniones de trabajo, se expresó por parte de la contraparte técnica, la necesidad de conocer los resultados de análisis químicos de fertilizantes que se utilizan en la Región, realizados en colaboración entre SERNAGEOMIN y la Universidad de Los Lagos (sede Osorno).

PREPARACIÓN DE CARTOGRAFÍA HIDROGEOLÓGICA Y DE VULNERABILIDAD DE ACUÍFEROS

Para los efectos de preparación de la cartografía incluida en este informe (4 mapas de recursos aguas subterráneas y 4 mapas de vulnerabilidad de acuíferos, fuera de texto, escala 1:250.000), la Región se dividió en cuatro áreas, correspondientes a las hojas escala 1:250.000 del Instituto Geográfico Militar: Valdivia, Osorno, Puerto Montt y Castro (Figura 6). Con fines prácticos y considerando la información geológica e hidrogeológica disponible, se dividió el trabajo de gabinete y terreno en una primera etapa (años 2005 y 2006) para trabajar en las hojas Valdivia y Osorno y en una segunda etapa (años 2006 y 2007) para trabajar en las hojas Puerto Montt y Castro. Se preparó las bases topográficas según las cartas regulares, escala 1:250.000, del Instituto Geográfico Militar (Chile), modificadas por el Servicio Nacional de Geología y Minería. La referencia geodésica en la base de la Proyección Universal Transversal de Mercator (UTM), Zona 18, Datum provisorio Sudamericano de 1956.

La Hoja Valdivia abarca el área de la Región de Los Lagos comprendida entre el límite con la Región de la Araucanía (localizado aproximadamente entre los 39°30' y 39°15' S) y el paralelo 40°00' S y los meridianos 73°45' y 72°00' W (Figura 6), incluyendo parte de la provincia de Valdivia y de las comunas de Valdivia, Corral, Mariquina, Máfil, Los Lagos, Lanco y Panguipulli. Los centros urbanos de mayor importancia corresponden a las ciudades de Valdivia (140.559 habitantes; INE, 2002), Lanco (15.107, habitantes; INE, 2002) San José de la Mariquina (18.223 habitantes; INE, 2002), Los Lagos (20.168 habitantes; INE, 2002), Panguipulli (33.273 habitantes; INE, 2002) y Corral (5.463 habitantes; INE, 2002).

Para cada hoja se recopiló la información técnica de captaciones de agua subterránea desde las oficinas de la Dirección General de Aguas de Puerto Montt y Valdivia. Estos antecedentes se ingresaron a una base de datos Access, que contiene un módulo de hidrogeología. Esta información incluye los antecedentes generales de cada captación, tales como propietario, ubicación, profundidad y, en caso de encontrarse, la estratigrafía y habilitación de pozo, ensayos de bombeo y/o análisis químico de las aguas. Además, se recopiló información de captaciones de agua subterránea disponible en la Empresa de Servicios Sanitarios de Los Lagos (ESSAL), Puerto Montt. La ubicación y antecedentes técnicos de las captaciones fueron verificados en terreno y contrastados con la información ya ingresada en la base de datos para evitar duplicidad.

Para cada hoja se compiló la base geológica a escala 1:250.000, a partir de estudios geológicos a escala 1:100.000 elaborados por el SERNAGEOMIN.

Sobre las bases topográfica y geológica digitales a escala 1:250.000, se dispuso la información de captaciones de agua subterránea, con indicación de la calidad de la información en base a la existencia o no de antecedentes estratigráficos y/o ensayos de bombeo para cada captación, con el fin de conocer su distribución en el área, facilitar las visitas a terreno y analizar la necesidad de conseguir información adicional en las áreas que carecen de ella o dónde ésta es insuficiente o de mala calidad. En caso de ser necesario y a medida que se progresa con el trabajo de terreno, se colectó información adicional desde otras fuentes, tales como empresas perforadoras de sondajes profundos de aguas subterráneas, municipios, INDAP, DOH. Es importante destacar que para realizar la interpretación hidrogeológica a escala regional (1:250.000), basta con tener una cobertura suficientemente completa de los acuíferos presentes en el área, lo que no necesariamente significa contar toda la información de captaciones existentes en el área.

Con base en esta información geológica básica y de las captaciones existentes en cada unidad geológica, se realizó una interpretación hidrogeológica preliminar. Estas unidades serán caracterizadas mediante el trabajo de terreno y análisis de la estratigrafía de los pozos profundos, ensayos de bombeo y análisis químicos.

En el mes de noviembre del año 2005, se comenzó con los trabajos de terreno, destinados a obtener información que permita caracterizar las unidades hidrogeológicas descritas preliminarmente, utilizando como base de trabajo los mapas realizados. En terreno, se verificaron los datos obtenidos para cada captación, se tomaron sus coordenadas, se midieron niveles estáticos, se realizaron análisis in situ de parámetros físico-químicos y se colectaron muestras de agua.

Los trabajos de terreno incluyeron, además, la toma de datos con GPS diferencial para determinar en forma precisa las coordenadas y cotas sobre el nivel del mar de las captaciones de agua seleccionadas, utilizando un dGPS Ashtech Extreme, con el cual se colectó mediciones para 27 sondajes profundos, las que se procesaron mediante el software Ashtech Solutions para obtención de coordenadas y cotas.

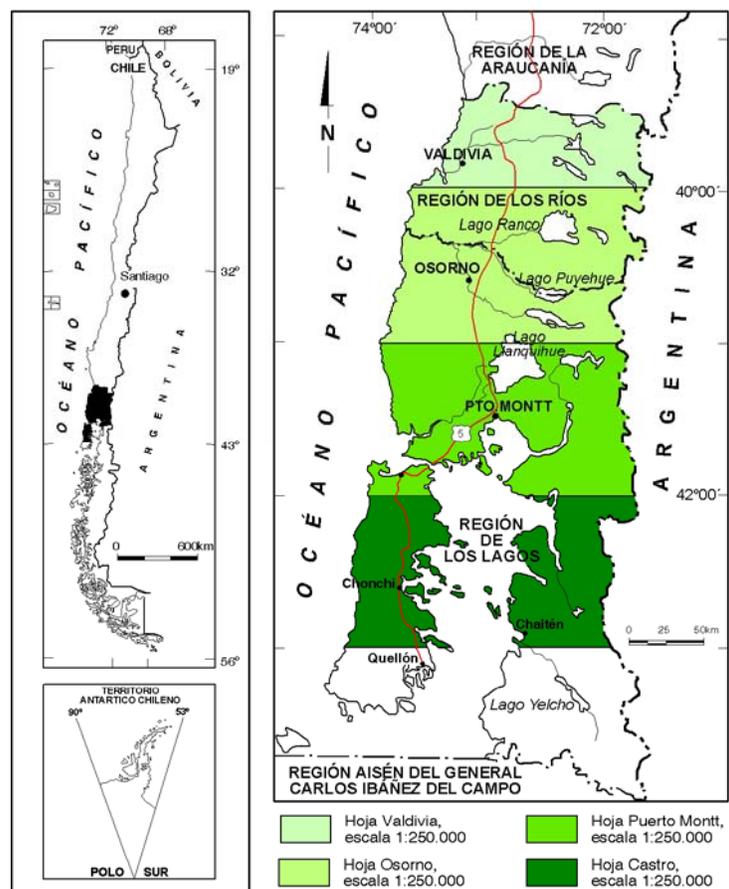


Figura 6. Ubicación de las Hojas Valdivia, Osorno, Puerto Montt y Castro, escala 1:250.000.

Se realizaron los análisis químicos de las muestras de aguas colectadas en el laboratorio del SERNAGEOMIN en Santiago, utilizando los métodos volumétrico, gravimétrico y espectrofotometría de absorción atómica (EAA), para los iones mayoritarios, y plasma por acoplamiento inductivo y espectrometría de emisión atómica ICP-AES para los elementos traza.

La cartografía hidrogeológica fue preparada digitalmente utilizando SIG (Sistemas de Información Geográfica, Arc-View y Arc-Info), disponibles en la Oficina Técnica Puerto Varas del SERNAGEOMIN.

GEOLOGÍA

El conocimiento geológico y la descripción de las unidades geológicas presentes en el área del estudio son fundamentales para los estudios de hidrología subterránea. La geología del subsuelo condiciona principalmente los tipos de acuíferos, la composición química de de sus aguas, las características hidráulicas y la disponibilidad de dicho recurso. Por ello, la realización del estudio

debió considerar y compilar todo el conocimiento geológico disponible de la Región, que fue el pilar sobre el cual se construyó la cartografía hidrogeológica y de vulnerabilidad de acuíferos.

La compilación geológica para la región incluye los estudios geológicos de las áreas de Panguipulli – Riñihue (Rodríguez *et al.*, 1999), Los Lagos - Malalhue (Duhart *et al.*, 2003), Valdivia (Arenas *et al.*, 2004), La Unión (Duhart *et al.*, 1998), Río Bueno – Paillaco (Antinao *et al.*, 1998), Futrono-Lago Ranco (Campos *et al.*, 1998), Bahía Mansa (McDonough *et al.*, 1998), Osorno (Antinao *et al.*, 1998) y Entre Lagos-Puerto Octay (Clayton *et al.*, 1998), Pargua-Calbuco (Antinao y Clayton, 2000), Cordillera de Zarao-Río Llico (Duhart *et al.*, 1998), Puerto Montt (SERNAGEOMIN, 1998), Ancud-Maullín (Antinao *et al.*, 2000), Castro-Dalcahue (Arenas y Duhart, 2003), Chonchi-Cucao (Quiroz *et al.*, 2004) y Quellón-Isla San Pedro (Quiroz y Duhart, 2006), realizadas a escala 1:100.000, donde se han rescatado las características litológicas que son de interés para la interpretación hidrogeológica.

Aunque no se tiene información suficiente para conocer la estratigrafía del subsuelo con precisión, los datos obtenidos tanto de los estudios geológicos en superficie como en pozos perforados en la región, permiten identificar, en forma resumida, depósitos no consolidados del Pleistoceno-Holoceno de origen glacial, fluvial, fluvioestuarino, litoral, eólicos, entre otros; productos volcánicos del Pleistoceno-Holoceno; rocas sedimentarias marinas y continentales del Oligoceno-Plioceno, rocas intrusivas del Paleozoico, Jurásico, Cretácico y Mioceno; y rocas sedimentarias y metamórficas del Paleozoico-Triásico.

DEPÓSITOS NO CONSOLIDADOS DEL PLEISTOCENO - HOLOCENO

Eólicos Heo (Holoceno)

Están conformados por arenas de grano medio a fino, bien seleccionadas, ubicadas detrás de los depósitos litorales, principalmente cerca de la desembocadura del Río Bueno, en las playas de Maullín y Chiloé (desembocadura de los ríos Maullín y San Pedro Nolasco, al norte del Canal de Chacao, y en Quetalmahue, Istmo de Yuste, Chepu, Caleta Goabil, Ahuenco, Bahía Tongoy, Caleta Quepec, Cucao, Quilán, Los Molinos, Checo, Río Catiao, Río Medina, en el lado norte del canal Chiguao y costa este de la isla Cailín (Isla Grande de Chiloé). Sobreyacen, discordantemente, a depósitos diamicticos y glaciofluviales del Pleistoceno y a rocas sedimentarias del Plioceno y metamórficas del Paleozoico-Triásico.

Se presentan como campos de dunas, en general, de topografía baja y ondulada, separados por depresiones inundadas. Las dunas, de hasta 10 m de altura, poseen formas lunadas, transversales e irregulares y, en sectores como Maullín y Cucao, conforman cordones elongados paralelos a la costa de hasta 1 km de ancho y 10 km de largo. Los depósitos muestran estratificación planar horizontal y cruzada de alto ángulo, separadas por superficies de erosión. Localmente, se observan niveles de paleosuelos y concreciones férricas irregulares, de varios metros de largo, y otras tubulares de hasta 8 cm de largo y 1 cm de diámetro.

Litorales Hp (Holoceno)

Compuesto por arenas y gravas, bien a moderadamente seleccionadas. Los depósitos presentan estratificación masiva, planar horizontal, con imbricación dirigida al mar. Las facies gravosas predominan en las playas donde se verifica el aporte de material grueso proveniente del retrabajo de sedimentos glaciofluviales y fluviales. En Chiloé, las facies gravosas también se observan en las costas interiores y ocupan, principalmente, la zona intermareal. Los clastos son redondeados a subredondeados, con buena a moderada selección y escasa matriz de arena gruesa y, en parte, parcialmente imbricados. En las facies arenosas, prevalece la granulometría fina a media. Las arenas están compuestas de cuarzo, magnetita, feldespatos, granos volcánicos, turmalina, epidota y circón. Se disponen en franjas de hasta 500 m de ancho, paralelas a la línea de costa. Se extienden sobre los 5 km en las playas de Cucao y Maullín. En la costa de Caleta Parga, Gua-Guar y desembocadura del río LLico, se ubican en una franja con un ancho comprendido entre 50 m a 2 km. Aunque las playas cambian continuamente sus formas debido a la erosión y depositación actuales, pueden soportar, detrás de la línea de mareas, vegetación joven.

Fluviales Hf (Holoceno)

Compuesto por arenas y gravas bien seleccionadas, con clastos redondeados a subredondeados, de aspecto fresco. Las arenas son de grano medio a fino, generalmente con estratificación planar horizontal y, menos frecuentemente, estratificación cruzada. Algunos sectores muestran gravas y ripios, en parte clastosoportadas, con matriz de arena gruesa, imbricación de clastos y, en algunos casos, gradación normal hasta arena fina y limo. Estos depósitos exhiben estructuras de canales y barras, además de secuencias alternadas de gravas y arenas. Los depósitos acumulados en valles planos con cursos de ríos meandriformes, muestran facies de llanura de inundación, principalmente arenas de grano fino asociadas con abundante materia vegetal. Ocupan los lechos de cursos fluviales mayores y la terraza más baja de los algunos ríos (Mañío, Remehue y Guanehue).

Estuarinos He (Holoceno)

Compuestos por limos, arcillas y arenas finas, macizas a laminadas que conforman terrenos planos y que engranan con depósitos fluviales. En la zona intermareal, donde se presentan, completos a parcialmente saturados de agua, se produce la sedimentación y/o retrabajo, dependiendo de la condición climática, en forma continua durante la marea alta. Están parcial o totalmente saturados en agua y sustentan vegetación de praderas y bosques jóvenes

Coluviales, Hc (Holoceno)

Bloques y gravas, mal seleccionadas, angulosas a subangulosas, en general clasto soportadas, inmersas en una matriz de limos, arcillas y arenas, en proporción variable. Poseen morfología de conos, en parte coalescentes, cuya inclinación alcanza valores mayores que 30°, aunque también constituyen depósitos de piedemonte que no muestran forma geométrica definida. Corresponden a depósitos generados por flujos de detritos y/o flujos torrenciales, que incluyen aportes clásticos

continuos gravitacionales asistidos ocasionalmente por la escorrentía superficial. Se generan en las laderas de cerros abruptos, escarpes rocosos y en la desembocadura de cauces de pendiente pronunciada y recorrido corto. En la mayoría de los casos están cubiertos por densa vegetación.

Aluviales Ha (Holoceno)

Gravas clastosoportadas con matriz de arena y escasos limos. Los depósitos poseen moderada a buena selección, con clastos subangulosos a subredondeados. Presentan una estratificación gruesa, decimétrica a métrica, estructuras de canales e, internamente, estratificación cruzada planar. Poseen formas cónicas, con inclinación cercana o mayor que 10° , que se ubican en la desembocadura de esteros y ríos menores, en llanuras y en lagos, donde forman pequeños deltas. Aunque sobre estos depósitos se desarrolla, localmente, una cubierta vegetal algunos aún están periódicamente activos (río Niltre).

Deltaicos, Hd (Holoceno)

Gravas bien seleccionadas y estratificadas, con clastos subredondeados a bien redondeados. La estratificación, decimétrica, es granodecreciente y presenta intercalaciones lenticulares de arena. Conforman abanicos, cuya inclinación es menor que 10° , que se ubican en la desembocadura de los ríos Enco, Llanquihue y Guanehue en los lagos Riñihue y Panguipulli. Aguas arriba de los cauces que los generan se interdigitan con depósitos fluviales.

De remoción en masa, Hrm (Holoceno)

Diamictos mal seleccionados, matriz y clastosoportados, con clastos angulosos a subangulosos, de tamaños desde bloques hasta gravas, sin estratificación y frecuentemente, masivos. Incluyen tanto materiales rocosos como bloques de sedimentos no consolidados. Presentan formas lobulares, con cordones de lomas orientadas en forma subparalela al escarpe asociado al evento. Incluyen pequeños depósitos en la zona cordillerana y grandes depósitos generados por movimientos sísmicos, como los de San Pedro y Pullinque.

Fluviales, PIHf (Pleistoceno Superior-Holoceno)

Arenas y gravas, de moderada a buena selección, con clastos redondeados a subredondeados. Se presentan en terrazas de hasta 25 m de altura sobre el lecho de los actuales cursos de los ríos, y ocupan, principalmente, antiguos canales de desagüe glacial que erosionaron los sedimentos glaciofluviales de la Glaciación Llanquihue. Las gravas, clastosoportadas, con matriz de arena gruesa, muestran estratificación planar horizontal, imbricación de clastos y, en algunos casos, gradación normal hasta arena fina y limo. Los sedimentos arenosos, de grano medio a fino, son macizos o pueden presentar estratificación planar horizontal y cruzada. Es común observar estructuras de canales y barras, además de secuencias alternadas de gravas y arenas. En general, tanto la capa de suelo como la profundidad de la meteorización alcanzan algunos centímetros de potencia. En la zona de la ciudad de Valdivia y hacia la costa, los depósitos son de granulometría fina y varían desde arenas medias a arcillas. Localmente, incluye limos laminados.

Lacustres, PIHl (Pleistoceno Superior - Holoceno)

Limos y arenas finas, laminados rítmicamente en secuencias de 2 a 20 m de espesor, ubicados en sectores restringidos de la ribera oeste del lago Calafquén y en La Montaña, al sur del lago Riñihue.

Deltaicos de la Glaciación Llanquihue (Mercer, 1976), PIHd (Pleistoceno Superior- Holoceno)

Gravas y arenas clastosoportadas a matrizsoportadas, de buena selección y bien estratificadas, con estratos, en algunos lugares, granodecrecientes hasta limos laminados. Los clastos están bien redondeados y su aspecto es fresco. Se exponen en ribera noroeste del Lago Ranco, cerca de Pullinque, en el río Zahuil, formando abanicos, con inclinación menor que 5°, erosionados por cauces fluviales holocenos. Estos sistemas deltaicos se asocian a niveles más altos de los lagos Pullinque y Panguipulli, ocurridos durante la Glaciación Llanquihue.

Litorales, PIHp (Pleistoceno Superior - Holoceno)

Gravas y arenas y arenas cementadas comúnmente con estratificación cruzada, bien seleccionadas y redondeadas, de composición y características similares a los depósitos de playas actuales, representan antiguas líneas de costa. Estos depósitos se localizan principalmente hacia la desembocadura del Río Llesquehue y tanto al norte como al sur de la desembocadura del río Maullín.

Depósitos de la Glaciación Llanquihue (Pleistoceno Superior)

Morrénicos de la Glaciación Llanquihue (Mercer, 1976), PIm1 (Pleistoceno Superior)

Diamictos glaciares ('till') macizos, matriz a clastosoportados, que se presentan morfológicamente como cordones morrénicos muy bien conservados, con alturas de hasta 270 m s.n.m. Estos sedimentos cubren gran parte de la zona oriental de la región, conforman una secuencia de grandes cordones morrénicos alrededor de la ribera occidental de los lagos Calafquén, Panguipulli, Riñihue, Ranco Puyehue, Rupanco y Llanquihue. En la Isla Grande de Chiloé, donde se presentan como facies de 'till' basal, caracterizadas por un alto grado de compactación y por un clivaje horizontal. Se reconoce, en partes, 'till' de fusión, que se caracteriza por ser de menor compactación que el 'till' basal y por presentar estratificación fina a laminada. Ambas facies pueden cubrir sedimentos glaciofluviales, plegados y fallados por efecto de la acción del empuje del hielo.

Los clastos, bloques y gravas, son redondeados a subredondeados, y alcanzan tamaños de hasta 4 m de diámetro. Pueden presentar estrías y facetas glaciares y, raramente, se observan cáscaras de meteorización. La matriz se compone de arena fina, limos y arcillas. En general, la profundidad de la meteorización es menor que 1 m y, en los depósitos más consolidados, es centimétrica. Una capa de suelo, de probable origen volcánico, de espesor menor que 1 m, suele cubrir estos sedimentos. En algunas morrenas, los depósitos se interdigitan con sedimentos glaciofluviales y limos laminados. Generalmente, los cordones están separados por canales o planicies de depósitos glaciofluviales. Al norte de la ciudad de Castro, estos depósitos se encuentran cubiertos por limos-arcillosos, macizos, de hasta 3 m de potencia, los que podrían corresponder a

sedimentos eólicos o glaciolacustres someros (Benn y Evans, 1998), depositados con posterioridad al retiro local del hielo.

Glaciofluviales, Plgf1 (Mercer, 1976)

Gravas y arenas, con menor proporción de limos y arcillas, que conforman amplias llanuras ('outwash'). En sectores se reconocen hasta 30 m de espesor. Las gravas son moderadas a mal seleccionadas, con clastos subredondeados a redondeados. Los clastos, en general, no presentan cáscaras de meteorización, aunque algunos clastos dacíticos son leve a moderadamente disgregables, lo que podría indicar retrabajo de sedimentos glaciares más antiguos. En algunos fragmentos es posible observar estrías y facetas glaciares. Las gravas, clastosoportadas, con matriz de arena gruesa, presentan estructuras de estratificación planar horizontal y, localmente, imbricación de clastos e intercalaciones de niveles de arena, de formas lenticulares a tabulares, que son interpretadas como estructuras de barras. Están interestratificadas con lentes de arena y en algunos lugares, con limos laminados.

Las arenas, gruesas a finas, con estratificación planar horizontal y cruzada, aparecen intercaladas con niveles de gravas matriz soportadas y, en algunos sectores, presentan gradación normal. Las facies más finas pueden presentarse laminadas, con clastos aislados de limolita, de tamaños centimétricos, e intercalaciones de niveles laminados de limos y arcillas. Tanto en gravas como en arenas es posible observar estructuras de canales y de acreción lateral. En el entorno y bajo los depósitos morrénicos de la Glaciación Llanquihue, los sedimentos glaciofluviales pueden presentar pliegues y fallas debido al empuje provocado por avances posteriores del hielo. La presencia de óxidos de Fe y Mn en los sedimentos es, en general, escasa, limitándose a los primeros 2 m. Es común la existencia de una capa de suelo pardo oscuro, menor que 1 m de espesor, que cubre estos depósitos y que, probablemente, se ha desarrollado en material piroclástico.

Forman terrazas ubicadas entre 10 y 15 m s.n.m., en los ríos Cruces y Calle Calle, al este de Pishuinco. En el sector este, conforman extensas llanuras y planicies, que se originan de las terrazas entre los cordones morrénicos y se extienden al oeste rellenando los valles mayores de San Pedro y Melefuén.

En Chiloé central, tanto al occidente como al interior de los cordones morrénicos de los lóbulos Castro y Ancud, los depósitos se extienden hasta el océano Pacífico en los sectores de la desembocadura del río Chepu y la bahía Tongoy. En estas planicies se ha desarrollado una red de drenaje más joven que, en parte, ocupa los antiguos canales de desagüe glacial. En los sectores costeros del canal Dalcahue y estero Castro, en el borde litoral del canal Quinchao, en la parte alta de la isla del mismo nombre, y en la ribera occidental del río Carihueico, cerca de Colonia Notué, se presentan arcillas y limos laminados con apariencia de 'varves'. No representables a escala regional, alcanzan potencias expuestas de hasta 5 m. Los depósitos costeros pueden mostrar plegamiento sinsedimentario, asociado a deslizamientos durante la sedimentación, en fondos con pendientes bajas. En los sectores altos estos sedimentos presentan, localmente, fracturamiento y plegamiento asociado al empuje del avance de los hielos. Las secuencias de 'varves' se interdigitan con los depósitos glaciofluviales de la

Glaciación Llanquihue, en el sector de Huenao sobreyacen a areniscas de probable edad terciaria y en la ribera oeste del río Gamboa, sobreyacerían a rocas del basamento metamórfico.

Glaciolacustres (Mercer, 1976), Plgl1 (Pleistoceno Superior)

Depósitos de arcillas y limos laminados rítmicamente, de origen glaciolacustres ('varves' o 'ritmitas'). Localmente, muestran estructuras 'slump', 'drop stones' y plegamiento sinsedimentario, así como deformación intensa por empuje glacial (glacitectonita). Los depósitos glaciolacustres alcanzan espesores, expuestos, de hasta 40 m. La relación estratigráfica de los depósitos glaciolacustres, en algunos lugares subyacentes a depósitos glaciofluviales, Plgf1, y en contacto transicional, permite incluirlos entre los depósitos de la Glaciación Llanquihue.

En la zona norte de la Región de Los Lagos, estos depósitos ocurren en pequeñas cuencas de aproximadamente 0,5 km de ancho y 2 km de largo, como la del Río Negro, en el sur de Lago Rupanco, en la ribera suroccidental de los lagos Calafquén y Riñihue, donde alcanzan una potencia de 3 a 5 m. En Chiloé, están bien expuestos tanto al centro de la isla, en los alrededores de Chonchi (islas Chelin, Quehui y Lemuy y canal Queilén), como en el extremo sur, al norte de Quellón.

Deltaicos de la Glaciación Llanquihue (Mercer, 1976), Pld (Pleistoceno Superior)

Gravas y arenas clastosoportadas a matrizsoportadas, de buena selección y bien estratificadas, con estratos, en algunos lugares, granodecrecientes hasta limos laminados. Los clastos están bien redondeados y su aspecto es fresco. Se exponen cerca de Pullinque, en el río Zahuil, formando abanicos, con inclinación menor que 5°, erosionados por cauces fluviales holocenos. Estos sistemas deltaicos se asocian a niveles más altos de los lagos Pullinque y Panguipulli, ocurridos durante la Glaciación Llanquihue.

Fluvióestuarinos del último interglaciar (Phillippi, 1887), Plfe (Pleistoceno Medio-Superior)

Gravas finas, arenas y arenas limosas a arcillosas, débil a moderadamente compactadas. Hacia el oeste, en el área de Valdivia, algunas de sus facies representan ambientes depositacionales fluviales, litorales, palustres y estuarinos, mientras que en el sector central (Los Lagos-Malalhue) estos depósitos representan, probablemente, eventos laháricos y presentan estratificación horizontal, cruzada o maciza, con predominio de componentes de origen volcanoclástico, localmente con fragmentos de pómez meteorizados. En la costa, forman terrazas de hasta más de 30 m s.n.m y a lo largo del sistema de ríos presentan una altura aproximada de 13 m s.n.m. El espesor de estos depósitos puede variar entre 50 y 80 m. Según el origen de los componentes principales, estos depósitos se dividen en dos asociaciones de sedimentos que engranan lateralmente y que representan ambientes depositacionales fluvial, litoral, palustre y, probablemente, estuarino: **a.** gravas, arenas y arenas limosas hacia la base, formadas a partir de la erosión de rocas del Complejo Metamórfico Bahía Mansa, que intercalan con niveles de limos con fósiles marinos y estratos de turba, se reconoce principalmente en la costa; **b.** arenas, con

estratificación planar horizontal y cruzada, gravas finas, arenas limoarcillosas, limos y arcillas, de origen volcanoclástico, presentes principalmente, en el área de Pelchuquín-San José de la Mariquina, en los alrededores de Valdivia y en la costa.

Depósitos de la Glaciación Santa María (Pleistoceno Medio)

Morrénicos de la Glaciación Santa María (Porter, 1981), Plm2 (Pleistoceno Medio)

Diamictos glaciarios generalmente macizos, mal seleccionados y matriz soportados, compuestos por gravas gruesas subredondeadas y redondeadas en matriz de limos y arenas finas. Están cementados, son compactos y con evidencias de oxidación de los minerales máficos de la matriz, lo que confiere tonalidad pardo-rojiza. Los clastos se presentan en general frescos, aunque en algunos de ellos existen cortezas concéntricas de meteorización de entre 1 y 3 mm de espesor. Conforman un ancho cordón morrénico externo a las morrenas de la Glaciación Llanquihue. Aunque las crestas morrénicas son suaves, forman una topografía más alta que la correspondiente a los depósitos más jóvenes. En el área de Fresia, donde mejor se exponen estos depósitos, se han reconocido dos arcos morrénicos, los cuales se prolongan hacia el sur. Estos depósitos morrénicos de la parte sureste de esta área representan una prolongación hacia el sur del arco más externo. En la parte norte de Chiloé los sedimentos de esta unidad forman cordones aislados, de morfología morrénica relativamente preservada. Se distribuyen en dos arcos, separados unos 4 km de distancia uno del otro, ubicados al oeste de los cordones morrénicos de la Glaciación Llanquihue. Hacia el centro de la isla, estos depósitos son de ocurrencia aislada y sin morfología característica.

Glaciofluviales de la Glaciación Santa María (Porter, 1981), Plgf2 (Pleistoceno Medio)

Gravas con buena a moderada selección, clastosoportadas, con escasa matriz de arenas gruesas y lentes de arenas y limos. Presentan estratificación planar horizontal y granodecreciente y los clastos están bien redondeados. Los depósitos muestran débil meteorización y están generalmente cementados con óxidos de hierro hasta 3 m de profundidad. Óxidos de manganeso se presentan en la matriz y superficie de algunos clastos. Los clastos, en general, están frescos, aunque es común encontrar clastos volcánicos con cáscaras concéntricas de meteorización, de hasta 3 mm de espesor, y clastos de rocas intrusivas muy disgregables. Una capa de suelo pardo oscuro, de hasta 2 m de espesor, y probablemente desarrollada en depósitos piroclásticos, suele cubrir estos sedimentos. Conforman una topografía suavemente ondulada que se extiende más allá de las morrenas de la Glaciación Santa María, que ha sido erosionada por cauces rellenos con depósitos fluviales y glaciofluviales más jóvenes.

Depósitos de la Glaciación Río Llico (Pleistoceno Medio)

Morrénicos de la Glaciación Río Llico (Porter, 1981), Plm3 (Pleistoceno Medio)

Gravas y arenas gruesas, matriz soportadas con fragmentos redondeados de regular a mala selección, con matriz arenosa, limosa o arcillosa, y abundante presencia de óxidos de Fe y Mn, que le otorgan el color característico pardo rojizo

a rojo oscuro a esta unidad. Los depósitos son compactos y los clastos son en su mayoría friables, con capas de cáscaras que se desprenden sucesivamente. Alrededor del 30% de los clastos tienen consistencia blanda, pudiendo ser cortados con un cuchillo. Sólo alrededor del 10% aparecen moderadamente meteorizados. Generalmente poseen cáscaras de 3 a 6 mm, con núcleos remanentes que se encuentran en algunos clastos de grano fino. Esta unidad se expone ampliamente entre Fresia y Los Muermos, en un cordón casi continuo alineado noreste-suroeste, y en la parte norte de la hoja Puerto Montt aparecen generalmente confundidos en su límite oeste con los depósitos de la Glaciación Tegalda.

Glaciofluviales de la Glaciación Río Llico (Porter, 1981), Plgf3 (Pleistoceno Medio)

Corresponden a gravas y arenas bien estratificadas, sus materiales están bien seleccionados y bien redondeados, ocasionalmente interestratificadas con lentes de arenas. Las gravas son clastosoportadas, con escasa matriz arenosa meteorizada a arcillas. Los clastos son de procedencia andina y por lo general son blandos. Sólo algunos núcleos se presentan aún duros, existiendo notable depositación de óxidos de manganeso y hierro. Comúnmente presentan 2 a 3 m de suelo. Aparecen en la parte norte y oeste de Fresia, cubiertas por una capa de 2 a 3 m de depósitos glaciofluviales asignados a la Glaciación Santa María.

Morrénicos de la Glaciación Tegalda, Plm4 (Pleistoceno Medio- Inferior)

Estos sedimentos son mal clasificados y generalmente mal estratificados, interpretándose como depósitos glaciales. La matriz está muy alterada y presenta generalmente colores pardos y grises. Los clastos, subangulosos a subredondeados, varían entre gravas y bolones, aunque se encuentran bloques diseminados principalmente al oeste de Tegalda. Los clastos muestran una meteorización intensa, siendo la mayoría blando, mostrando cáscaras de 6 a 8 mm, que dejan ver sólo en algunos de ellos núcleos más duros, especialmente en aquellos clastos originados en rocas de grano fino. Los depósitos asignados a la Glaciación Tegalda afloran exclusivamente en el sector noroeste de la hoja Puerto Montt, entre Fresia y Los Muermos, en un alto topográfico que aparece con alturas entre 200 y 350 m s.n.m. Se destaca, una sección notable al sur de Tegalda, en el área de Fresia, con aproximadamente 10 m de till con bloques y clastos angulosos muy meteorizados,

Diamícticos Antiguos Indiferenciados, Pdi (Pleistoceno?)

Los depósitos de esta unidad se observan solo hacia la Cordillera de la Costa en los alrededores del sector Cordillera Vieja. Ocupan una plateau sobre los 300 m s.n.m. y no presenta morfología propia. Corresponden a diamicto masivo y matrizsoportado, sin estratificación, pero también conforman lentes de gravas. Los clastos presentan mala selección, y tamaños desde grava hasta bloques e incluyen formas sub-redondeadas a bien redondeadas, inmersa en matriz limosa-arcillosa. Los clastos presentan meteorización intensa, con cáscara mayor que 2 mm a clastos de 10 cm alterados hasta su núcleo. Se interpretan como depósitos morrénicos de till por las características de diamicto mal seleccionado,

matrizsoportado y que contiene clastos derivados de la Cordillera Principal con estrías. Estos depósitos se asocian probablemente a una glaciación más antigua que la Glaciación Tegalda.

Fluviales y glaciofluviales del Pleistoceno Inferior a Medio, Plfg (Pleistoceno Inferior a Medio)

Depósitos de gravas cuarcíferas y polimícticas. Las gravas cuarcíferas son clastosoportadas, subredondeadas, tienen mala esfericidad y moderada a buena selección y, localmente, exhiben estratificación. Representan depósitos asociados a antiguos sistemas fluviales y aluviales. Las gravas polimícticas son mal clasificadas y mal seleccionadas, clasto a matriz soportadas y, localmente, exhiben estratificación. Los clastos son redondeados a subredondeados, con meteorización avanzada y, la mayoría, son completamente friables. La matriz es arcillosa y muy alterada. Representan depósitos glaciofluviales.

PRODUCTOS VOLCÁNICOS DEL PLEISTOCENO - HOLOCENO

Pleistoceno, Plv

Secuencia basal de los estratovolcanes Villarrica y Choshuenco (Pleistoceno medio) y rocas volcánicas asociadas al volcán Sierra de Quinchilca (Pleistoceno inferior a medio). Las secuencias asociadas a los volcanes Villarrica y Choshuenco corresponden a lavas, brechas, conglomerados y tobas que constituyen las unidades basales de los estratovolcanes Villarrica y Choshuenco. Se incluyen en esta unidad lavas, brechas y aglomerados volcánicos que afloran al sureste del lago Calafquén, que corresponden a remanentes volcánicos, fuertemente destruidos por la acción glacial

Rocas Volcánicas, Pliv (Pleistoceno Inferior)

Esta unidad comprende a la secuencia precaldera de Cordillera Nevada, expuesta más ampliamente en el área de Futrono-Lago Ranco (Campos *et al.*, 1998). Conformada por una serie estratificada que alcanza a más de 500 m de potencia, con inclinación primaria de estratos, que incluye secuencias volcánicas integradas por lavas vesiculares, comúnmente columnares, ignimbritas soldadas con fragmentos dacíticos y andesíticos, brechas, tobas, conglomerados volcánicos y cuerpos subvolcánicos erodados, tales como chimeneas, diques y filones manto (Campos *et al.*, 1998). Rocas volcánicas, de características similares, localizadas en el sector occidental del Lago Puyehue, en las localidades de Muelle de Piedra y Central Pilmaiquén, se asignan tentativamente a esta unidad, aunque se asociarían a los volcanes Sarnoso y Casablanca. Secuencias volcánicas ligadas a estratovolcanes o centros de emisión muy erodados por glaciaciones, se asocian al Volcán La Picada y al Cordón Cenizos-Puntiagudo. En el área de Futrono-Lago Ranco, parte de esta unidad se encuentra cubierta por depósitos piroclásticos del Pleistoceno Medio - Superior. Las lavas de esta unidad son de composición calcoalcalina y esencialmente basáltica y andesítica, correspondiendo petrográficamente a andesitas de ortopiroxeno y clinopiroxeno y basaltos de olivino.

Abanicos de Depósitos Piroclásticos, Pldp (Pleistoceno Medio)

Está compuesta de tobas masivas de lapilli y cenizas finas, líticas, litocristalinas y litovítricas, moderadamente consolidadas de color gris y amarillo. Los lapilli son escoriáceos, líticos de composición andesítico-basáltica y/o dacítica, y pumicíticos. Existen además facies retrabajadas compuestas de escoria y pómez de arenas y gravas finas que manifiestan buena selección, junto a estratificación plana-horizontal y cruzada, generalmente redondeados a subredondeados.

Laháricos, PIHla (Pleistoceno Superior – Holoceno)

Depósitos compuestos por material diamítico de composición casi exclusivamente volcánica andesítica-basáltica a basáltica. Los clastos se observan angulosos de tamaños muy variados, comprendidos entre 1 cm hasta bloques de 7 a 8 m de diámetro. La matriz representa un alto porcentaje dentro del depósito, con un 50 a 60 % del total. Se encuentra constituida por arenas a gravillas volcánicas, con granos de formas angulosas y un bajo contenido de material intersticial más fino, de tipo cinerítico. Los depósitos presentan una estructura interna masiva y caótica, con indicios leves de estratificación en algunos casos, caracterizados por cambios de coloración y granulometría. Corresponden a flujos originados a partir de erupciones del volcán Osorno. La edad de estos depósitos se estima Pleistoceno Superior-Holoceno en base a relaciones de contacto con unidades de depósitos fluviales más jóvenes y lavas más antiguas.

Lavas y Depósitos Piroclásticos, PIHv (Pleistoceno Superior – Holoceno)

Coladas de lavas, depósitos piroclásticos, lahares y conos de piroclastos erosionados. Corresponde a depósitos originados a partir de centros de emisión aislados, localizados en trazas de fallas y fracturas. Las estructuras volcánicas más comunes corresponden a conos de piroclastos y maares. Entre los productos emitidos destacan flujos de lava y material piroclástico abundante (escoria, lapilli, ceniza, bombas y bloques) de composición basáltica. Proviene de los volcanes Villarrica y del Complejo Mocho-Choshuenco. En el volcán Villarrica, esta unidad incluye lavas 'aa', de composición basáltica y andesítica-basáltica, intercaladas con depósitos piroclásticos, entre los cuales destacan las Ignimbritas Pucón (Holoceno) y Licán (Pleistoceno). En el Complejo Volcánico Mocho-Choshuenco, las lavas más recientes corresponden a andesitas basálticas y entre los depósitos de flujo piroclástico destaca la Ignimbrita Choshuenco, expuesta al pie norte y occidental del complejo volcánico homónimo, donde rellena los valles de los ríos Llanquihue, Neltume y Fuy, además del flanco oeste del río Blanco. Lavas, brechas y aglomerados constituyen parte del soma de la Caldera Choshuenco, intensamente erosionada durante la última glaciación. Dicha estructura está compuesta por lavas andesítico-basálticas, andesitas, dacitas y brechas andesíticas.

SECUENCIAS ESTRATIFICADAS DEL OLIGOCENO - PLIOCENO

Formación Caleta Godoy (Valenzuela, 1982), Plicg (Plioceno Inferior)

Unidad sedimentaria continental-parálico-marina que presenta sus mejores exposiciones en los sectores de Punta Quillagua, Punta Hurón y Punta Godoy, en

el área de Ancud-Maullín. Consisten, en su mayor parte, de areniscas compactas, compuestas de cuarzo, feldespato en parte alterado y clastos de rocas volcánicas meteorizadas, conglomerados y tobas arenosas. Se distinguen concreciones calcáreas de tamaño pequeño y distribución irregular. Los líticos incluyen esquistos micáceos y rocas volcánicas de grano fino. Fósiles marinos, bien preservados, se encuentran en el sector de Ahuenco, donde se distinguen moluscos y cirripedios, escasos corales, tubos de poliquetos y pinzas de cangrejos, en areniscas de grano fino a grueso, que contienen guijarros de cuarzo. En la playa de Ahuenco, en la zona intermareal y con la más baja marea, se observan escasos troncos con corteza parcialmente carbonizada. Su interior, ocupado por una arenisca de grano fino, con cemento calcáreo, contiene tubos de poliquetos rellenos con calcita. En el sector de Ancud-Maullín es frecuente encontrar esta unidad expuesta en los acantilados costeros como secuencias de 50 a 100 m de espesor de areniscas y conglomerados con estratos horizontales o ligeramente inclinados, afectados localmente por fallas normales de alto ángulo y de poco desplazamiento, rasgo bastante típico de esta unidad.

Sus afloramientos se extienden a lo largo de la costa, en el sector de Ahuenco, en la desembocadura de los ríos Chepu y Metalqui, además de Colonia Coquiao al interior de la isla. Su base, expuesta en Ahuenco, se dispone discordantemente sobre rocas del Complejo Metamórfico Bahía Mansa. Al norte de Ancud-Maullín, cubre, con discordancia, estratos continentales del Oligoceno Superior-Mioceno Medio de la Formación Caleta Parga (Elgueta *et al.*, 2000). Estratos de litología similar, que sobreyacen con discordancia angular y de erosión a sedimentitas marinas del Mioceno, han sido recuperados en sondajes exploratorios de la Empresa Nacional del Petróleo (ENAP-Chile) en la Depresión Intermedia, al norte del área del mapa, en la cuenca Osorno-Llanquihue (Elgueta *et al.*, 2000).

En el sector de Parga, la unidad esta compuesta de conglomerados moderadamente a pobremente consolidados, areniscas medias a finas y fangolitas cuarzo micáceas, éstas últimas contienen un manto de carbón de hasta 2 m de potencia, de color pardo terroso con contenido de materia leñosa relativamente fresca, de bajo poder calorífico en comparación con los mantos carbonosos inclinados intercalados en los infrayacentes Estratos de Parga. En el sector de Punta Ortiga los estratos se presentan como gruesos bancos subhorizontales consistentes de areniscas finas de colores verdosos a pardo amarillentas con evidencias de bioturbación. Estos estratos se encuentran afectados por fallas normales, poco extensas. En el sector de Estaquilla los estratos subhorizontales consisten de areniscas finas, pardo amarillentas, fundamentalmente cuarzo micáceas y de lentes de conglomerados que alcanzan hasta 2 m de espesor, constituidos principalmente por clastos de rocas metamórficas, con una escasa matriz arenosa.

En superficie, la sucesión presenta espesores visibles de hasta una centena de metros, mientras que en los sondajes perforados por ENAP, el espesor promedio es de 500 m. Los estratos presentan una posición subhorizontal y, en algunos lugares, inclinaciones entre 10 y 12° al oeste.

Estratos de Río Colún, Plirc (Plioceno)

Unidad sedimentaria continental-marina que aflora y se extiende adosada a la costa en los sectores de Playa Colún, Playa Chahual y Rada de las Banderas. Corresponde a afloramientos expuestos en los acantilados costeros, con secuencias visibles de hasta 100 m de espesor de areniscas y conglomerados con estratos horizontales o ligeramente inclinados, afectados localmente por fallas normales de alto ángulo y de poco desplazamiento, rasgo bastante típico de esta unidad

Estratos de Pitreño (Campos *et al.*, 1998), MPLip (Mioceno Superior-Plioceno)

Secuencia subhorizontal compuesta por rocas sedimentarias continentales y volcánicas definida en el área de Futrono-Lago Ranco, donde incluye un nivel inferior, predominantemente sedimentario de aproximadamente 200 m de volcarenitas, conglomerados y lutitas fosilíferas, y un nivel superior que incluye hasta aproximadamente 500 m de lavas basálticas y andesíticas, aglomerados y depósitos piroclásticos y laháricos (Campos *et al.*, 1998). Su distribución en el área de Panguipulli-Riñihue está restringida a algunas de las cumbres de los cordones montañosos ubicados al norte y sur del valle del río Remehue. En ese sector, la unidad no sobrepasa 100 m de potencia y está formada por rocas piroclásticas, coladas de lavas y brechas andesíticas a basálticas, que se correlacionan con el nivel superior de la unidad y que sobreyacen en discordancia al Complejo Metamórfico Trafún.

Formación Santo Domingo (Modificada de Martínez y Pino, 1979), Msd (Mioceno Inferior a Medio)

Unidad sedimentaria continental-marina que ha sido descrita por Martínez y Pino (1979) en la cuesta homónima en la provincia de Valdivia, donde aflora extensamente y se encuentra su localidad tipo. En el área de Fresia-Los Muermos la formación está expuesta en el sector nororiental, como una franja continua cubriendo una superficie aproximada de 50 km² y las litologías reconocidas representan asociaciones de facies marinas: facies areniscas y fangolitas cuarzo-micáceas y facies de fangolitas y areniscas epiclásticas. Sobreyace e interdigita con contacto transicional con la parte alta de los Estratos de Cheuquemó (redefinida de García, 1968). En su margen este, está cubierta discordantemente por depósitos glaciales y fluvioglaciales cuaternarios. En las cuencas Osorno-Llanquihue tiene su mayor espesor en la Depresión Intermedia, donde se ubica el pozo perforado por ENAP, Los Muermos 1, en el cual se registraron más de 2.000 m de rocas marinas neógenas. En el sector de Collihuinco, el espesor expuesto de la secuencia marina es de aproximadamente 200 m.

Formación Lacui (modificado de Valenzuela, 1982), MI (Mioceno Inferior a Medio)

Secuencia volcano-sedimentaria que incluye rocas piroclásticas, epiclásticas, silicoclásticas y, en menor proporción, carbonatadas, de origen parálico a marino, cuyos afloramientos se restringen al sector norte de la Isla Grande de Chiloé. Su base engrana o sobreyace, concordantemente, a rocas del Complejo Volcánico Ancud o bien se dispone, en discordancia, sobre rocas del

Complejo Metamórfico Bahía Mansa. La formación está compuesta por areniscas, fangolitas, tobas y calizas, que forman dos niveles estratigráficos:

El nivel inferior está compuesto por una secuencia de areniscas, fangolitas y tobas, que alcanza, aproximadamente, 80 m de potencia visible, expuesta en los acantilados costeros al oriente de la península de Lacui, en el Istmo de Yuste y entre Punta Ahuí y Laguna Canutillo. Está formado por areniscas epiclásticas de grano fino a grueso, hasta conglomerádicas finas, con líticos volcánicos andesíticos y andesítico-basálticos, y horizontes ricos en lapilli pumíceos, de color gris a negro, cuando están frescos, y pardo grisáceo claro, cuando están meteorizados. Las areniscas alternan con fangolitas tobáceas y tobas, con una disminución de la fracción arenosa hacia el techo y hacia el oeste. Las areniscas, conocidas localmente bajo el nombre de ‘cancagua de Chiloé’, presentan estratificación gruesa e incipiente laminación interna plana horizontal, que se interpretan depositadas por flujos de régimen alto. En la base de los estratos, en el contacto neto con fangolitas, las areniscas presentan estratificación cruzada en artesa, estructuras erosivas tipo corte y relleno de canales (“scour and fill”) y fragmentos intraclásticos de fangolitas carbonosas. Las fangolitas están finamente laminadas y presentan escasos restos de vegetales carbonizados y fauna marina de pelecípodos, además de pirita diseminada, horizontes bioturbados y diques de arenas. Las fangolitas están afectadas por microfallas y pliegues sinsedimentarios. Algunos niveles de tufitas cristalolíticas, contienen clastos de tobas retrabajadas de 20 a 30 centímetros de diámetro con abundantes cristales de feldespato y fragmentos pumíceos, con estratificación media a gruesa y laminación interna débil.

El nivel superior está compuesto por una secuencia de areniscas, líticas y bioclásticas, y fangolitas, micáceas, que alcanza aproximadamente 150 m de potencia. En el extremo occidental de Playa Chaumán, afloran areniscas gruesas a conglomerados finos, bioclásticas, que gradan a coquinas arenosas finas, cuya fracción lítica incluye fragmentos intraclásticos de fangolitas y líticos volcánicos y metamórficos. En esta misma área, la granulometría disminuye hacia la parte alta de la secuencia, donde se observan intercalaciones centimétricas de calcilitas y margas, que contienen, hacia el oeste, algunos niveles de calizas en estratos de hasta 1 m de potencia. Las areniscas líticas están constituidas por fragmentos de cuarzo y de rocas volcánicas y, en general, presentan una estratificación paralela inclinada, decimétrica. Las areniscas bioclásticas incluyen varias especies de gastrópodos y pelecípodos, además de restos vegetales carbonizados. Los bioclastos se pueden concentrar hasta formar horizontes preferenciales de coquinas de hasta 2 m de potencia. Las fangolitas, micáceas, son de color gris medio a negro, ricas en materia orgánica, finamente laminadas y, localmente, están afectadas por bioturbación.

Estratos de Cucao (Quiroz *et al.*, 2004), Mc (Mioceno Inferior a Medio)

Secuencia sedimentaria marina, limoarenosa y poco litificada, distribuida en la zona suroccidental de la isla Grande de Chiloé. En el área de Chonchi-Cucao, los afloramientos se extienden a lo largo de la costa, desde la localidad del Cucao al sur, y forman una franja irregular de 5 a 10 km de ancho. Estas rocas están expuestas en los interfluvios de los ríos que desembocan al Pacífico abierto y, en

la costa, forman acantilados inestables de hasta 100 m de altura. Allí, las litologías consisten en limolitas con concreciones calcáreas de disposición subhorizontal, que muestran intercalaciones de areniscas finas a limosas, micáceas, de color pardo amarillo, algunas con estratificación cruzada y pliegues sinsedimentarios. Hacia la sección superior de la secuencia, afloran areniscas medias a gruesas, en parte macizas y también con laminación horizontal, y capas con concreciones calcáreas. La secuencia incluye intercalaciones centimétricas a decimétricas de arena gruesa y grava, y conforma estratos y lentes compuestos, principalmente, por cuarzo lechoso y fragmentos de esquistos. Es común la presencia de fósiles de invertebrados (en bancos y en capas coquinoideas centimétricas) y de troncos silicificados, así como de pirita y restos carbonosos. Estos dos últimos componentes, junto con la presencia de glauconita, sugieren el carácter reductor del ambiente durante la depositación de estas litofacies (Tavera *et al.*, 1985). Las estructuras sedimentarias, como laminación paralela, estratificación convoluta y estructuras de carga, sugieren depositación por corrientes de turbidez (Tavera *et al.*, 1985).

La secuencia sedimentaria en los sectores de Las Penas y Rahue (7 y 16 km al sur de Cucao, respectivamente) muestra espesores variables entre 50 m y 100 m, con posición subhorizontal e inclinaciones de bajo ángulo. La base de estas rocas se pierde a nivel del mar y el techo muestra una superficie de erosión sobre la cual se apoyan depósitos glaciogénicos cuaternarios.

Estratos de Chonchi (Quiroz *et al.*, 2004), OIMch (Oligoceno Superior-Mioceno Inferior)

Comprenden areniscas fosilíferas marinas, distribuidas irregularmente en la zona oriental de Chiloé, en los alrededores de la ciudad de Chonchi. Las rocas están mejor expuestas en el borde costero a lo largo del canal de Yal, tanto en isla Lemuy como al sur de Chonchi, aunque también afloran en punta Peuque del estero Castro y, más al sur, en el estero Compu. En este último sector, se observa la base de las areniscas en contacto depositacional, con discordancia angular, sobre esquistos pelíticos del basamento metamórfico. En la mayoría de los casos, el techo de los Estratos de Chonchi subyace, con contacto erosivo, a depósitos glaciales del Pleistoceno. Los espesores expuestos no superan los 15 m. Las areniscas se presentan macizas y estratificadas. Muestran estratificación cruzada, organizada en conjuntos tabulares centimétricos, estratificación cruzada angular plana, en partes, de escala métrica (tipo dunas), y en sets acanalados de hasta 0,5 m de espesor. También presenta estratificación cruzada ondulosa de bajo ángulo y longitud de onda mayor a 3 m (estratificación cruzada 'hummocky'). Aisladamente, hay intercalaciones de lentes de areniscas gruesas a conglomerádicas. Algunos bancos de areniscas contienen abundantes concreciones muy heterogéneas en forma y tamaño.

Secuencias sedimentarias continentales (Oligoceno Superior-Mioceno Inferior)

Incluye los Estratos de Pupunahue (OIMp; Illies, 1970) y Estratos de San Pedro (OIMsp; Bruggen, 1950; modificado por Duhart *et al.*, 2003), integrados por conglomerados, areniscas y fangolitas, ricas en material orgánico, carbonoso, que pueden llegar a constituir mantos de carbón.

Estratos de Lago Ranco (Campos et al., 1998), OIMr (Oligoceno?-Mioceno inferior)

Secuencia volcanosedimentaria compuesta por conglomerados, brechas, tobas y andesitas porfídicas de color gris verde, que alcanza hasta 700 m de espesor, y cuyos afloramientos se distribuyen en el sector oriental del área del mapa.

Basaltos de Tepuhueico (Valenzuela, 1982), OIMt (Oligoceno Superior-Mioceno Inferior)

Consistentes en lavas basálticas a andesítico-basálticas, pobremente expuestas entre depósitos morrénicos, Plm1, en el área central del mapa Chonchi-Cucao, al norte del lago Tepuhueico. Los afloramientos, aislados, tienen extensiones de 5 a 10 m de diámetro y muestran estrías glaciares en dirección aproximada este-oeste. Al microscopio las lavas presentan textura porfírica, con fenocristales de piroxenos y, aisladamente, plagioclasas, en una masa fundamental intersertal, con microlitos de plagioclasas y piroxeno y escaso olivino intersticial.

Estas rocas se consideran equivalentes a aquellas del Complejo Volcánico Ancud, sobre la base de su posición, relativamente cercana, y su similitud petrográfica con lavas de esa unidad.

Estratos de Parga (Modificada de Flores, 1976), OIMp (Oligoceno superior?-Mioceno inferior)

Unidad continental-parálica descrita por Flores (1976) en el sector costero de Playa Galileo-Punta Puga, como una serie estratificada constituida predominantemente por lutitas, niveles calcáreo-coquináceos, areniscas arcillosas cuarcíferas y conglomerados de grano fino, de buena selección y ricos en cuarzo, en las facies sedimentarias finas se intercalan importantes lentes de carbón. Los estratos están expuestos como una delgada franja costera, muy localizada, en el área de Caleta Parga. Sobreyace con discordancia angular y de erosión a las rocas del Complejo Metamórfico Bahía Mansa, e infrayace con discordancia angular y de erosión a la Formación Caleta Godoy, o alternativamente está cubierta por depósitos cuaternarios.

La secuencia aflorante en el sector de Parga tiene un espesor aproximado de 140 m y esta compuesta principalmente de conglomerados finos a medios con clastos metamórficos, areniscas y lutitas carbonosas, las cuales intercalan un manto de carbón de 0,5 m de potencia. Si bien la composición de estas litologías sugiere una composición de detritos provenientes del Complejo Metamórfico Cordillera Bahía Mansa, horizontes de fangolitas tobáceas y tobas de cenizas y lapilli pumicíticos también están presentes. En las cuencas Osorno y Llanquihue (Elgueta et al., 2000.), los estratos asignados al Oligoceno-Mioceno, tienen su mayor espesor en subsuperficie, en el sector de los pozos perforados por ENAP Río Blanco-1 y Colegual-2, donde se registraron más de 1.000 m de estas rocas.

Estratos de Cheuquemó (Redefinida a partir de García, 1968), OIMc (Oligoceno Superior – Mioceno Inferior)

Unidad sedimentaria continental - Parálica descrita por primera vez por Fenner y Sylvester (1936) y posteriormente definida por García (1968) en el área

de Osorno. Si bien, la potencia de esta unidad no supera el centenar de metros, en su localidad principal, ésta tiene su mayor espesor en subsuperficie en la Cuenca Llanquihue, en el área de los pozos perforados por ENAP, Río Blanco-1 y Colegual-2, donde se registraron más de 1.000 m de estos sedimentos. Afloramientos más extensos de esta unidad se encuentran en el área de Bahía Mansa. Nuevos antecedentes de superficie y subsuperficie permiten señalar que la unidad sobreyace directamente con discordancia angular y de erosión al Complejo Metamórfico de Bahía Mansa, aunque localmente pueden estar en contacto por falla normal y en casos inversa; e infrayace o engrana lateralmente con las sedimentitas marinas de la base de la Formación Santo Domingo o está cubierta por depósitos cuaternarios cuando éstas últimas no están presentes.

Corresponde a una secuencia compuesta por fangolitas y areniscas finas a medias cuarzo micáceas, las cuales contienen improntas de hojas y pequeños mantos de carbón, los cuales fueron intermitentemente explotados en el área de Osorno, en los sectores de Riachuelo y Huilma. Los estratos se caracterizan por una estratificación fina, decimétrica, horizontal planar y contienen abundantes hojas fósiles carbonizadas, enteras o fragmentadas. En la parte más basal de la secuencia, se observan conglomerados finos a medios clasto-soportados, bien litificados, en estratos medianos grano-decrecientes. Los clastos son discoidales, subredondeados, de rocas metamórficas, con escasa matriz de arenisca lito-cuarcífera. Intercalaciones menores de fangolitas tobáceas también pueden estar presentes.

Estratos de Pupunahue-Catamutún (Illies, 1970), OIMpc (Oligoceno – Mioceno Inferior)

En la Cuenca Osorno esta unidad se reconoce principalmente en base a sondajes perforados en el área de la mina San Pedro de Catamutún. En esta localidad se ha reconocido una serie portadora de carbón, la cual consiste de areniscas y conglomerados cuarzolíticos con fragmentos derivados del basamento metamórfico, además de fangolitas micáceas, que en su parte superior presentan un manto de carbón de hasta 3,5 m de espesor, el cual presenta además una intercalación tobácea centimétrica denominada localmente 'tonstein'.

Complejo Volcánico Caleta Parga, OIMcp (Oligoceno-Mioceno)

En la localidad de Caleta Parga, se han reconocido pequeños cuerpos volcánicos a subvolcánicos y rocas piroclásticas (Troncoso *et al.*, 1994). Los afloramientos, en este sector, se extienden a lo largo de la costa, desde Punta Puga hacia el sur, por aproximadamente 1,5 km. Depósitos volcanoclásticos compuestos por tobas de lapilli, se exponen inmediatamente al sur de Punta Puga, los cuales son probablemente contemporáneos a la extrusión de las lavas, intercalados en rocas sedimentarias de los Estratos de Parga. Por otra parte, los afloramientos más al norte, están cubiertos por sedimentos de la Formación Caleta Godoy. En los afloramientos se distinguen rocas volcánicas de color gris, brechas de fragmentos decimétricos en una matriz de limonita y calcedonia, rocas vesiculares alteradas y rocas tobáceas de color blanco grisáceo.

Complejo Volcánico Ensenada Capitanes, OIMec (Oligoceno-Mioceno?)

Cuerpos pequeños, volcánicos a subvolcánicos, y rocas piroclásticas se han reconocido en la localidad de Punta Capitanes (Alfaro *et al.*, 1994). Afloran a lo largo de la costa en una extensión NS por unos 4 km, y han sido observadas por al menos 8 km hacia el este.

Estas rocas se encuentran en contacto, tanto en su límite norte como en el sur, con esquistos micáceos del Complejo Metamórfico Bahía Mansa, por lo que se infiere fueron emplazadas en dicho complejo. A partir de los afloramientos encontrados es posible distinguir: **a.** rocas volcánicas basálticas y andesíticas grises a negras con texturas microcristalinas, levemente porfíricas, brechas volcánicas e intercalaciones tobáceas afloran a lo largo de la costa en una extensión aproximada de 4 km y un ancho de 2 km, desde Punta Capitanes hacia la Ensenada de Capitanes por el sur, limitando los afloramientos hacia el este con el río Pescado; y **b.** rocas volcánicas blancas a café amarillento de texturas porfíricas afloran al este del río Pescado, en la localidad de Esperanza, en una extensión aproximada de 7 km por 5 km. Estas rocas volcánicas presentan estas coloraciones por la fuerte meteorización que las afecta.

Complejo Volcánico Ancud (Galli y Sánchez, 1960), OIMa (Oligoceno Superior-Mioceno Inferior)

Conjunto de lavas, macizas y brechosas, flujos piroclásticos, domos, cuellos volcánicos, diques y escasas rocas clásticas con componentes volcánicos, cuyos afloramientos se exponen en el extremo noroccidental de la Isla Grande de Chiloé, especialmente en las colinas y acantilados costeros de Ancud, en Polocue, Cocotué, Pumillahue, Teguaco, Puñihuil y Duhatao. El complejo incluye diques que cortan al Complejo Metamórfico Bahía Mansa, como también diques y cuellos que intruyen la Formación Caleta Chonos (Duhart *et al.*, 2000), esta última de probable edad oligocena. Su base no está expuesta y sus niveles superiores, en parte, engranan con la Formación Lacui.

En el área de Ancud, Polocue, Teguaco y Cocotué afloran lavas, de composición basáltica y andesítico-basáltica (**a**), localmente cortadas por cuellos volcánicos y diques, de similar composición petrográfica, y por domos riolíticos a dacíticos, además de escasas intercalaciones de areniscas coquinoideas y tobáceas. Localmente, como en Polocue, los cuellos volcánicos presentan estructura columnar (Valenzuela, 1982). En el sector de Puñihuil, afloran lavas basálticas que presentan una intercalación de areniscas finas y areniscas coquinoideas, con fósiles marinos del Mioceno Inferior a Medio (Valenzuela, 1982), que no sobrepasa los 30 m de potencia.

En las cercanías del Fuerte San Antonio de Ancud y en el área de Pumillahue-Duhatao, el complejo incluye depósitos de flujos piroclásticos (**b**), localmente cortados por cuellos y domos.

Formación Caleta Chonos, Olcc (pre-Oligoceno Superior)

Secuencia constituida por areniscas, de grano fino y medio, y conglomerados finos, cuyos afloramientos, muy restringidos, se ubican en el sector suroeste de la península de Lacui, Chiloé (Caleta Chonos y Quetalmahue), en donde alcanza a 120 m de potencia visible. Su base se dispone, directamente,

sobre esquistos del Complejo Metamórfico Bahía Mansa, en tanto que su techo corresponde a la actual superficie de erosión. Está intruida por cuellos volcánicos y diques del Complejo Volcánico Ancud.

Los conglomerados se ubican en la base de la secuencia, donde alcanzan hasta 30 m de potencia. Los conglomerados son de cuarzo, con algunos líticos metamórficos, clasto a matriz-soportados y con clastos subredondeados a redondeados, de hasta 3 centímetros de diámetro. Presentan estratificación media a gruesa, bioturbación y, generalmente, alternan con las areniscas, en contactos gradacionales o netos. Las areniscas de grano fino predominan en la parte media de la secuencia y tienen un espesor aproximado de 60 m de potencia. Estas areniscas son cuarzo-líticas, submaduras, con cuarzo y líticos de origen metamórfico. Presentan laminación fina a media, con láminas onduladas, irregulares, de colores gris y negro, estas últimas carbonosas, muy ricas en restos vegetales carbonizados, que llegan a constituir láminas de carbón, de algunos milímetros de espesor. Las areniscas de grano medio, que constituyen los 30 m superiores de la secuencia, son de cuarzo, macizas, maduras, de color gris a blanco, con abundantes granos de cuarzo lechoso de origen metamórfico e incluyen algunos guijarros de cuarzo que pueden alcanzar hasta 2 cm de diámetro.

ROCAS INTRUSIVAS DEL PALEOZOICO - MIOCENO

Mioceno, Mg

Incluye pequeños 'stocks' y diques de composición andesítica a dacítica que intruyen las unidades mesozoicas, al noreste de Choshuenco y en la ribera sur del lago Panguipulli, y granodioritas, dioritas y tonalitas de biotita y hornblenda, que afloran en forma restringida (< 4 km²) en el extremo suroriental del área Panguipulli-Riñihue, donde están cubiertos, parcialmente, por rocas volcánicas del Grupo Mocho-Choshuenco.

Granodiorita Metalqui, Egm (Eoceno)

Rocas intrusivas, reportadas previamente por Arenas y Duhart (2003), afloran al sur del río Metalqui, al noroeste de Castro, donde conforman un cuerpo plutónico de forma subcircular, con prolongaciones que siguen la foliación de la roca metamórfica encajante y que cubren una superficie aproximada de 10 km². Se trata de rocas granulares, homogéneas y de grano fino a medio.

Dacita Gamboa, Edg (Eoceno Superior)

Afloramientos de rocas hipabisales que constituyen cuerpos de reducida expresión areal, menores que 0,5 km², al oeste de la ciudad de Castro, tanto al norte como al sur del río Gamboa. Ellos corresponden a pequeños 'stocks', filones y filones mantos que intruyen esquistos micáceos del Complejo Metamórfico Bahía Mansa. Microscópicamente, presentan una textura porfírica, hipocristalina e hipidiomorfa granular.

Cretácico, Kg

Incluye intrusivos granodioríticos y dacíticos localizados en el sector costero (Granodiorita Chaihuín, Granodiorita Oncol, Dacita Laurel) y un “stock” de composición dacítica-andesítica en el sector central. Intruyen al Complejo Metamórfico Bahía Mansa y se encuentran fuertemente alterados y meteorizados. Además, se distinguen cuerpos intrusivos de composición diorítica y tonalítica (Microdiorita Puñir, Plutón Choshuenco), que afloran en el sector este de la Hoja Valdivia, así como tonalitas de hornblenda y biotita de grano medio que se exponen solo en el sector de Península del Islote.

Jurásico, Jg

Corresponde a un cuerpo intrusivo elongado en dirección noroeste, que aflora en la ribera del lago Panguipulli (Plutón Panguipulli, Jgp), está formado por granitos, granodioritas y tonalitas, e intruye a granitoides del Paleozoico (Batolito Futrono-Riñihue) y a rocas sedimentarias triásicas (Formación Panguipulli). Incluye, además, a un cuerpo intrusivo formado por tonalitas de hornblenda y biotita (Plutón Huechulafquén), de grano medio a grueso, que aflora en la ribera sureste del lago Riñihue, donde intruye al Batolito Futrono-Riñihue y se encuentra en contacto por falla (Falla Chaiquemahuida) con estratos triásicos de la Formación Panguipulli.

Carbonífero – Pérmico, CPg

Intrusivo formado por granitos, granodioritas y tonalitas de biotita-hornblenda (Batolito Futrono-Riñihue, CPgfr), de grano medio a grueso, que aflora desde la ribera sur del lago Calafquén, por el norte, hasta el lago Ranco, por el sur, y cubre un área total superior a 300 km². Intruye, por el oeste, el Complejo Metamórfico Trafún, mientras al este está intruido por los plutones del Jurásico (Panguipulli y Huechulafquén).

ROCAS SEDIMENTARIAS Y METAMÓRFICAS DEL PALEOZOICO – TRIÁSICO

Secuencias estratificadas triásicas, Trs

Incluye a las formaciones Panguipulli (Aguirre y Levi, 1964; modificado por Rodríguez *et al.*, 1999) y Tralcán (Aguirre y Levi, 1964; modificado por Rodríguez *et al.*, 1999), cuyas características indican ambientes de depositación diferentes. La Formación Tralcán, es una secuencia de conglomerados gruesos de color rojo, con intercalaciones de areniscas y lutitas, expuesta en los cerros Tralcán y Quilahuentru. La Formación Panguipulli corresponde a una secuencia rítmica de areniscas, lutitas y conglomerados cuarcíferos expuesta en las riberas de los lagos Calafquén y Panguipulli.

Complejo Metamórfico Bahía Mansa (Duhart *et al.*, 1998), PzTrbm (Devónico o más antiguo – Triásico)

Rocas metamórficas, expuestas extensamente en la Cordillera de la Costa, consisten de esquistos pelíticos a semipelíticos con menor cantidad de metareniscas, intercalaciones tectónicas de esquistos cloríticos), metacherts en menor proporción y escasos cuerpos de rocas máficas y ultramáficas, con foliación bien desarrollada y con grado de fracturamiento moderado a alto.

Complejo Metamórfico Trafún (Campos et al., 1998), Pzt (Devónico - Carbonífero)

Metaareniscas, pizarras y filitas. Preservan, localmente, estructuras sedimentarias primarias, tales como estratificación gradada, cruzada y ondulitas, además de desarrollo de clivaje. Son frecuentes las vetas de cuarzo concordantes con la estratificación y el clivaje.

RECURSOS DE AGUA SUBTERRÁNEA

El trabajo realizado se concentró en la elaboración de los mapas de recursos de agua subterránea de las Hojas Valdivia, Osorno, Puerto Montt y Castro, a escala 1:250.000, que incluyen la Depresión Central y parte de la Cordillera de la Costa y excluye la Cordillera Principal, está última por encontrarse fuera del área de interés para este estudio. La información común en dichos mapas es la relativa a las unidades hidrogeológicas y su importancia (acuíferos y sistemas de acuíferos), cartografía de síntesis generada y que se adjunta en el presente informe. (Mapa 1 a 4, fuera de texto). Archivos de ploteo de esos mapas se incluyen en el CD anexo a este Informe.

Se diferenciaron, en relación con la existencia de agua subterránea y las condiciones de circulación y almacenamiento, acuíferos o sistemas de acuíferos confinados a libres con porosidad primaria o granulares y acuíferos confinados a libres con porosidad secundaria o figurados. A continuación, se describen estos acuíferos, de acuerdo a su importancia hidrogeológica, en cuanto a su productividad y extensión en la región.

ACUÍFEROS Y SISTEMAS DE ACUÍFEROS DE ALTA IMPORTANCIA EN DEPÓSITOS NO CONSOLIDADOS

Acuífero A1

Acuífero libre en depósitos glaciofluviales de la glaciación Santa María (Plgf2)¹, correspondientes a gravas en matriz de arenas gruesas con lentes de arenas y limos y meteorización débil a moderada, que pueden alcanzar más de 30 m de espesor, en el sector central de la Hoja Valdivia, en los márgenes del cordón de cerros de Madre de Dios y Tripayante. Los niveles estáticos varían entre 12 y 6 m b.n.t., con caudales de pozo cercanos a 4 l/s.

Acuífero //A1

Acuífero confinado, semiconfinado o libre cubierto en depósitos glaciofluviales (Plgf2). En la zona central de la Hoja Osorno, en el entorno de las ciudades de Osorno, San Pablo y Río Bueno, el acuífero está cubierto por depósitos de permeabilidad baja a muy baja de la Secuencia piroclástica-epiclástica San Pablo (Plsp). Hacia el sur, en la Hoja Puerto Montt este acuífero se encuentra cubierto por limos, arcillas y arenas finas laminadas de los depósitos

¹ Los códigos que se señalan en este capítulo y en los mapas de recursos de agua subterránea (fuera de texto) corresponden a las unidades geológicas que se describen en el capítulo de geología.

glaciolacustres (PIgl2) y en partes por los depósitos morrénicos de bloques de la glaciación Santa María.

Constituye un acuífero importante, tanto por su extensión areal, como por su productividad y calidad del agua. Abastece el 95% de los pozos profundos y tiene conexión hidráulica con los ríos principales. Incluye arenas y gravas, con intercalaciones de arcillas y limos, y forma estratos y cuerpos lenticulares con extensiones laterales limitadas de 20 m a 1 km. Debido al frecuente cambio de facies, las propiedades hidrogeológicas varían de pozo a pozo.

En el sector de San Pablo, donde el nivel piezométrico se encuentra por encima de la superficie del terreno, el acuífero confinado se convierte en artésiano y las perforaciones que alcanzan al acuífero se convierten en pozos artesianos. En zonas con mayor fracturamiento de la cubierta impermeable y en áreas en que la cubierta contiene intercalaciones gruesas que aumentan su permeabilidad, el acuífero principal es semiconfinado. En esta situación, el agua mantiene su presión, pero en algunos sectores su nivel sube hacia el interior de la cobertura. Cerca de los escarpes que acompañan los valles de los ríos mayores (Bueno, Pilmaiquén, Chirre, Rahue, Negro, Damas), el nivel piezométrico desciende hacia el nivel del río y deja una zona no saturada entre la superficie del acuífero y la base de la cubierta impermeable, situación conocida como 'libre cubierto'.

Los valores de transmisividad para este acuífero varían entre 50 y 2.000 m²/d, correspondiente a una transmisividad baja a muy alta. Los valores de la permeabilidad fluctúan entre 1×10^{-5} y 1×10^{-3} m/s, lo que indica una permeabilidad media a alta, equivalente a la de un depósito de arena. La distribución espacial de estos valores indica un aumento de la permeabilidad hacia el este, que corresponde con el aumento de la fracción gruesa de los sedimentos glaciofluviales (PIgf2). La transmisividad aumenta, generalmente, hacia el norte, debido al aumento del espesor del acuífero en esta dirección. Los niveles estáticos varían entre los 7 y 43 m b.n.t., se sitúa a una profundidad variable entre los 10 y 77 m y posee un espesor superior a los 10 m.

Los caudales específicos varían entre 0,2 y 2,9 (l/s)/m. La relación esperable entre los caudales específicos, transmisividades y espesores del acuífero en los pozos construidos, debería ser una correlación próxima a 1, ya que el espesor define la transmisividad y esta, a su vez, define el caudal específico. Sin embargo, la correlación obtenida no es óptima, lo que sugiere que no existe una relación o dependencia matemática entre dichas variables. Esto se debe, probablemente, a que la calidad de la construcción de los pozos profundos influye en el caudal específico, aumentando este en aquellos pozos mejor construidos. Los caudales máximos de pozos operativos se encuentran entre 5 y 63 l/s. Varios de estos pozos no alcanzan caudales óptimos, debido a la precipitación de hierro que obstruyen las ranuras del tubo filtro y a la captación solo parcial del acuífero causada por mal diseño del tubo ranurado.

Acuífero A2

Acuífero libre en depósitos glaciofluviales de la glaciación Llanquihue (PIgf1), que se localiza hacia el oeste de los lagos Calafquén, Panguipulli y Riñihue, en las cabeceras de los ríos Leufucade, San Pedro y algunos esteros menores como el estero Quicha.

Está constituido por gravas con matriz de arenas gruesas y lentes de arenas, ocasionalmente con lentes de limos laminados, con espesor entre 30 y 60 m. Los niveles freáticos se encuentran entre 1 y 5 m b.n.t., un espesor de la zona no saturada variable entre 0 y 5 m, los caudales de pozo varían entre 20 y 50 l/s, mientras que un ensayo de bombeo realizado en este acuífero indicó un caudal específico de 21,49 (l/s)/m y una transmisividad del orden de los 2.000 m²/día.

Sistema A2/A1

Corresponde a los depósitos de gravas y arenas de glaciofluviales de la Glaciación Llanquihue (Plgf1) y Santa María (Plgf2), que en su conjunto constituyen un acuífero libre. Se extiende en el área de la Hoja Valdivia, asociado a los valles de los ríos Cruces, Leufucade y al este de Pishuinco, en el río Calle-Calle, Quinchilca y San Pedro. En general, en esta hoja posee un nivel freático variable entre 0 y 5 m b.n.t., por lo tanto, un espesor de la zona no saturada variable entre los 0 y 5 m y un espesor de la zona saturada entre 3 y 15 m, el que aumenta hacia el este.

De igual forma, en la Hoja Osorno se presenta en los márgenes de valles profundos de los ríos principales, como el Pilmaiquén, Negro, Rahue y Blanco y en el sector localizado al noreste de Río Bueno hasta el Lago Ranco, donde los depósitos glaciofluviales (Plgf2) subyacen directamente a depósitos glaciofluviales (Plgf1) y fluviales (PIHf y Hf), los cuales en su conjunto constituyen un acuífero libre con conexión a la red fluvial local. En general, en el sector localizado al noreste de Río Bueno, en la Hoja Osorno, el nivel freático y la profundidad del agua, se encuentra, entre 10 y 20 m y el espesor saturado en agua supera los 20 m.

En las hojas Puerto Montt y Castro se extiende ampliamente en el sector oriental y en forma reducida y discontinua en el lado occidental de cada hoja. Tanto en Puerto Montt como en Chiloé las gravas y arenas, con escasos limos y arcillas glaciofluviales (Plgf2) subyacen a las gravas y arenas glaciofluviales (Plgf1), fluviales (PIHf, Hf), litorales (Hp), bloques, gravas y arenas coluviales (Hc) y/o gravas, arenas y limos aluviales o estuarinos (Ha, He). Localmente, se encuentran intercalaciones de arcilla entre los depósitos glaciofluviales Plgf1 y Plgf2. En ambas hojas los niveles estáticos se sitúan a mayor profundidad alcanzando los 69 m b.n.t.

Este sistema a nivel regional posee transmisividades bajas a muy altas (T: 50 a 3000 m²/d), permeabilidades bajas a altas (K: 10⁻⁵ a 10⁻³ m/s), caudales de explotación variables entre 1 y 80 l/s y específicos entre 0,11 y 18,75 (l/s)/m.

Sistema A2//A1

Formado por un acuífero superior libre constituido por gravas y arena (A2) en depósitos glaciofluviales de la Glaciación Llanquihue (Plgf1) y/o fluviales (PIHf, Hf), litorales (Hp), eólicos (Heo) y arenas y limos estuarinos (He), que se disponen sobre un acuífero confinado (//A1) en depósitos del mismo tipo, correspondientes a la Glaciación Santa María (Plgf2).

El acuífero //A1 es confinado por depósitos de cenizas, lapillis, gravas, arenas y arcillas piroclásticos-epiclásticos (Plsp), limos, arcillas y arenas finas

glaciolacustres (Plgl2), o localmente por limos, arcillas, arenas finas, gravas y bloques morrénicos (Plm2)

En el sector sureste de la Hoja Osorno, al oeste de los Lagos Puyehue y Rupanco, y extendiéndose hacia los valles de la parte central, los depósitos glaciofluviales (Plgf1) y fluviales (PIHf y Hf) constituyen un acuífero libre, que abastece mayoritariamente norias y yace sobre los depósitos de la Secuencia piroclástica-epiclástica San Pablo (Plsp), que a su vez yace sobre el acuífero de alta importancia //A1. La misma situación ocurre al noroeste del lago Ranco, en los alrededores de Paillaco. En tanto, en la hoja Puerto Montt se extienden al oeste del lago Llanquihue hacia los valles de la parte central, teniendo su mayor exposición en el valle del río Maullín.

Este acuífero a nivel regional posee transmisividades bajas a media-alta (T: 50 a 400 m²/d), permeabilidades bajas a altas (K: 10⁻⁵ a 10⁻³ m/s), caudales de explotación variables entre 2 y 15 l/s y específicos inferiores a 1,98 (l/s)/m. El espesor de los depósitos saturados con agua es inferior a los 10 m y el nivel freático se encuentra entre 1 y 5 m bajo la superficie del terreno.

Sistema de acuíferos //A2/A1

El sistema de acuíferos confinado o semiconfinado //A2/A1, integrado de gravas y arenas (Plgf1, PIHf, Hf, Hp), dispuestas sobre gravas y arenas, con escasos limos y arcillas (Plgf2), se encuentra cubierto por gravas y bloques en matriz de arenas y limos de origen volcánico (Pldp).

Este sistema que se extiende en la ribera sur del lago Llanquihue y entre las ciudades de Puerto Montt y Puerto Varas, a una profundidad variable entre los 12 y 73 m, con niveles estáticos entre 6 y 17 m bajo la superficie del terreno, con un espesor superior a los 20 m, posee transmisividades bajas a muy altas (T: 100 a 15000 m²/d), permeabilidades bajas a altas (K: 10⁻⁵ a 10⁻³ m/s), caudales de explotación variables entre 5 y 50 l/s y específicos entre 0,53 y 4,54 (l/s)/m.

Sistema de acuíferos //A3//A1

Se compone de 2 acuíferos confinados: un acuífero superior en depósitos fluvio-estuarinos del último período interglacial (Plfe) y un acuífero inferior en depósitos glaciofluviales de la Glaciación Santa María (Plgf2), separados por estratos de arcillas impermeables de 6 a 30 m de espesor, pertenecientes a los depósitos fluvioestuarinos. Esta secuencia sedimentaria aparece en forma discontinua en las depresiones de San José de la Mariquina y Valdivia, donde la cubren, localmente, sedimentos fluvio-estuarinos impermeables (PIHf) y descansaría sobre el basamento metamórfico indiferenciado (PzTrbm) y/o sobre rocas sedimentarias indiferenciadas (Msd, OIMpc).

El acuífero superior //A3, constituido por arenas y gravas de 5 a 29 m de espesor, posee transmisividades bajas a altas (T: 10 a 800 m²/d), caudal explotable variable entre 1 y 30 l/s, caudales promedios de 6,2 l/s y específico entre 0,1 y 7,5 (l/s)/m, permeabilidad baja a alta (K: 10⁻⁵ a 10⁻³ m/s) y un nivel estático variable entre 2 y 13 m b.n.t. Las isopropfundidades determinadas para este acuífero (Arenas *et al.*, 2005) indican que las profundidades menores del agua subterránea, 7 m bajo la superficie, se encuentran en la localidad de Pelchuquín, y aumentan, tanto hacia el oeste y norte hasta los 27 m, como al este

y sur hasta los 47 m, en el sector de cruce a Máfil. En la ciudad de Valdivia, las profundidades varían de 15 a 19 m en las inmediaciones de la Avenida Picarte y disminuyen hacia el río Valdivia, tanto hacia el oeste como hacia el sur, hasta 5 m bajo la superficie.

El acuífero inferior //A1, compuesto por arenas y gravas de 6 a 33 m de espesor, situadas a profundidades superiores a 40 m, se caracteriza por tener transmisividades bajas a altas (T : 50 a $1.000 \text{ m}^2/\text{d}$), un caudal explotable variable entre 2 y 45 l/s, con caudales promedios de 17 l/s y específico entre 0,04 y 12 (l/s)/m, baja a alta permeabilidad (K : 2×10^{-6} a 6×10^{-4} m/s) y niveles estáticos variables entre 2 y 13 m b.n.t.

Si bien se considera que ambos acuíferos son independientes, no se descarta la posibilidad de una conexión hidráulica entre ellos, debido al acuñamiento de los estratos arcillosos o a paleocanales que erosionaron las arcillas y depositaron sedimentos más permeables. Además, existe conexión hidráulica entre ambos acuíferos a través del espacio anular de los propios sondajes, que impide la medición de los niveles estáticos del acuífero inferior.

Acuífero //A4

Corresponde a un acuífero confinado o semiconfinado en depósitos fluvioestuarinos (Plfe), cubierto por arenas finas, limosas y consolidadas, y arcillas pertenecientes al mismo depósito (Plfe) y, localmente, por arenas limosas y arcillas (PIHf), de 8 a 28 m de espesor, expuesto en los sectores Bayo, Niebla e islas San Francisco y Del Rey. El acuífero, compuesto de arenas finas a gruesas, de 7 a 21 m espesor, tiene transmisividades bajas a medias-altas (T : 10 y $300 \text{ m}^2/\text{d}$), un caudal explotable variable entre 1 y 6 l/s, con un caudal específico entre 0,1 y 3 (l/s)/m, permeabilidades bajas a medias (K : 10^{-5} a 2×10^{-4} m/s) y niveles estáticos a profundidades variables entre 2,4 y 15 m.

Las isopropundidades determinadas para este acuífero (Arenas *et al.*, 2005) indican que la profundidad del agua subterránea en las inmediaciones del estero Estancilla varía entre 20 y 23 m, y aumenta hacia el sur hasta 28 m. Debido a que la profundidad de los sondajes conocidos no supera los 45 m, no es posible reconocer la presencia de otros acuíferos.

Tanto //A4 como //A3 presentan acuíferos colgados en los estratos confinantes superiores (PIHf, Plfe). El agua, frecuentemente, se encuentra en fisuras, a profundidades menores que 10 m, en el estrato tradicionalmente denominado cancagua, correspondiente a arenas limosas arcillosas moderadamente cementadas.

Sistema de acuíferos A5//A3//A1

Está integrado por un acuífero libre, compuesto principalmente por arenas limosas fluviales (PIHf), el cual, a su vez, se encuentra, sobre el acuífero colgado en cancagua, y/o sobre los acuíferos confinados del sistema //A3//A1 en depósitos fluvioestuarinos (Plfe) y glaciofluviales (PIgf2), en la hoja Valdivia, en los valles de los ríos Calle-Calle, Cruces y Pichoy. El acuífero libre posee conexión hidráulica con los ríos de los valles principales y de otros secundarios. El espesor de la zona no saturada varía entre 0 y 5 m y el de la zona saturada entre 2 y 10 m, y aumenta hacia el este.

Si bien se considera que estos acuíferos son independientes, no se descarta la posibilidad de una conexión hidráulica entre ellos, debido al acuñamiento de los estratos arcillosos.

ACUÍFEROS DE MEDIA A BAJA IMPORTANCIA EN DEPÓSITOS NO CONSOLIDADOS

Acuífero //B1

Acuífero libre cubierto, semiconfinado o confinado en bloques, gravas y arenas gruesas a finas, con arcilla o arcilla limosa en algunos niveles e intercalaciones de estratos de arcilla limosa pertenecientes a depósitos morrénicos de la Glaciación Llanquihue (Plm1) que se intercalan y gradan lateralmente con gravas y arenas de los depósitos glaciofluviales de la misma glaciación (Plgf1) y que se distribuye en el sector frontal de los lagos Calafquén, Panguipulli, Riñihue, Ranco, Puyehue, Rupanco y Llanquihue y en la parte occidental de la isla de Chiloé. En sectores, estos depósitos se encuentran cubiertos por arcillas y limos laminados glaciolacustres (Plgl1) y/o limos, arcillas y arenas finas estuarinas (He).

Cuando el acuífero es libre cubierto, los niveles estáticos se encuentran entre 28,9 y 74,3 m, si es confinado se registra un nivel de 6 m, y en la situación de semiconfinado los niveles varían entre 10,7 y 71,8 m bajo la superficie del terreno. Regionalmente, posee transmisividades bajas a alta ($T: 50$ a $1.000 \text{ m}^2/\text{d}$), caudales de explotación variables entre 1 y 50 l/s y específicos entre 0,85 y 3,14 (l/s)/m. El espesor del acuífero varía entre 4 y 115 m y se sitúa entre los 28,9 y 74,3 m (libre cubierto) y entre los 1 y 96 m (semiconfinado y confinado) de profundidad.

Los estratos semiconfinantes se componen principalmente de bloque, gravas, arena fina y arcilla-limo. En la isla de Chiloé la granulometría más gruesa corresponde a las gravas que se encuentra en un porcentaje inferior al 10%.

Acuífero //B2

Corresponde a un acuífero confinado en depósitos fluvio-estuarinos del último interglacial (Plfe), constituido por arenas, gravas de cuarzo y esquistos, arcillas y, localmente, limos, de 4 a 10 m de espesor. Está situado entre 40 y 80 m de profundidad, próximo al basamento rocoso, y podría corresponder a los niveles basales de los depósitos fluvioestuarinos (Plfe), a escombros de talud o a conos aluviales derivados de rocas metamórficas indiferenciadas (PzTrbm) o sedimentarias indiferenciadas (Msd). Se encuentra en los bordes de las depresiones de Valdivia y San José de la Mariquina, específicamente en los sectores de Santa Rosa, isla Teja, Las Gaviotas-Angachilla Nuevo y Las Mulatas-Guacamayo. En los dos últimos lugares mencionados, este acuífero registra caudales de explotación entre 0,5 y 25 l/s, con caudales específicos entre 0,02 y 0,12 (l/s)/m, transmisividades muy bajas ($T < 10 \text{ m}^2/\text{d}$) y permeabilidades bajas a medias ($K: 4,7 \times 10^{-6}$ a $2,4 \times 10^{-5} \text{ m/s}$). En el sector Las Mulatas-Guacamayo, este acuífero se sitúa a profundidades entre 55 y 70 m, posee un espesor de 9 a 18 m, caudales de 3,6 a 20 l/s, caudal específico de 0,3 a 5 (l/s)/m, transmisividades bajas a altas ($T: 30$ a $550 \text{ m}^2/\text{d}$), permeabilidades medias a altas ($K: 2,4 \times 10^{-5}$ a $2,3 \times 10^{-4} \text{ m/s}$) y niveles estáticos variables entre 7,9 y 15 m b.n.t.

Acuífero //B5

Acuífero confinado en bloques y gravas, en matriz de limo, arcilla y/o arena gruesa a fina, compacta y cementada, con óxidos de Fe y Mn, pertenecientes a depósitos morrénicos de la glaciación Santa María (Plm2) que se intercalan y gradan lateralmente con gravas y arenas de depósitos glaciofluviales de la glaciación Santa María (Plgf2), presentes en forma discontinua al oeste de los lagos Calafquén, Panguipulli, Riñihue, Rancho, Puyehue, Rupanco y Llanquihue y en la parte norte y centro de la isla de Chiloé.

Este acuífero que se encuentra cubierto principalmente por arcillas y gravas pertenecientes a los depósitos morrénicos Plm2, posee niveles estáticos entre los 9,9 y 29,0 m bajo la superficie del terreno, transmisividades bajas a alta (T: 100 a 750 m²/d), permeabilidad baja (8×10^{-5} m/s), caudales de explotación variables entre 0,01 y 7 l/s y específicos entre 0,08 y 1,5 (l/s)/m. El espesor del acuífero varía entre 5 y 41 m y se sitúa entre los de 24 y 57 m de profundidad.

Acuífero //B6

Acuífero semiconfinado en bloques y gravas, en matriz de arena y/o arcilla, con intercalaciones de arenas y óxidos de Fe y Mn correspondientes a los depósitos glaciofluviales (Plgf3). Se sitúa a los 57 m de profundidad, encontrándose cubierto principalmente por gravas y arcillas pertenecientes a los depósitos glaciofluviales y, en sectores, cubiertas irregularmente por depósitos morrénicos de poco espesor (Plm3). Posee niveles estáticos entre los 3 y 33 m bajo la superficie del terreno, caudales de explotación variables entre 0,5 y 3,6 l/s y específicos 0,06 (l/s)/m y un espesor de 10 m.

ACUÍFEROS DE MEDIA IMPORTANCIA EN ROCA FISURADA

Acuífero B3

Corresponde al acuífero en roca fisurada del Complejo Metamórfico Bahía Mansa (PzTrbm), que se extiende ampliamente en la región, formando la Cordillera de la Costa. Presenta las siguientes situaciones:

- **B3.** Acuífero libre en esquistos pelíticos a semipelíticos con intercalaciones de esquistos máficos y anfibolíticos (PzTrbm), con foliación penetrativa y fracturas abiertas. Incluye pequeñas intrusiones, de similar grado de fracturación, pertenecientes a la Granodiorita Oncol (Kgo) y la Dacita Laurel (Kdl), localizadas en los sectores homónimos, y la dacita-andesita Tren-Tren, en el sector de Pillecozcoz.
- **B3a.** Acuífero libre en esquistos pelíticos a semipelíticos, localmente cubiertos por sedimentos permeables de gravas y arenas de playa (Hp), fluviales (Hf, PIHf), glaciofluviales (Plgf2, Plgf1), bloques, gravas y arenas coluviales (Hc), arenas eólicas (Heo) o arenas finas y limos estuarinas (He), con espesores promedio de 5 m, en el margen costero y en ríos secundarios.

- **//B3.** Acuífero confinado o libre cubierto en esquistos pelíticos a semipelíticos, cubierto por estratos impermeables a semipermeables de areniscas y arcillolitas sedimentarias (Msd), bloques y gravas en matriz de limo y arcilla (Pldi), bloques y gravas en matriz arena, limo y/o arcilla morrénicos (Plm1, 2, 3 y 4), arenas arcillosas consolidadas fluvioestuarinos (Plfe) o arenas arcillosas fluviales (PIHf).

Se registran caudales variables entre 0,1 y 3,5 l/s en vertientes. Si este acuífero se encuentra libre, la superficie del agua se situaría entre 0 y 10 m de profundidad. Si se encuentra libre cubierto o confinado el agua se localiza entre los 5 y 25 m de profundidad. La recarga se da por la infiltración de las precipitaciones, a través de las fracturas y por el aporte de los esteros en zonas de estructuras, que favorecen la infiltración. El volumen de agua almacenada en el acuífero disminuye en profundidad, debido al cierre de las fracturas por el aumento de la presión confinante.

Se incluyen en esta unidad, conglomerados, areniscas y lutitas de la Formación Tralcán (Trt) y metareniscas, pizarras y filitas del Complejo metamórfico Trafún (Pzt), localizadas en el sector este de la hoja Valdivia, en el frente oeste de los Lagos Calafquén, Panguipulli y Riñihue, que se infiere constituyen un acuífero en roca fisurada de similares características existentes en el Complejo Bahía Mansa.

Acuífero B4

Este acuífero en roca fisurada de la Granodiorita Chaihuín (Kgc), localizado en el sector del mismo nombre, presenta las siguientes situaciones:

- Acuífero libre en granodiorita (Kgc), que se extiende por 22 km en la costa sur de Valdivia, sectores Punta Palo Muerto-Caleta Chaihuín-Caleta Guaidei. Granodiorita de grano fino a grueso (Egm) y dacita (Edg) de reducida extensión en la isla de Chiloé y tonalita de grano medio a grueso (Mg) al este de la ciudad de Puerto Montt. Las aguas subterráneas circularían a profundidades superiores a 20 m.
- Acuífero confinado o libre cubierto en granodiorita (Kgc). Se distribuye, localmente, en el margen costero entre los 25 y 50 m s.n.m., y en las riberas del río Chaihuín, está cubierto por estratos de areniscas y arcillolitas cuarzo micáceas impermeables la unidad sedimentaria Msd y/o arenas limosas arcillosas consolidadas, semipermeables y arcillas de depósitos fluvioestuarinos (Plfe), de 5 m de espesor promedio. Se reconocen vertientes en escombros de talud y en zonas de contacto con arcillolitas y areniscas (Msd) y con esquistos (PzTrbm), con caudales variables de 0,1 a 2 l/s y 0,5 a 5 l/s, respectivamente.

ACUÍFEROS DE BAJA IMPORTANCIA EN ROCA FISURADA

Acuífero C1

Acuífero en roca fisurada de origen sedimentario, volcanosedimentario y volcánico: areniscas y arcillolitas cuarzo líticas, micáceas (OIMp, OIMsp, OIMlr, Msd), areniscas, fangolitas y tufitas (MI), conglomerados, areniscas, fangolitas, tobas y limolitas (Mc), conglomerados y areniscas (OIMc), basaltos, andesitas basálticas y tobas (OIMa), areniscas fosilíferas (OIMch), areniscas y conglomerados (Olcc), que se extiende ampliamente en la región, formando parte de la Cordillera de la Costa. Este acuífero presenta los siguientes tipos:

- **C1.** Acuífero libre en areniscas, arcillolitas, conglomerados, tobas, limolitas, basaltos y/o andesitas basálticas fisuradas (OIMp, OIMsp, OIMlr, Msd, MI, Mc, OIMc, OIMa, OIMch, Olcc). En el sector central-oeste de la hoja Osorno, las areniscas, conglomerados y limolitas, se encuentra libre y con conexión a la red fluvial. El agua percola a través de fracturas y emerge en vertientes y norias, para abastecimiento domiciliario. Posee un espesor superior a los 5 m, niveles estáticos entre 1,7 y 24,70 m bajo la superficie del terreno, caudales de vertiente y pozo profundo >5 l/s y 6 l/s, respectivamente, caudal específico de 0,08 (l/s)/m y se sitúa a una profundidad variable entre los 1,7 y 24,7 m.
- **C1a.** Acuífero libre en areniscas, arcillolitas, conglomerados, tobas, limolitas, basaltos y/o andesitas basálticas fisuradas (Msd, Mc, MI, OIMc, OIMa), localmente cubiertos por depósitos permeables de gravas y arenas glaciofluviales (Plgf2, Plgf1) y litorales (Hp), arenas eólicas (Heo) o arenas limosas fluviales y estuarianas (PIHf, He), de baja importancia como acuífero y como cubierta protectora del acuífero en roca fisurada. Destacan los acuíferos de los valles de los río Hueyusca y Llico debido a que los depósitos de gravas y arenas fluviales (PIHp), que lo cubren poseen un espesor variable entre 1 y 10 m.
- **//C1.** Acuífero confinado, semiconfinado o libre cubierto en areniscas, arcillositas, conglomerados, tobas, limolitas, basaltos y/o andesitas basálticas fisuradas (Msd, Mc, MI, OIMc, OIMa), localmente cubiertas por estratos impermeables a semipermeables de bloques y gravas en matriz arena, limo y/o arcilla morrénicos (Plm2, 3 y 4), cenizas, lapillis, gravas, arenas y arcillas pirocásticos-epiclásticos (Plsp), arenas arcillosas fluviales (PIHf) o arenas arcillosas consolidadas fluvioestuarinas (Plfe). Se ubican principalmente en las nacientes del río Cayumapu y en valles del flanco este de la Cordillera de la Costa. Posee un espesor superior a los 5 m, niveles estáticos entre 7 y 15,4 m bajo la superficie del terreno, caudales de vertientes inferiores a 5 l/s y se sitúa a una profundidad variable entre los 8 y 50 m.

Aunque las areniscas poseen cemento arcilloso que impide el paso del agua a través de los poros, ellas se encuentran fracturadas, aumentando su permeabilidad secundaria. Los niveles arcillosos carecen de permeabilidad

secundaria por fisuras, por lo que son totalmente impermeables. Existen escasas norias, vertientes y pozos profundos. Las vertientes situadas en zonas muy fracturadas o en el contacto litológico entre niveles arcillosos y arenosos, poseen caudales de 1 l/s.

En sectores, donde las areniscas, conglomerados y limolitas, fisuradas, están cubiertas por depósitos morrénicos (Plm2, 3 y 4) y piroclásticos-epiclásticos (Plsp), aunque no se ha comprobado, se infiere en ellas la presencia de un acuífero confinado. Localmente, es libre cubierto en altos topográficos, bajo depósitos morrénicos, y semiconfinado en valles, bajo depósitos piroclásticos-epiclásticos.

Acuífero C2

Acuífero libre en rocas fisuradas de las secuencias sedimentarias y volcánicas de los Estratos de Pitreño (Mplip) y Formación Caleta Godoy (Plicg). Se localiza en el sector sur de la ciudad Lago Ranco y en la Cordillera de la Costa, específicamente en el área cordillera de Zarao-Río Llico y en la parte norte de la isla de Chiloé. Se infiere que rocas de la misma unidad geológica que se distribuyen en afloramientos aislados al norte del lago Ranco presentarían las mismas propiedades hidrogeológicas. Este acuífero presenta los siguientes tipos:

- **C2.** Acuífero libre en conglomerados, brechas y lavas andesíticas, fuertemente alteradas (MPlip) y conglomerados, tobas y areniscas (Plicg). El agua percola a través de fracturas y emerge en vertientes y norias para abastecimiento domiciliario. Posee un espesor superior a los 5 m, niveles estáticos entre 1 y 5 m bajo la superficie del terreno y se sitúa a una profundidad variable entre 1 y 5 m.
- **C2a.** Acuífero libre en conglomerados, brechas y lavas andesíticas, fuertemente alteradas (MPlip) y conglomerados, tobas y areniscas (Plicg), cubiertos localmente por depósitos permeables de gravas y arenas fluviales y litorales (PIHp, Hp).
- **//C2.** Acuífero confinado en conglomerados, brechas y lavas andesíticas, fuertemente alteradas (MPlip) y conglomerados, tobas y areniscas (Plicg), localmente cubiertos por depósitos morrénicos de bloques y gravas en matriz limo, arcilla y arena fina (Plm2). Se infiere un espesor para este acuífero superior a los 5 m.

ACUÍCLUDOS DE NULA IMPORTANCIA EN DEPÓSITOS NO CONSOLIDADOS

Acuícludo D

En la región, se distinguen como acuícludos, es decir, depósitos que no constituyen acuífero, los depósitos morrénicos de gravas y bloques con matriz de arcilla y limo de la glaciación Tegalda (Plm4), depósitos morrénicos de gravas en matriz de arcilla, limo y arenas finas de la glaciación Río Llico (Plm3), depósitos fluviales y glaciofluviales antiguos de gravas con matriz de arcillas, muy meteorizadas (Plfg), depósitos glaciolacustres de arcillas y limos laminados (Plgl1)

y la secuencia piroclástica-epiclástica San Pablo (Plsp), que por su alto contenido de arcilla y/o meteorización intensa presentan baja a muy baja permeabilidad.

Desde el punto de vista hidrogeológico no son aptos para la construcción de captaciones de aguas subterráneas, ya que no permiten la circulación del agua a través de ellos. Localmente, los depósitos morrénicos están cubiertos por depósitos fluviales de poco espesor y limitada extensión, que tampoco constituyen acuíferos de importancia.

CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA

Mediante el análisis de la información disponible se ha podido elaborar una descripción general del estado de las aguas subterráneas en los sistemas de acuíferos y acuíferos de la región. Sin embargo, y debido a las limitaciones y carencias que a continuación se mencionan, esa descripción no es acabada y el grado de conocimiento alcanzado no resulta homogéneo para el ámbito territorial considerado. El problema radica fundamentalmente en que los datos manejados no corresponden a una red de observación básica diseñada para determinar las características químicas y su evolución temporal en los acuíferos de la Región. La información corresponde a muestras de agua extraídas de captaciones de agua subterránea utilizadas principalmente para el abastecimiento de la población y/o industrial.

El estudio hidroquímico de las aguas subterráneas de los acuíferos de la región se realizó en base a los resultados de los análisis hidroquímicos de 415 muestras de agua subterránea, de las cuales 163 fueron tomadas en área de Valdivia, 111 en Osorno y 141 muestras en Chiloé, todas recolectadas y analizadas durante la realización de este estudio (Anexo I). A ellos, se agregan un total de 360 análisis químicos *in situ*, 77 de Valdivia, 153 del área de Osorno y 130 en el área de Puerto Montt, previamente publicados por SERNAGEOMIN (SERNAGEOMIN, 1998; Antinao *et al.*, 2000; Pérez *et al.*, 2003; Arenas *et al.*, 2004), dando un total de 775 análisis, todos considerados para la caracterización hidroquímica. Además, en el marco de este estudio, se hicieron total de 448 mediciones de parámetros fisicoquímicos realizadas en terreno, 160 en Valdivia, 147 en Osorno y 141 en Chiloé (Anexo II), que se agregan a los 77, 153 y 130, previamente publicadas por SERNAGEOMIN para las áreas de Valdivia, Osorno y Puerto Montt, respectivamente. Todos los análisis indicados están incorporados Anexos I y II y en el banco de datos SIGAM que se anexa en CD.

Sobre la base de los resultados de los análisis químicos y fisicoquímicos de las muestras de aguas tomadas de pozos profundos, norias, punteras, drenes y vertientes, así como de los análisis *in situ* tales como NH_4^+ , PO_4^{-3} , pH, Eh, O_2 , conductividad y temperatura (Anexos I y II), se pudo determinar las facies químicas, parámetros fisicoquímicos, mineralización y calidad de dichas aguas.

Como ya se mencionó, en el marco de este estudio, en el Anexo I se presenta concentraciones de los distintos parámetros analizados en el laboratorio del SERNAGEOMIN. La representación gráfica de los contenidos iónicos en los diagramas de Piper nos permite identificar las composiciones y

facies químicas para los diferentes acuíferos de la Región. Estas representaciones se pueden realizar, ya sea por tipos de captaciones (Fig. 7 y 8) como por tipo de acuífero (Fig. 9). Las facies químicas predominantes en las aguas subterráneas de la región son las bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas (A1, //A1, A2, A2/A1, A2//A1, //A3, //A4, A5 y //B2), bicarbonatadas sódicas (A2/A1, //A1, //A2, A5), cloruradas magnésicas (A5), cloruradas sódicas (B3, B4 y C1), que se asocian a los acuíferos en depósitos no consolidados y acuíferos en roca fisurada.

La mineralización de las aguas subterráneas que han circulado en los acuíferos //A4, A5, B3, B4 y C1 corresponden a un tipo de agua dulce, las de los acuíferos //A3//A1 y //B2 corresponden a un tipo dulce, moderadamente mineralizadas y las de los sistemas A2/A1 y A2//A1 a un tipo de agua dulces a dulce, moderadamente mineralizadas. La dureza indica que en la mayoría de los acuíferos el agua es blanda y subordinadamente blanda a levemente dura para las aguas de los acuíferos del sistema //A3//A1. La excepción se encuentra en el acuífero //B2, sector Miraflores-Las Mulatas-Guacamayo, donde parte de las aguas de este acuífero son dulces, moderadamente salobres y muy duras.

En general, se aprecian diferencias en los acuíferos en cuanto al pH, ya que las aguas de los acuíferos en roca fisurada (B3, B4, C1) poseen pH ácidos a levemente ácidos, en tanto las aguas de los acuíferos en depósitos no consolidados tienen pH que fluctúa de ácido a alcalino. Los elevados contenidos de Cl^- y Na^+ hacia las zonas inmediatas al río Angachilla, sector Miraflores-Las Mulatas-Guacamayo, se vinculan a la intrusión salina asociada a la influencia de mareas que afectan a los cursos fluviales principales, la cual se ve aun más afectada por la supuesta conexión hidráulica a través de fallas de borde de la cuenca del río Angachilla. Dichos contenidos han sido reconocidos en diferentes pozos construidos en las décadas de los años 50 y 60 en la ciudad de Valdivia (Karzulovic, 1960; Illies, 1970).

La calidad de las aguas subterráneas, de acuerdo con los valores obtenidos (Anexo I) y la normativa chilena vigente (NCh409) es, en términos generales, apta para agua potable, excepto por el hierro, manganeso y amonio cuyos elevados contenidos más que ser nocivos afectan el sabor, olor y/o color.

El amonio presente en el agua no tiene una importancia inmediata para la salud, no obstante, puede poner en peligro la eficacia de la desinfección, dar lugar a la formación de nitritos en los sistemas de distribución y averiar los filtros para la eliminación de manganeso. Se debe considerar que cuando se utiliza cloro en cantidades excesivas, se forman compuestos orgánicos clorados y carbono orgánico biodegradable (OMS, 1995).

Además, se debe tener en cuenta que parte de los elevados contenidos de Fe^{+2} precipiten Fe_2O_3 en las cribas del pozo, lo cual disminuye el caudal y/o dañan las instalaciones de captación y conducción del agua. Mientras que el Mn^{+2} , al igual que el Fe^{+2} en presencia del oxígeno, forma precipitados de MnO de color negro. En Apéndice II se presenta los resultados relevantes, especialmente sobre concentraciones de Fe, Mn y nitratos, para las áreas de Valdivia y Osorno.

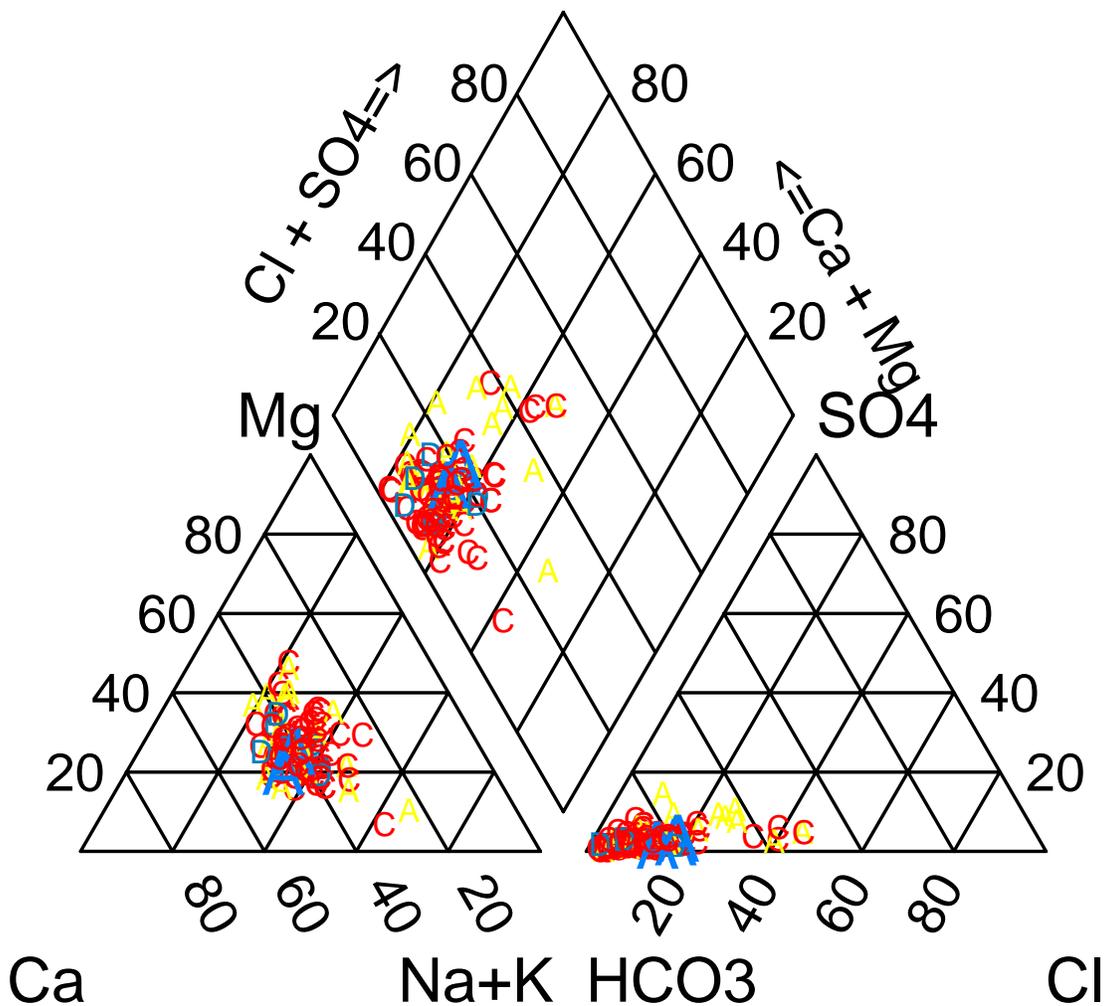


Figura 7. Diagrama de Piper con composición y clasificación de las aguas subterráneas de la Hoja Osorno en el área de Osorno, según tipo de captación. Rojo: pozos profundos; amarillo: norias; azul: vertientes.

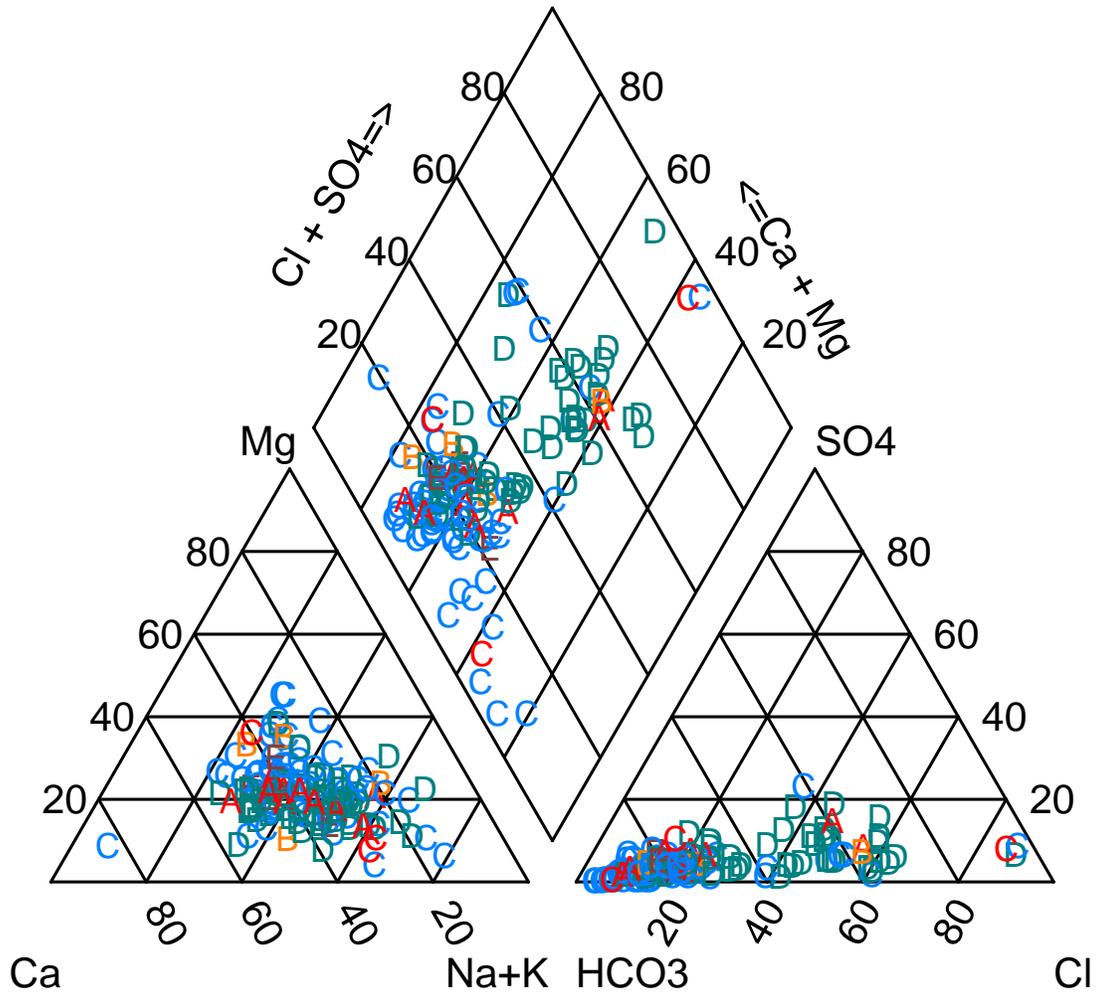


Figura 8. Diagrama de Piper con composición y clasificación de las aguas subterráneas de las Hojas Puerto Montt y Castro, según tipo de captación. Azul y rojo: pozos profundos y vertientes; verde: norias; marrón: drenes; naranja: punteras.

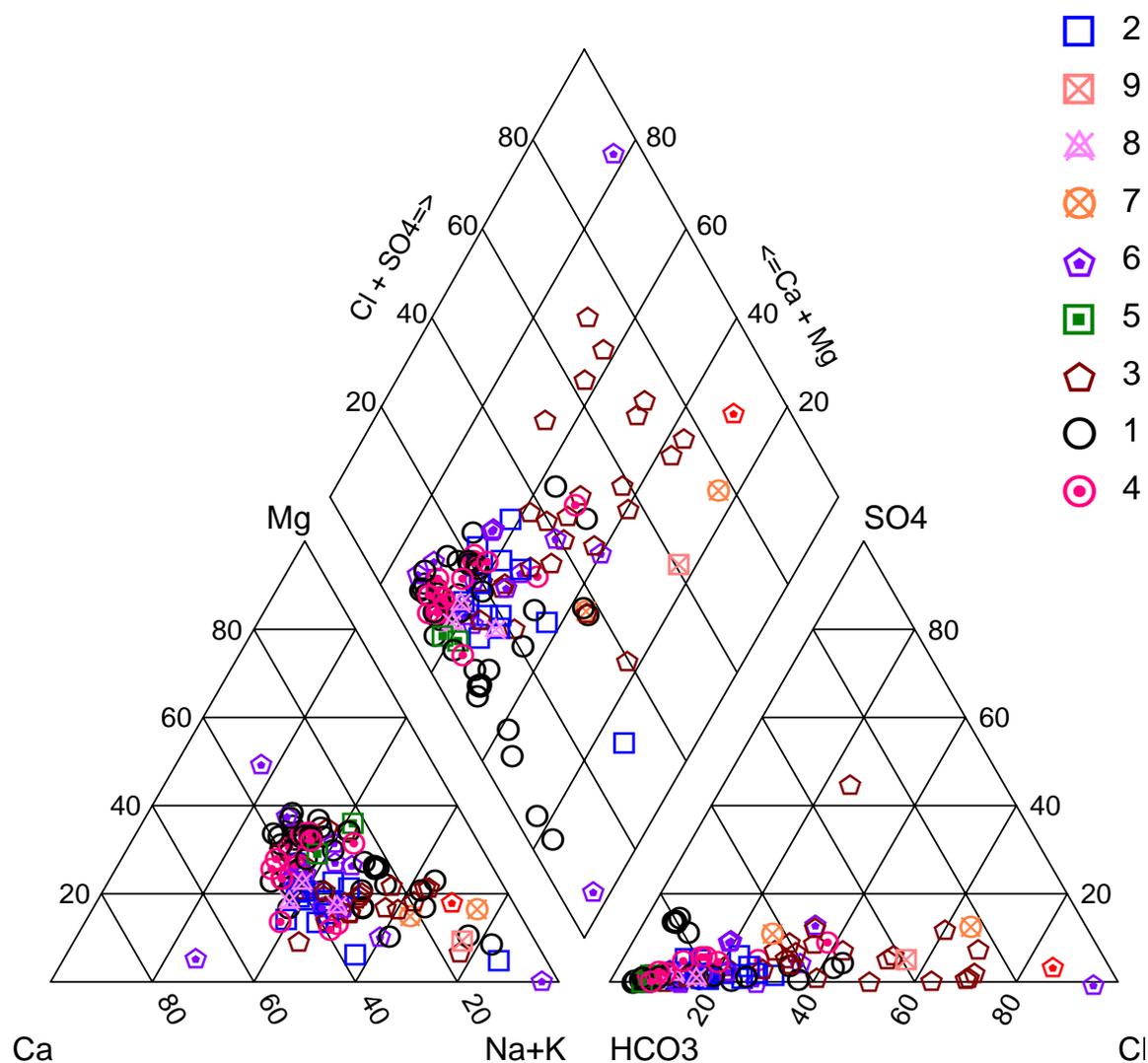


Figura 9. Diagrama de Piper con composición y clasificación de las aguas subterráneas del área de Valdivia, según tipo de acuífero. 1: sistema //A3//A1; 2: acuífero //A4; 3: acuífero colgado en canchagua; 4: sistema A2/A1, sector San José de la Mariquina; 5: acuífero A1; 6: sistema A5//A3//A1; 7: acuífero C1; 8: sistema A2/A1, sector Los Lagos; 9: acuífero B3.

Los elevados contenidos de NH_4^+ y PO_4^{-3} estarían relacionados a las condiciones anaeróbicas de los acuíferos confinados //A3//A1 y //B2. Este ambiente se genera por la abundante presencia de restos de materia orgánica vegetal, como turba, en los depósitos fluvio-estuarinos Plfeb y glaciofluviales Plgf2. El ambiente reductor resultante se confirma por los valores bajos de pH y altos contenidos de Fe^{+2} y Mn^{+2} .

Por lo tanto, los antecedentes químicos sugieren que la mejor calidad de las aguas subterráneas en la región se encuentra en el acuífero //A1, A2/A1 y //A4, como consecuencia probablemente, de las capas confinantes que protegen a los acuíferos //A1 y //A4, una mayor circulación del agua subterránea, debido a la recarga lateral aportada por los acuíferos en roca fisurada desde el norte y oeste en ciertos sectores de Valdivia y/o a que estos acuíferos se encuentran en depósitos que poseen poca meteorización. Le seguirían los acuíferos en roca fisurada B3 y B4, y el acuífero confinado superior de la secuencia //A3//A2, aunque existen muestras de agua con elevados contenidos de Fe^{2+} , Mn^{2+} y NH_4^+ , en pozos situados en vegas o en depresiones con acumulación de restos vegetales en descomposición o turba.

VULNERABILIDAD DE ACUÍFEROS

CONCEPTO, VALORACIÓN Y MAPAS DE VULNERABILIDAD

Según Vrba y Zaporozec (1994), la vulnerabilidad se define como una propiedad intrínseca del sistema de agua subterránea, que depende de la sensibilidad de éste frente a los impactos humanos y naturales. Debido a lo anterior, se utiliza el término vulnerabilidad intrínseca como aquella que sólo depende de los factores hidrogeológicos que caracterizan al acuífero en sí, a los materiales geológicos que lo sobreyacen y al suelo. Cuando se consideran además los impactos producidos por usos del territorio o por contaminantes, se habla de vulnerabilidad específica.

Un sistema es vulnerable ante cierta acción cuando dicha acción puede causar en él un perjuicio (daño, deterioro o degradación). La vulnerabilidad sería una medida cualitativa o cuantitativa, expresada mediante un índice adimensional, de la mayor o menor facilidad con que se puede infligir ese perjuicio. Este valor permite establecer la capacidad natural de un acuífero a absorber una alteración, ya sea natural o antrópica.

Se dice que un acuífero es poco vulnerable a la contaminación cuando puede mantener una calidad física, química, radioactiva y biológica respecto a parámetros considerados relevantes tal que difiera poco de los valores naturales. La vulnerabilidad a la polución expresa la incapacidad del sistema para absorber las alteraciones, tanto naturales como artificiales.

Asociado al concepto de vulnerabilidad se encuentra el concepto de riesgo de contaminación (Foster, 1987), determinado por la interacción de la vulnerabilidad intrínseca del acuífero y la carga contaminante que es, será o pudiese ser aplicada al subsuelo debido a actividades antrópicas.

La valoración de la vulnerabilidad, en cuanto a su exactitud y confiabilidad, depende directamente de la cantidad y la calidad de los datos disponibles. Los mapas de vulnerabilidad, tanto intrínseca como específica, se basan en la valoración de varios factores naturales o atributos, a los cuales se les asigna un peso específico o puntaje, de acuerdo a la importancia que tienen respecto de la vulnerabilidad.

Existen varios métodos para estimar la vulnerabilidad, los que incluyen diversas variables a las que se les adjudican diferentes ponderaciones en la evaluación final (Vrba y Zaporozec, 1994). Las variables escogidas dependen, fundamentalmente, de la cantidad de información existente. No obstante, las variables de mayor importancia para la evaluación de la vulnerabilidad intrínseca son la litología de la zona no saturada y la profundidad del nivel estático.

La litología de la zona no saturada está directamente asociada con la permeabilidad de los materiales que la integran, y por tanto, con la facilidad con que podrían migrar los contaminantes a través de ella, hasta alcanzar el nivel freático. A su vez, la profundidad del nivel freático determina el espesor de la zona no saturada. Algunos métodos también consideran otras variables, entre las que se encuentran las propiedades del suelo (permeabilidad, textura, estructura, cantidad de materia orgánica, población bacteriana y minerales de arcilla, importantes en la capacidad de atenuación de contaminantes), recarga hacia los acuíferos (natural y efectos antrópicos), características de la zona saturada (zona de recarga o descarga, zonas de oxidación o reducción), tipo de acuíferos (libre, semiconfinado, confinado y libre cubierto) y la topografía (zonas planas o con pendiente). Esta información se obtiene, principalmente, a partir de descripciones estratigráficas de sondajes, mapas geológicos, estudios hidrogeológicos y/o geofísicos.

La mayor parte de los procesos de retardación y eliminación que afectan a los contaminantes en su viaje hacia un acuífero (Fig. 10) se llevan a cabo en el suelo, y en menor grado, en la zona no saturada. Los procesos de dilución de contaminantes móviles y persistentes son más importantes en la zona saturada debido a la dispersión hidrodinámica del flujo de agua subterránea (Foster e Hirata, 1988).

Los mapas de vulnerabilidad corresponden a mapas que muestran la capacidad del medio subsuperficial para proteger el agua subterránea, en particular, la calidad del agua. Estos mapas dependen de las variaciones de los niveles estáticos en el tiempo y de la cantidad de información existente, por lo que requieren de una actualización constante. Además, deben permitir la comparación de las sensibilidades de acuíferos en diferentes localizaciones, así como usar todos los datos disponibles para realizar una mejor interpretación.

Por lo general, los mapas de vulnerabilidad presentan una leyenda con diversas clases. Las más comunes, y consideradas en el método ocupado en el presente estudio son extremadamente alta, alta, moderada, baja, muy baja y nula.

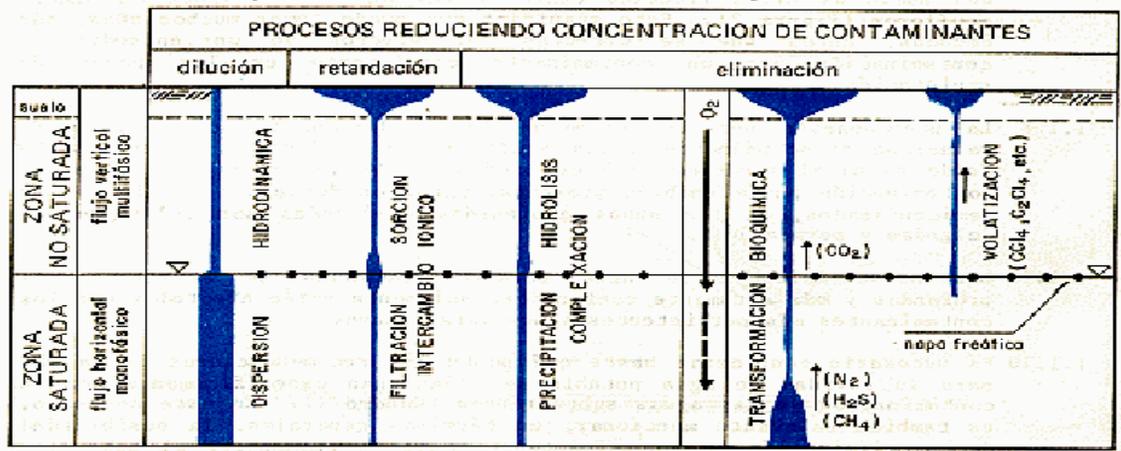


Figura 10. Procesos que afectan a los contaminantes en su viaje a través del suelo y la zona no saturada. El grosor de la línea vertical indica la importancia relativa del proceso correspondiente en el suelo, sobre y debajo del nivel estático (Foster e Hirata, 1988).

MÉTODO GOD PARA CALCULAR VULNERABILIDAD

Fue desarrollado por Foster e Hirata (Foster, 1987; Foster e Hirata, 1988), para zonas con poca información. Este método calcula la vulnerabilidad intrínseca del acuífero, utilizando sólo tres parámetros:

- G:** groundwater hydraulic confinement (tipo de acuífero)
- O:** overlying lithology (litología de la zona no saturada)
- D:** deep to groundwater table (profundidad al agua subterránea)

El parámetro correspondiente al tipo de acuífero se determina considerando desde la no existencia de acuífero hasta la ocurrencia de un acuífero libre, pasando por las categorías intermedias de confinado, semiconfinado y libre cubierto, y se le asigna un puntaje que varía entre 0 y 1.

La litología de la zona no saturada considera grado de consolidación del material (incluyendo presencia o ausencia de fisuras) y tipo de litología (considerando características de permeabilidad, porosidad y retención de humedad). Se le asigna un puntaje que varía entre 0,4 y 1, variando desde más impermeables a más permeables, respectivamente.

El índice correspondiente a la profundidad del agua subterránea varía entre 0,4 a 1, donde los valores mayores corresponden a niveles más cercanos a la superficie. En el caso de tratarse de acuíferos confinados, esta profundidad corresponde al techo del acuífero. En la Figura 11 se presentan resumidos los parámetros que conforman este método.

El valor de vulnerabilidad corresponde a la multiplicación de estos tres parámetros, el cual varía entre 0 y 1, pasando desde nula a extrema y considerando las categorías intermedias alta, moderada y baja. Para que dichas categorías no sean valores relativos se definen la siguiente manera:

Extremadamente alta: vulnerable a la mayoría de los contaminantes del agua, con impacto rápido en muchos escenarios de polución.

Alta: vulnerable a muchos contaminantes del agua, excepción de aquellos fuertemente absorbidos o rápidamente transformados, en muchos escenarios de polución.

Moderada: vulnerable a algunos contaminantes, pero sólo cuando hay descargas continuas o lixiviados.

Baja: solo vulnerable a contaminantes conservativos cuando son continua y ampliamente descargados o lixiviados en forma amplia y continua durante largos períodos de tiempo.

Muy Baja: presencia de niveles confinantes y flujos verticales (infiltración) no significativos.

Nula: capas confinantes presentes, sin flujo vertical de agua subterránea de importancia.

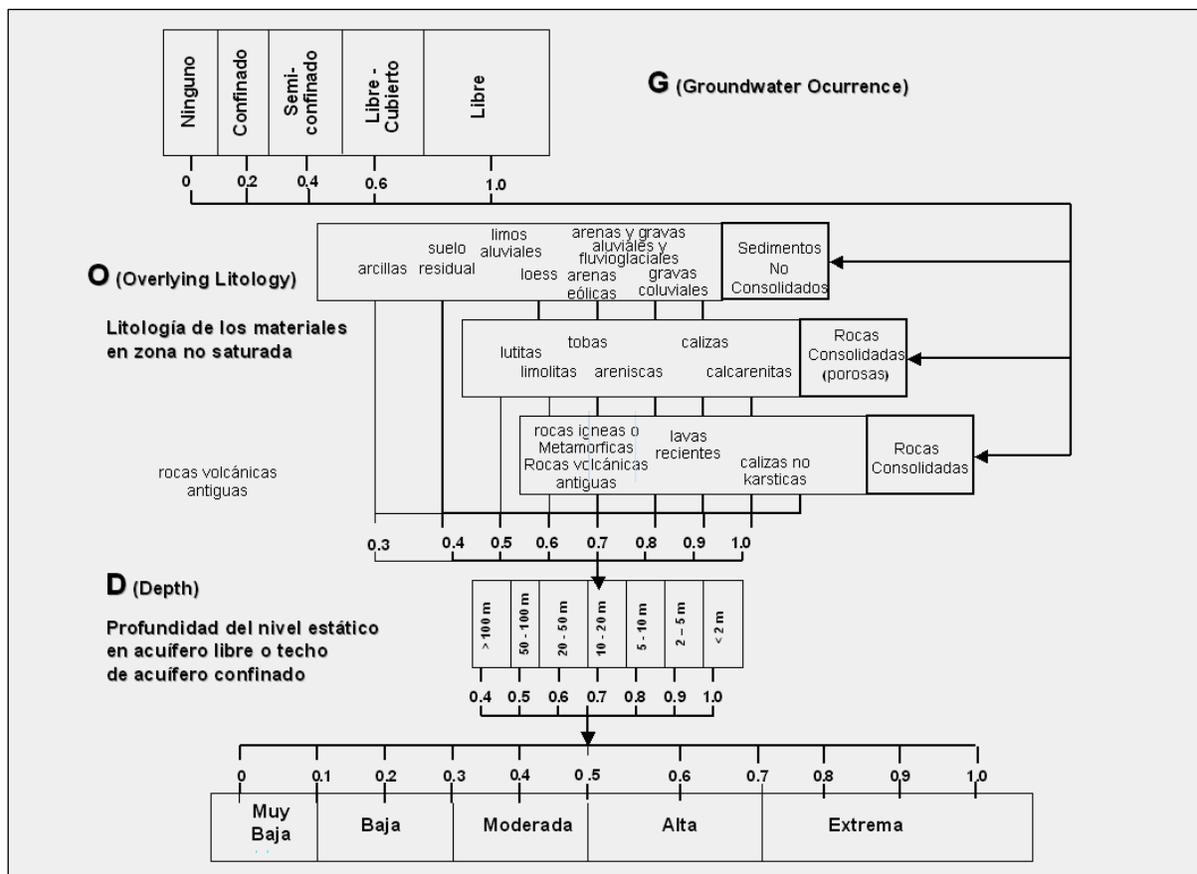


Figura 11. Método GOD para cálculo de la vulnerabilidad.

VULNERABILIDAD DE ACUÍFEROS EN LA REGIÓN DE LOS LAGOS

En el desarrollo de este trabajo se utilizó el método GOD (Foster, 1987; Foster e Hirata, 1988). La metodología aplicada para elaborar el mapa de Vulnerabilidad a la Contaminación de los Acuíferos de la Región consistió en:

- Revisión de la información técnica obtenida de los expedientes de la DGA, ESSAL, empresas perforadoras de pozos profundos, entre otros, con los cuales, se obtiene la información estratigráfica de la zona no saturada y la profundidad del agua subterránea.
- Evaluación de la vulnerabilidad a la contaminación por captación (puntual), mediante el método GOD.
- Interpretación de la información geológica e hidrogeológica para elaborar un modelo conceptual de las características de la zona no saturada y de los niveles estáticos.

La escala del mapa y el grado de detalle depende de los objetivos del trabajo. Los mapas de vulnerabilidad muestran la sensibilidad del agua subterránea a la contaminación de un modo generalizado y se han elaborado a una escala 1:250.000 (ver mapas 5 a 8), ya que facilitan la planificación territorial y el manejo del recurso hídrico subterráneo a nivel regional. Sin embargo, considerando el poco detalle de esta escala, y tomando en cuenta la escasez de datos, se debe tener en claro que estos mapas no pueden ser utilizados para trabajos de mayor precisión. Para una planificación a escala comunal o intercomunal se recomiendan escalas entre 1:100.000 y 1:25.000 (o de más detalle), mientras que a nivel de sitios específicos o a escala urbana se requieren escalas de mayor detalle (1:20.000 o mayores), así como estudios adicionales.

Las principales limitaciones para la elaboración del mapa de vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos de la región son:

- Mala distribución de los pozos con estratigrafía, concentrándose éstos en los valles fluviales, cerca de las localidades urbanas y rurales.
- Existen zonas donde no se pudo recopilar la información estratigráfica necesaria, especialmente en las cuencas costeras. Esto afecta, principalmente, la delimitación precisa de vulnerabilidad en acuíferos fracturados (en rocas sedimentarias y metamórficas).
- Falta de información estratigráfica del sondaje en muchos expedientes de derechos de agua archivados en la DGA.
- La descripción estratigráfica contenida en los expedientes de derechos de agua archivados en la DGA no siempre es confiable. Muchas veces estas descripciones son realizadas por personas no calificadas para ello. Por eso, los resultados de los cálculos de vulnerabilidad a partir de estos datos deben ser manejados con precaución.

Cuando los datos son escasos, cubren mal el territorio o son inciertos, la aplicación de la mayoría de los métodos existentes para la estimación de la vulnerabilidad induce a realizar suposiciones arriesgadas y los mapas elaborados deben interpretarse con mucha precaución pues contiene generalizaciones y extrapolación de datos. Un mapa de vulnerabilidad posee una vigencia de 5 a 10 años aproximadamente, al cabo de los cuales debe reevaluarse la vulnerabilidad de los acuíferos, debido principalmente a la variación que pudiera experimentar el nivel estático (profundidad del agua subterránea) y a la cantidad de información

geológica de la cobertura sobre el acuífero (zona no saturada) que pudiese haber sido generada.

Los valores de vulnerabilidad entregados en este estudio corresponden a una primera aproximación al valor de vulnerabilidad real, y su validez es mayor en las zonas donde se cuenta con descripciones estratigráficas de sondajes. La falta de datos de sondajes en acuíferos en roca fisurada (B3, B4, C1 y C2) hace difícil evaluar su vulnerabilidad a la contaminación, por lo que sólo se pudo establecer una aproximación al grado de vulnerabilidad en relación con sus características geológicas. Se ha podido establecer, de manera simple, qué unidades podrían ser más susceptibles a ser contaminadas, por lo que variaciones litológicas dentro de cada unidad podrían dar lugar a una modificación de la vulnerabilidad estimada en este trabajo. Esto hace que sea fundamental la realización de estudios específicos en terreno que garanticen la protección de los acuíferos. Por lo anterior, se consideró un criterio conservador desde el punto de vista ambiental, con el objeto de dar una visión general de la vulnerabilidad, para las distintas unidades geológicas, y orientar los estudios necesarios para un mejor entendimiento del sistema hídrico subterráneo en rocas.

En los mapas de Vulnerabilidad a la Contaminación de Acuíferos de la Región (Mapas 5 a 8, fuera de texto), se definieron vulnerabilidades extremadamente alta, alta, media y baja, las cuales son descritas a continuación. Archivos de ploteos de esos mapas se incluyen en CD adjunto al presente informe.

Vulnerabilidad Extremadamente Alta

Corresponden a los acuíferos A1 y A2, a los sistemas A2//A1 y A5//A3//A1 y a algunas áreas del sistema A2/A1. Esta categoría abarca valles fluviales importantes en la región, tales como las de los ríos Cruces, Calle-Calle, Maullín, Chepu, Puntra, Butalcura y Tarahuín, entre otros. En ellos se encuentran acuíferos libres, cubiertos por unidades geológicas de elevada permeabilidad (bolones, gravas, arenas), con niveles estáticos someros, por lo general menores a 5 m, que en algunos casos pueden alcanzar los 15 m. En general, existe una estrecha relación entre las aguas superficiales y subterráneas, lo que se refleja en que los acuíferos en la mayor parte del área son recargados desde cursos y cuerpos de agua superficiales. Cubiertos en gran parte por humedales y suelos alóctonos, derivados de procesos de inundación.

En áreas de vulnerabilidad extremadamente alta no se recomienda la instalación de vertederos de residuos sólidos, infiltración de residuos líquidos urbanos o industriales de ningún tipo, químicos inorgánicos u organoclorados de alta persistencia, cementerios, tanques de almacenamiento de combustibles, ni aplicación de fertilizantes y pesticidas.

Vulnerabilidad Alta

Se definió para el sistema A2/A1 y para los acuíferos B3a, C1a y C2a. En ellos se alojan acuíferos libres, los cuales están cubiertos y constituidos generalmente por material grueso (gravas, arenas, pocos finos), de alta permeabilidad, y presentan niveles estáticos variables, en su mayoría menores a 10 m, aunque en algunos sectores superan los 20 m. Al igual que en zonas de vulnerabilidad extremadamente alta, los acuíferos se recargan a partir de los

cauces superficiales y de las precipitaciones. Estas últimas son de gran importancia en las cabeceras de los ríos, debido a que en estos sectores alcanzan sus mayores magnitudes.

En áreas de vulnerabilidad alta no se recomienda la instalación de vertederos de residuos sólidos, cementerios, tanques de almacenamiento de combustibles, infiltración de residuos líquidos urbanos o industriales de ningún tipo, ni aplicación de fertilizantes y pesticidas.

Vulnerabilidad Media

En esta categoría se encuentran los acuíferos en depósitos no consolidados //A1, //A4, //A2/A1, //B1, //B5 y //B6, así como los acuíferos en roca fisurada B3, B4, C1 y C2.

Dependiendo de la litología de los estratos confinantes, pueden darse en los acuíferos en depósitos no consolidados condiciones de confinamiento, semiconfinamiento o de libre cubierto, con niveles estáticos superiores a 2 m b.n.t. y con una zona saturada a una profundidad promedio de 20 m. En general, los acuíferos emplazados en estos depósitos están cubiertos por sedimentos de permeabilidad alta a baja (arenas, gravas, limos, arcillas).

Los acuíferos libres en roca fisurada, no se encuentran cubiertos por ningún tipo de depósito y la zona no saturada corresponde a la misma roca. El grado de fracturamiento, con foliaciones penetrativas y fisuras abiertas, así como la meteorización que poseen aumenta su permeabilidad y capacidad de almacenamiento del agua subterránea. Generalmente el espesor de la zona no saturada es superior a 1 m y los niveles estáticos se sitúan a profundidades inferiores a 10 m b.n.t., aunque en pozos profundos alcanzan aproximadamente los 24 m.

En áreas de vulnerabilidad media no se recomienda la instalación de vertederos de residuos sólidos, infiltración de residuos líquidos urbanos o industriales que contengan detergentes, químicos inorgánicos u organoclorados de alta persistencia, ni aplicación no controlada de fertilizantes y pesticidas.

Vulnerabilidad Baja

Corresponden a los acuíferos confinados //A3//A1, //B2, //B3, //C1 y //C2. En general, los acuíferos confinados emplazados en depósitos no consolidados están cubiertos por sedimentos de permeabilidad baja (arenas, limos, arcillas), que limitan la infiltración de los contaminantes. El sistema //A3//A1 y el acuífero //B2 se encuentran cubierto por estratos de arenas limosas y arcillosas o por arcillas y arenas limosas, impermeables a semipermeables, moderadamente consolidadas, de espesor superior a 7 m.

Los acuíferos confinados en roca fisurada, el valor de vulnerabilidad es bajo debido a la baja permeabilidad de los sedimentos que los cubre, tanto por la presencia de materiales finos como por el grado de meteorización que poseen. El espesor de la zona no saturada es superior a 5 m, con suelos poco desarrollados.

En estas áreas se requieren estudios de detalle para el establecimiento de vertederos de residuos sólidos o la infiltración de residuos líquidos urbanos e industriales que contengan detergentes, químicos inorgánicos u organoclorados de alta persistencia, especialmente sobre acuíferos de alta importancia (//A3//A1).

No se recomienda la aplicación no fiscalizada de fertilizantes y pesticidas como medida de protección del agua superficial.

ANÁLISIS DE FERTILIZANTES

A solicitud de la contraparte técnica se incluyen en este informe (Anexo II) los resultados de análisis químicos realizados a muestras de fertilizantes que se utilizan en la región, los que fueron efectuados el año 2000 en el marco de la cooperación entre el SERNAGEOMIN y la Universidad de Los Lagos (Sede Osorno) y que aún no han sido publicados.

El objetivo de estos análisis es determinar las concentraciones de algunos elementos traza, particularmente metales pesados, presentes como impurezas en los fertilizantes, y que serían incorporados al suelo a través de la aplicación de estos compuestos. En algunos casos, dependiendo de diversos aspectos tales como el tipo de compuesto, condiciones fisicoquímicas, características del suelo, tipo de acuífero, entre otros, estos podrían ser lixiviados y arrastrados hacia el agua subterránea o superficial, acumulados en el suelo o adsorbidos por las plantas.

De estos análisis se desprende que, además de los compuestos y elementos mayoritarios que constituyen la base esencial de los fertilizantes, tales como nitratos, amonio, fosfato, se encuentran diversos elementos traza, en particular metales pesados, en altas concentraciones, entre los cuales se distinguen:

- Arsénico: 81 ppm en Magnecal; 49,1 ppm en Boronato Calcita y 10,3 ppm en Cal Soprocal.
- Mercurio: 2 ppm en Magnecal; 148 ppb en Boronato Calcita y 119 ppb en Bioyodal
- Cobre: 0,23% en Cal Soprocal; 135 ppm en Superfosfato Triple (Mexicano) y 74 ppm en Magnecal.
- Plomo: 323 ppm en Cal Soprocal; 61 ppm en Magnecal y 9 ppm en bioyodal.
- Cadmio: 48 ppm en superfosfato Triple (Mexicano); 9 ppm en Fosfato Diamónico y 6,6 ppm en Superfosfato Triple (USA).
- Níquel: 127 ppm en Tuperfosfato Triple (Mexicano); 18 ppm en Cal Soprocal; 16 ppm en Bifox y Superfosfato Triple (USA).
- Zinc: 980 ppm en Superfosfato Triple; 740 ppm en Magnecal y 524 ppm en Cal Soprocal.
- Cromo: 986 ppm en Superfosfato Triple (Mexicano); 206 ppm en Fosfato Diamónico y 181 ppm en Óxido de Magnesio.

Cabe destacar que la mayor parte de los metales pesados se acumulan en el suelo (arcillas y materia orgánica) y son bioacumulables. Además, por ejemplo, algunos resultan fitotóxicos (Zn, Cr, Hg, Cd), carcinogénicos (Cr hexavalente, As, Cd), potencialmente mutagénicos (Cr hexavalente, Hg), tóxicos para los organismos acuáticos (Hg, Cu, Pb) producen daños en el sistema nerviosos (Pb) o resultan altamente tóxicos para el hombre (Cd) (BMZ, 1996).

En Apéndice II se presenta las ubicaciones de captaciones que superan la norma de nitrato en las áreas de Valdivia y Osorno.

DIFUSIÓN, CAPACITACIÓN Y ASISTENCIA TÉCNICA

Las principales actividades de difusión, capacitación y asistencias técnicas realizadas en los años 2006 y 2007, no incluidas en informes de avances anteriores, son las siguientes:

a. Publicación en la Revista SERNAGEOMIN de un artículo referente al agua subterránea en la Región de Los Lagos (Anexo 4), derivada del Seminario “Comunicación de la Información Geocientífica en la Región de los Lagos”, realizado en Puerto Montt, el día 18 de mayo de 2006, organizado en conjunto con el Gobierno Regional.

b. Elaboración del tríptico “El agua subterránea en la Región de Los Lagos”.

c. Presentación del stand “El agua subterránea en el ciclo hidrológico”, el día 22 de marzo de 2007 día mundial del agua, en Puerto Montt, donde se expusieron pósteres y fotografías, laboratorio químico portátil, libros técnicos y publicaciones, entrega de trípticos.

d. Asistencias técnicas:

-Recomendaciones para el mejoramiento de las captaciones de agua subterránea de las localidades de Auquenco, Huillenco y Cuinco alto, Comuna La Unión. En julio 2006 la Municipalidad de La Unión realizó una solicitud de asistencia técnica para tres pozos profundos en su comuna. La visita fue realizada en el 13 de julio 2006 en compañía del Sr. Waldo Andrade, representante de la Sección de Proyectos de dicha municipalidad. La solicitud municipal indicaba evaluar técnicamente tres pozos profundos, que estarían funcionando incorrectamente, en las áreas de Auquenco, Cuinco Alto y Huillenco.

-Evaluación de los recursos de agua subterránea, en el sector La Isla, Comuna de Lanco, Provincia de Valdivia. En diciembre 2006 el Sr. Luis Cuvertino Gómez, Alcalde de la Ilustre Municipalidad de Lanco, solicita una asistencia técnica. El día 15 de enero de 2007 se realizó un reconocimiento hidrogeológico en la localidad de Lanco, sector La Isla, zona de interés para la instalación de un sistema de captación de agua subterránea. Dicho reconocimiento de terreno fue realizado en compañía del Sr. Edmundo Urra, del Departamento de SECPLAN. El requerimiento municipal solicitaba evaluar las condiciones del subsuelo, la existencia de acuíferos, profundidad de perforación, así como toda aquella información que les sea útil, con el propósito de evaluar la solución más eficiente y de mayor pertinencia técnica para la construcción de algún sistema de captación en el sector La Isla.

-Hidrogeología del sector Pichipelluco, Comuna de Puerto Montt, Provincia de Llanquihue. El 28 de junio de 2007, el Sr. Hernán Figueroa Fuentes, Capitán de

Fragata RN, Fiscal Administrativo de la Gobernación Marítima de Puerto Montt, solicitó emitir opinión experta en hidrogeología sobre la conformación de la napa freática existente y proceso de infiltración de hidrocarburos en el acuífero del sector intermareal de las aguas de la bahía de Puerto Montt, sector Pichipelluco. En este contexto, el día 19 de marzo de 2007 se participó en la toma de muestra de agua subterránea y sedimentos costeros, al igual que en un reconocimiento hidrogeológico en el sector de Pichipelluco, zona de interés para la Investigación Sumaria Administrativa que se efectúa por la presencia de hidrocarburos en el espacio intermareal de las aguas de la Bahía de Puerto Montt.

e. Seminario: “Situación actual y futura del agua subterránea en la Región de Los Lagos: legislación, procesos productivos y abastecimiento”, efectuado en el auditorium de INIA Remehue, Osorno el día 18 de diciembre de 2007 (Figura 12).

Este Seminario tuvo como objetivo fundamental transferir el conocimiento disponible y poner en valoración la distribución, cantidad, calidad, vulnerabilidad y los potenciales conflictos con intereses actuales y futuros del agua subterránea en la Región de Los Lagos, desde la perspectiva de la legislación, procesos productivos y abastecimiento. Este, se realizó el 18 de diciembre de 2007 en el Instituto Nacional de Investigación Agropecuarias (INIA) de Osorno, en el marco del estudio “Levantamiento Hidrogeológico y Potencial de Agua Subterránea del Valle Central de la Región de Los Lagos”, que ha sido llevado a cabo por la Oficina Técnica Puerto Varas del Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN) y financiado por el Fondo Nacional de Desarrollo Regional (FNDR). Este estudio ha tenido como objetivo fundamental determinar los recursos de agua subterránea, desde el punto de vista de su distribución, cantidad y calidad, de una parte importante de las actuales regiones de Los Ríos y de Los Lagos.

Las exposiciones incluyeron: Derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas (por Dirección General de Aguas, DGA); Exploración de recursos subterráneos cuenca del Río Bueno (por Dirección Obras hidráulicas, DOH); Agua subterránea y procesos productivos: experiencias, problemáticas y necesidades (por Consultor); La importancia del recurso agua para la actividad productiva desde la perspectiva de los Comités de Agua Potable Rural (APR) y su vinculación con programas de apoyo Gubernamental (por GORE Los Lagos y Federación APR de Chiloé); y Levantamiento hidrogeológico y potencial de agua subterránea en la depresión central de las Región de Los Lagos (por SERNAGEOMIN). Todas las presentaciones están disponibles en www.sernageomin.cl.

Durante su realización, participaron más de 50 representantes de organizaciones gubernamentales y de empresas públicas y privadas, entre los cuales destacó la participación de representantes de la SEREMI de Minería de la Región de Los Lagos y Los Ríos, GDA, DOH, GORE Los Lagos, Gobernación de Osorno, Universidades de Los Lagos y La Frontera, Municipalidades de Fresia y La Unión, ESSAL Los Lagos, INIA, SAG y Empresarios interesados en la materia.

El Seminario concluyó con un panel integrado por representantes de GORE Los Lagos, Empresas perforistas de pozos profundos, ESSAL, DGA, Programa de Agua Potable Rural y SERNAGEOMIN, en el cual se discutió y acordó sobre problemáticas y perspectivas actuales y futuras del recurso aguas subterráneas en

la Región de Los Lagos. El Sr. Bernardo Candía, Gobernador de la Provincia de Osorno, durante las palabras de clausura, destacó la importancia del evento y la necesidad de mantener los vínculos entre los distintos actores con el objetivo de concretar las acciones acordadas, especialmente en lo relativo a sostenibilidad y sustentabilidad de la explotación del recurso.



Figura 12. El Sr. Gobernador de la Provincia de Osorno, Sr. Bernardo Candia, expone durante el “Seminario situación actual y futura del agua subterránea en la Región de Los Lagos: legislación, procesos productivos y abastecimiento sobre aguas Subterráneas”, realizado en INIA de Osorno en diciembre de 2007. En primer plano, lo integrantes del panel de discusión y conclusiones.

CONCLUSIONES

El estudio aumentó la conciencia ambiental frente al desarrollo, al manejo y uso del recurso de aguas subterráneas, lo cual mejorará la calidad de vida y economía de la región. Con ello, se crea mayor conciencia ambiental frente al tema de las aguas subterráneas, especialmente en la valoración de los recursos disponibles y sobre el control de uso de fertilizantes y pesticidas agrícolas y/o cualquier compuesto contaminante por uso industrial en la región, en el control del vertido de desechos industriales y en la ubicación y manejo de vertederos de residuos sólidos, comunales e intercomunales, entre otros. El SERNAGEOMIN difundirá toda la información generada, a través de una ceremonia oficial de entrega de los resultados del proyecto, además de seminarios y charlas informativas, entre otras, a realizarse durante la realización del proyecto.

La evaluación realizada del potencial de las aguas subterráneas fue necesaria, puesto que ellas representan un importante recurso que debe ser conocido, especialmente como respuesta a cambios climáticos, periodos estivales de sequías, al aumento progresivo de la demanda de agua, que se relaciona al crecimiento demográfico, al uso urbano, agrícola, industrial, a su disponibilidad en periodos estivales e invernales y los usos alternativos. Además, y en general, las aguas subterráneas tienen una mejor calidad frente a la contaminación progresiva de las aguas superficiales.

Con la integración de toda la información hidrogeológica previamente generada y con la nueva información que se obtuvo con la realización del estudio, actualmente se dispone de un banco de datos actualizado y moderno, útil para la solución de problemas de abastecimiento de aguas.

El análisis e interpretación de los datos geológicos, de estratigrafía del subsuelo e hidrogeología de la Región de Los Lagos permiten definir que los acuíferos de alta importancia hidrogeológica se encontrarían en los depósitos fluviales, fluvio-estuarinos y glaciofluviales, compuestos principalmente por gravas y arenas de granulometría gruesa. Se reconocen como sistemas de acuíferos y acuíferos de alta importancia a los designados como A1, //A1, A2, A2/A1, A2//A1, //A2/A1, //A3//A1, //A4 y A5////A3//A1.

Las aguas de los acuíferos de alta importancia son en general de excelente calidad natural, y permiten ahorros importantes en los costos de tratamiento, en comparación con una fuente equivalente de agua superficial. Son más seguras como fuentes de abastecimiento durante periodos de sequía prolongados que la mayor parte de los recursos de agua superficial.

Los mapas de vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos deben interpretarse con mucha precaución, pues contienen generalizaciones y extrapolación de datos. Solamente, se usaron datos recopilados existentes a la fecha. En general, un mapa de vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos, con mediciones actualizadas del nivel estático, posee una vigencia de 5 a 10 años aproximadamente, al cabo de los cuales debe reevaluarse la vulnerabilidad de éstos, debido, principalmente, a la variación que pudiera experimentar el nivel estático (profundidad del agua subterránea), y a la cantidad de antecedentes geológicos de la zona no saturada. Debido a lo anterior, las categorías de

vulnerabilidad presentadas en los mapas no son indiscutibles. Un nuevo estudio hidrogeológico, sea de detalle o básico, puede aportar datos que modifiquen estas categorías.

Cabe destacar que en el largo plazo, todos los acuíferos son vulnerables a contaminantes persistentes en el tiempo y no degradables. Mas aún, aquellos acuíferos considerados como de menor vulnerabilidad a la contaminación, tienden a ser los más difíciles de rehabilitar una vez contaminados. Por ello, es posible concluir que no existen zonas en las cuales el acuífero no sea afectado cuando existe una presencia permanente de algún tipo de contaminante conservativo y persistente.

Especial atención merecen las áreas de vulnerabilidad extremadamente alta y alta, ya que en ellas se concentran las principales ciudades de la región, en las cuales el abastecimiento de agua potable proviene principalmente de fuentes subterráneas. El desarrollo socioeconómico propio de una zona urbana tiene como consecuencia el establecimiento de numerosas fuentes contaminantes, lo que sumado a la alta vulnerabilidad correspondiente, puede reflejarse en un serio daño a la calidad del agua subterránea.

RECOMENDACIONES

VULNERABILIDAD Y FUENTES DE CONTAMINACIÓN

Una poderosa herramienta que se utiliza, principalmente, en países desarrollados, para la protección de los recursos de agua subterránea, consiste en establecer perímetros de protección para captaciones subterráneas de agua potable. Esto, en conjunto con un buen conocimiento del sistema de flujo del agua subterránea, el que debe considerar un adecuado sistema de monitoreo de sus calidades y el desarrollo y actualización de modelos conceptuales y numéricos, permitirá un manejo óptimo de este recurso. Idealmente, se debiera implementar un plan de gestión sustentable de los recursos hídricos subterráneos de la Región de Los Lagos, que involucre a todas las entidades, tanto públicas como privadas, que tengan competencia en el aprovechamiento y gestión del recurso.

Para aplicar el mapa de vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos elaborado en este estudio a un Plan Regional de Desarrollo Urbano, se recomiendan una serie de condiciones para cada categoría de vulnerabilidad, orientadas a la disposición de actividades e instalaciones potencialmente contaminantes. En la Tabla 3 se enumeran estas actividades (adaptado de Foster *et al.*, 2003), las cuales a partir de ésta podrán ser adaptadas a un Plan Regional de Desarrollo Urbano, dependiendo del tipo de uso posible, sean desarrollos urbanos, industriales o infraestructura sanitaria mayor, entre otros. En general, las recomendaciones son de cuatro tipos (ver pie de Tabla 3): Prohibido, Inaceptable, Eventualmente Aceptable y Aceptable, y dependen del grado de vulnerabilidad y de la potencialidad de contaminación del posible uso. Además, se proponen recomendaciones particulares para cada tipo de uso posible, independiente de la vulnerabilidad. Las recomendaciones de prohibición o restricción se circunscriben a los usos industriales o infraestructura sanitaria mayor en zonas con vulnerabilidades altas y muy altas, debido fundamentalmente, a que estas actividades constituyen las mayores fuentes potenciales de contaminación para las aguas subterráneas.

Dependiendo del grado de vulnerabilidad y el tipo de actividad o instalaciones comúnmente contaminantes, es posible recomendar distintas alternativas para el uso del territorio, sujetas a determinadas condiciones:

- Deben realizarse estudios hidrogeológicos básicos y/o de detalle.
- Los diseños de actividades y/o instalaciones deben garantizar la conservación de las calidades de las aguas según el cumplimiento de las normas aplicables y de un porcentaje razonable de la recarga.
- Los estudios hidrogeológicos (básicos y/o de detalle) deben cumplir con los contenidos mínimos exigidos y los diseños deben cumplir con las consideraciones mínimas indicadas según el tipo de actividad. Estos estudios indican los requerimientos mínimos necesarios para comprender la dinámica de los flujos y características de las aguas subterráneas, por lo que no se descarta la realización de estudios adicionales u otro tipo de estudios que sean necesarios.

- Los estudios y diseños deben ser evaluados y aprobados por instituciones del Estado con capacidad técnica en hidrogeología, como son la Dirección General de Aguas (DGA) y el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN), con el fin de garantizar la calidad de los éstos.

Tabla 2. Recomendaciones según actividades potencialmente contaminantes (según Foster *et al.*, 2003).

ACTIVIDAD POTENCIALMENTE CONTAMINANTE QUE REQUIERE MEDIDAS DE CONTROL	SEGÚN LA VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO		
	Alta	Moderada	Baja
Tanques Sépticos, Pozos Negros y Letrinas			
propiedades individuales	A	A	A
propiedades comunales, públicas	A	A	A
gasolineras	EA	A	A
Instalaciones de Disposición de Residuos Sólidos			
municipal doméstico	I	EA	A
construcción/inerte	A	A	A
peligros industriales	P	P	EA
industrial (clase I)	I	EA	A
industrial (clase II y III)	P	P	EA
cementerio	EA	A	A
incinerador	P	I	EA
Extracción de Petróleo y Minerales			
material de construcción (inerte)	EA	EA	A
otros, incluyendo petróleo y gas	P	EA	A
tuberías de combustibles	P	EA	A
Predios Industriales			
tipo I	EA	EA	A
tipo II y III	I/P	EA/P	EA/I
Instalaciones Militares	I	EA	EA
Lagunas de Infiltración			
agua municipal/de enfriamiento	A	A	A
efluente industrial	I	EA	EA
Drenaje por Sumideros			
techo de edificios o casas	A	A	A
camino principal	I	EA	A
camino menor	EA	A	A
áreas de recreación	A	A	A
estacionamientos de vehículos	EA	A	A
áreas industriales	I	EA	A
aeropuertos/estaciones de trenes	I	EA	A
Aplicación de Efluentes en el Suelo			
industria alimenticia	EA	A	A
todas las otras industrias	I	EA	A
efluente de agua residual doméstica	EA	A	A
lodo proveniente de agua residual doméstica	EA	A	A
lodo de agua residual de corrales	A	A	A
Cría Intensiva de Ganado			
laguna de efluentes	EA	A	A
drenaje de corrales y áreas de alimentación de animales	EA	A	A
Áreas Agrícolas			
con pesticidas	I	A	A
sin control del uso de fertilizantes	I	A	A
almacenamiento de pesticidas	I	EA	A

- P: Prohibido en prácticamente todos los casos
- I: Inaceptable, excepto en algunos casos sujetos a estudio hidrogeológico detallado y diseño especial
- EA: Eventualmente Aceptable, sujeto a factibilidad según estudio hidrogeológico básico y diseño específico
- A: Aceptable sujeto a diseño estándar

Predios industriales: Tipo I: Carpinterías, fábricas de alimentos y bebidas, destilerías de alcohol y azúcar, procesamiento de materiales no metálicos; Tipo II: Fábricas de caucho, pulpa y papel, textiles, artículos eléctricos, fertilizantes, detergentes y jabones; Tipo III: Talleres mecánicos, refinerías de gas y petróleo, manufacturas de pesticidas, plásticos, productos farmacéuticos y químicos, curtidurías, fábricas de artículos electrónicos, procesamiento de metal (Foster *et al.*, 2003).

CONTENIDOS DE ESTUDIOS HIDROGEOLÓGICOS Y TIPOS DE DISEÑO INGENIERIL

A continuación se indican los contenidos mínimos a exigir para desarrollar los estudios hidrogeológicos requeridos según el tipo de actividad (básico o de detalle). Lo anterior, indica requerimientos mínimos exigibles para comprender la dinámica de los flujos y características de las aguas subterráneas, por lo que no se descarta la realización de estudios adicionales u otro tipo de estudios que sean necesarios.

Estudio Hidrogeológico Básico

Independiente del tipo de proyecto y grado de vulnerabilidad a la contaminación, se recomienda que todos los proyectos presenten un informe hidrogeológico con contenido mínimo necesarios para evaluar el impacto de estos sobre las aguas subterráneas. Los contenidos mínimos de un estudio hidrogeológico básico deben ser los siguientes:

1. Área de Influencia del proyecto. Esta área debe ser de por lo menos 2 km. de radio desde los límites del proyecto, e incluir tuberías de conducción de agua desde las captaciones, si es que éstas se ubican fuera de los límites del proyecto.
2. Catastro de Captaciones de agua subterránea, tanto las que utilizara el proyecto como las existentes en el área de influencia. Se debe presentar una lista que incluya por lo menos las coordenadas UTM referidas a un Datum especificado, los niveles estáticos referidos a una fecha, caudales, y el uso que se le ha otorgado a las captaciones existentes.
3. Estratigrafía de Sondajes propios o del entorno que las posean. Descripción del tipo sedimento (o roca) y su distribución granulométrica.
4. Mapa Geológico a escala 1:10.000. Delimitación de unidades superficiales, con una adecuada codificación y una breve explicación sobre la litología (tipos de rocas o sedimentos), génesis y espesor estimado de las unidades

en el subsuelo. Además, estructuras geológicas como pliegues, fallas, fracturas, etc.

5. Perfiles Estratigráficos representativos. Por lo menos dos dispuestos perpendicularmente, uno en el sentido del escurrimiento del agua subterránea.
6. Mapa Hidrogeológico. Definición de unidades acuíferas, acuitardos o acuífugos-acuícludos, y una breve descripción de las características del subsuelo en relación con la posibilidad de almacenar, transmitir y ceder agua.
7. Isopropundidades. Líneas imaginarias que unen aquellos puntos sobre la superficie terrestre donde se registra igual profundidad del nivel estático del agua subterránea. Lo ideal es que se entreguen dos mapas, uno con los niveles máximos y otro con los mínimos registrados históricamente.
8. Direcciones de Flujo estimadas del agua subterránea.
9. Zonas de Recarga y Descarga de aguas subterráneas y sus características estimadas en el área de influencia del proyecto.
10. Mapa de Vulnerabilidad a la Contaminación de los acuíferos del área de influencia del proyecto, a una escala de detalle, para lo cual se deben ocupar métodos confiables.
11. Hidroquímica de aguas superficiales y subterráneas, de haber datos.
12. Impacto del Proyecto sobre la recarga y calidad de las aguas subterráneas.

Estos estudios básicos solo contemplan la recolección de datos existentes y no estudios de detalle en terreno ni construcción de sondajes. Por supuesto, no siempre será posible desarrollar todos estos contenidos ya que algunos dependen de la existencia de datos, principalmente de las captaciones que se encuentren en el área de influencia.

En el caso de que el proyecto se emplace sobre unidades de rocas, seguramente no se puedan recolectar algunos de los contenidos anteriores. En este caso se recomienda que el estudio incluya:

1. Catastro de Vertientes, tanto las que utilizará el proyecto como las existentes en el área de influencia. Se debe presentar una lista que incluya por lo menos las coordenadas UTM, referidas a un Datum especificado, y medición de caudales, referidos a una fecha. Lo ideal es presentar mediciones del máximo y mínimo caudal del año.
2. Mapeo de Fracturas. Identificación de zonas con alto grado de fracturamiento que podrían indicar algún grado de vulnerabilidad o que estén relacionadas con las vertientes presentes en la zona.
3. Caracterización de la zona meteorizada. Esta debe ser caracterizada usando criterios normalmente aplicados a depósitos no consolidados

Estudio Hidrogeológico de Detalle

Dependiendo del grado de vulnerabilidad y del tipo de uso, se recomienda que los proyectos sean autorizados solo una vez realizado un estudio hidrogeológico de detalle, en el cual se debe considerar un nivel de detalle superior al estudio hidrogeológico básico, esto es:

1. Perforación de Sondajes y piezómetros (a lo menos 5)
2. Red de monitoreo (niveles, calidad química)
3. Pruebas de laboratorio (permeabilidad, porosidad, granulometría, química)
4. Pruebas de terreno (infiltración, pruebas de bombeo)
5. Estudios geofísicos (extensión y espesor de acuíferos)
6. Plan de cierre y abandono

En dichos estudios se debe presentar información adicional más detallada sobre las propiedades del subsuelo y el impacto potencial del proyecto sobre el sistema hídrico subterráneo:

- Espesor detallado de unidades, lo que debe incluir el eventual medio acuífero.
- Propiedades hidrogeológicas de cada una de estas unidades (Permeabilidad, transmisividad, existencia de anisotropía, acuíferos artesianos, acuíferos colgados, estimación de recarga y flujo subterráneo).
- Piezometría y direcciones de flujo. Varias mediciones piezométricas periódicas, por lo menos 2 por año, ojala en las estaciones de mayor y menor nivel estático.
- Evaluación detallada de la vulnerabilidad de todos los acuíferos que se encuentren en el área de influencia.
- Análisis químicos de las aguas superficiales y subterráneas del área de influencia. Muestreos periódicos durante por lo menos un año para determinar la calidad de aguas antes de ejecutado el proyecto.
- Descripción del impacto estimado del proyecto sobre la recarga y calidad del agua subterránea en el área de influencia.
- Descripción de la mitigación que el proyecto hará para evitar la disminución de recarga o el cambio en calidad.

Tipos de diseño (estándar, especial y específico)

Los diseños deben asegurar la conservación de la calidad del agua subterránea y que un porcentaje de la recarga se mantenga. Adicionalmente, deben velar por el cumplimiento de normas sanitarias aplicables. Para lo anterior, en el caso de los desarrollos urbanos, es estrictamente necesario considerar las características hidrogeológicas del entorno en el diseño de las urbanizaciones y dar soluciones que permitan minimizar o eliminar los impactos negativos sobre la calidad de las aguas subterráneas. En el caso de desarrollos de infraestructura

sanitaria mayor, desarrollos industriales, y similares, los proyectos de ingeniería, dependiendo del nivel de información hidrogeológica existente y exigido, deberán presentar diseños especiales y/o específicos que al menos permitan dar soluciones completas de contención y tratamiento de líquidos percolados, contención de escorrentía aportante, cierre perimetral, monitoreo con baterías de piezómetros, medidas de mitigación ante contingencias y plan de cierre y abandono, entre otras factibles de aplicar con el objeto de evitar la contaminación de los acuíferos y así conservar la calidad del agua subterránea.

ACTIVIDADES FUTURAS: DIFUSIÓN Y PUBLICACIÓN

Se propone que los saldos restantes en difusión y administración del presupuesto original sean debidamente utilizados en las siguientes actividades de divulgación programadas como etapa posterior a la entrega y aprobación del presente Informe, las cuales darán lugar a un Informe técnico y contable complementario al actual:

1. **Tipo de actividad:** Taller

Título: Hidrogeología: aplicaciones y demandas futuras del agua subterránea a nivel Provincial.

Objetivo: Transferir el conocimiento disponible y poner en valoración la distribución, cantidad, calidad, vulnerabilidad y los potenciales conflictos con intereses actuales y futuros del agua subterránea en la Región.

Participantes: Representantes de Municipalidades de las Provincias, PRODESAL, INDAP, CONADI, ONEMI, encargados de emergencias y personal de organismos públicos relacionados con el uso y gestión del agua.

Lugar: Castro, Puerto Montt, Osorno y Valdivia

Fecha: Abril 2008

Duración: 1 día para cada Provincia

Contenidos:

- Presentación, alcances, resultados y recomendaciones relevantes del estudio FNDR.
- Aplicaciones en la Provincia: agua potable rural, vertederos, escuelas, postas, zonas urbanas, proyectos de inversión.
- Planificación de asistencias técnicas,
- Demandas futuras de abastecimientos de aguas subterráneas.

2. **Tipo de actividad:** Taller

Título: Importancia de la descripción de sondajes y ensayos de bombeo en el conocimiento hidrogeológico de la Región.

Objetivo: Capacitar y compartir experiencias con el personal técnico que participa en la generación de información hidrogeológica básica, en materias de descripción de materiales geológicos, habilitación y ensayos de bombeo.

Participantes: Personal de empresas perforadoras y otros organismos técnicos públicos y privados relacionados con obras de captación y perforación.

Fecha: Mayo 2008

Lugar: Osorno

Duración: 1 día

Contenidos: Introducción a la terminología de aguas subterráneas.

- Importancia y utilización de mapas hidrogeológicos.
- Utilización de descripciones de sondajes en la confección de mapas hidrogeológicos.
- Descripción de depósitos no consolidados y rocas en sondajes: composición, granulometría, selección, consolidación, fracturamiento.
- Medición de niveles estáticos en pozos profundos y su uso en la construcción de isopiezas e isopropiedades.
- Importancia de los mapas de isopiezas e isopropiedades.
- Importancia de la determinación de parámetros hidráulicos en acuíferos.
- Ensayos de bombeo y determinación de parámetros hidráulicos en acuíferos.

3. **Tipo de actividad:** Taller o mesa redonda

Título: Planificación de actividades de asistencia técnica.

Objetivo: Coordinar futuras actividades de asistencia técnica, capacitar y compartir experiencias con personal de los departamentos municipales encargados o relacionados con el abastecimiento de agua potable, principalmente de comunidades rurales, y otros posibles interesados.

Participantes: Personal de las municipalidades de la región relacionadas con abastecimiento de agua potable, especialmente de comunidades rurales, y otros posible interesados.

Lugar: Valdivia

Fecha: Junio 2008

Duración: Medio día

Contenidos:

- Presentación de estudios hidrogeológicos realizados en la región.
- Capacitación para la utilización de mapas hidrogeológicos en la gestión de los recursos hídricos.
- Presentación y discusión de experiencias.
- Programación de actividades de asistencia técnica.

4. **Tipo de actividad:** Publicación de Informe Registrado por parte de SERNAGEOMIN.

Objetivo: Publicar formalmente los resultados del estudio.

Fecha: Diciembre 2008

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Gobierno Regional Los Lagos por el financiamiento y apoyo. Especial consideración para los Srs. Rodrigo Fuentes y Enrique Vera, este último en su momento Jefe del Departamento de Fomento Productivo, y a los Srs. José Luís Muñoz e Iván Neira, en su momento Jefes de División de Análisis y Control de Gestión de GORE Los Lagos. Gracias a los Srs. Alejandro Burgos (DGA), Robinsón Díaz (DOH), Mario Castro (SEREMI de Agricultura), entre otros, que como contraparte técnica participaron en las discusiones y acuerdos logrados durante la realización de este estudio. Las hidrogeólogas (o) Rosa Troncoso, Panja Feuker, Yasna Pérez y Patricio Derch, de SERNAGEOMIN, aportaron sus conocimientos en distintas etapas de la realización de los trabajos, en terreno y redacción de todos los informes previos y de este informe. Sandra Barría llevó con celo los registros y el control contable. Nuestros agradecimientos a todo el personal de la Oficina Técnica Puerto Varas de SERNAGEOMIN, que colaboró en la diferentes etapas de terreno, oficina y en la producción digital que involucró la realización de este estudio. Los Srs. Jorge Muñoz y Paul Duhart, Geólogos de SERNAGEOMIN, realizaron la revisión del presente texto y de los mapas anexos.

REFERENCIAS

- Aguirre, L.; Levi, B. 1964.** Geología de la Cordillera de los Andes de las Provincias de Cautín, Valdivia, Osorno y Llanquihue. Instituto de Investigaciones Geológicas, Boletín, No. 17, 37 p. Santiago.
- Alfaro, G. 1994.** Aeromagnetometría en la ubicación de cuerpos volcánicos en el ámbito de la Cordillera de la Costa Sur: El volcanismo terciario de Punta Capitanes, Décima Región. In Congreso Geológico Chileno, No. 7, Actas, Vol. 1, p. 556-561. Concepción.
- Antinao, J.L.; Pérez, Y.; Clayton, J.; Santibáñez, I.; Toloczyki, M.; Schwerdtfeger, B.; Hanisch, J.; Kruck, W. 2000.** Geología para el ordenamiento territorial: Estudio geoambiental del área Puerto Montt- Frutillar, X Región de Los Lagos. Servicio Nacional de Geología y Minería, Boletín, No. 55, 34 p.
- Antinao, J.; Clayton, J.; Elgueta, S.; Urqueta, E. 1998.** Geología Preliminar Área de Osorno. Estudio Geológico – Económico de la X Región Norte. Servicio Nacional de Geología y Minería. Informe Registrado IR-98-15, 6 Vol., 12 Tomos, 27 mapas. Santiago.
- Antinao, J.L.; Duhart, P.; Clayton, J.; Elgueta, S.; McDonough, M. 2000.** Área de Ancud- Maullín, Región de Los Lagos. Servicio Nacional de Geología y Minería, Mapas Geológicos, No 17, 1 mapa escala 1:100.000. Santiago.
- Arenas, M.; Duhart, P. 2003.** Geología del Área Castro-Dalcahue, Región de Los Lagos. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica, No. 79, 29 p., 1 mapa escala 1:1000.000.
- Arenas, M.; Jara, C.; Milovic, J.; Pérez, Y.; Troncoso, R.; Behlau, J.; Hanisch, J.; Helms, F. 2004.** Geología para el ordenamiento territorial: área de Valdivia, Región de Los Lagos. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Ambiental, No. 8, 79 p., 6 mapas escala 1:100.000, 1 mapa escala 1:25.000. Santiago.
- Bruggen, J. 1950.** Fundamentos de la geología de Chile. Instituto Geográfico Militar. 374 p. Santiago.
- Benn, D; Evans, D. 1998.** Glaciers & Glaciation. Arnold, 734 p. New York.
- García, F. 1968. Estratigrafía del terciario de Chile central. In Estratigrafía del Terciario de Chile (Cecioni, G., editor), Sociedad Geológica de Chile, p. 25-57. Santiago.
- Campos, A.; Moreno, H; Muñoz, J.; Clayton, J.D.; Antinao, J.L.; M. Martin. 1998.** Área de Futrono-Lago Ranco, Región de Los Lagos. Servicio Nacional de Geología y Minería, Mapas Geológicos, No. 8, 1 mapa escala 1:100.000. Santiago.
- Clayton, J.; Antinao, J.; Duhart, P.; Crignola, P. 1998.** Geología Preliminar Área de Río Bueno – Paillaco. Estudio Geológico – Económico de la X Región Norte. Servicio Nacional de Geología y Minería. Informe Registrado IR-98-15, 6 Vol., 12 Tomos, 27 mapas. Santiago.
- Clayton, J.; Antinao, J. L. 2000.** Área de Pargua-Calbuco, Región de Los Lagos. Servicio Nacional de Geología y Minería, Mapas Geológicos, No. 16, 1 mapa escala 1:100.000. Santiago.

- Crignola, P. 2000.** Depósitos metalíferos, anomalías geoquímicas y recursos energéticos del sector norte de la Región de Los Lagos. Servicio Nacional de Geología y Minería, Mapa de Recursos Minerales de Chile, No. 6, 19 p., 1 mapa escal 1:500.000.
- Duhart, P.; McDonough, M.; Crignola, P.; Antinao, J.; Clayton, J. 1998.** Geología Preliminar Área de Cordillera de Zarao – Río Llico. Estudio Geológico – Económico de la X Región Norte. Servicio Nacional de Geología y Minería. Informe Registrado IR-98-15, 6 Vol., 2 mapas. Santiago.
- Duhart, P.; Antinao, J.; McDonough, M.; Clayton J.; Elgueta, S.; Gómez, J.; Urqueta, E.1998.** Geología Preliminar Área La Unión. Estudio Geológico – Económico de la X Región Norte. Servicio Nacional de Geología y Minería. Informe Registrado IR-98-15, 6 Vol., 12 Tomos, 27 mapas. Santiago.
- Duhart, P.; Antinao, J.L.; Clayton, J.; Elgueta, S.; Crignola, P.; MacDonough, M. 2003.** Geología del Área Los Lagos-Malalhue, Región de los Lagos. Servicio Nacional de Geología y Minería, Serie Geología Básica, No. 81, 30 p., 1 mapa escala 1:100.000. Santiago.
- Elgueta, S; McDonough, M; Le Roux, J.; Urqueta, E.; Duhart, P. 2000.** Estratigrafía y sedimentología de las cuencas terciarias de la Región de Los lagos (30-41°30'S). Servicio Nacional de Geología y Minería, Boletín, No. 57, 50 p.
- Fenner, R.; Sylvester, C. 1936.** Informe sobre los carbones situados en las Provincias de Valdivia y Chiloé. Caja de Fomento Carbonero, 51 p., Santiago.
- Flores, R. 1976.** Evaluación preliminar de los recursos carboníferos de la Cordillera de Zarao (Inédito). Geosur Consultores, 124 p.
- Foster, S. 1987.** Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy. En: W. Van Duijvenbooden and H.G. van Waegeningh, eds. Vulnerability of soil and groundwater to pollutants. TNO, The Hague, pp. 69-86.
- Foster, S.; Hirata, R. 1988.** Groundwater pollution risk assessment. Pan American Center for Sanitary Engineering and Environmental Sciences. Lima, Perú. 79 p.
- Foster, S; Hirata, R; Gomes, D.; D'Elia; M; Paris, M. 2003.** Protección de la Calidad del Agua Subterránea, guía para empresas de agua, autoridades municipales y agencias ambientales. Groundwater Management Advisory Team (GW.MATE) en colaboración con Global Water Partnership, co-auspiciado por WHO-PAHO-CEPIS y UNESCO-ROSTLAC-PHI, 127 p.
- Galli, C.; Sánchez, J. 1960.** Relación entre la geología y los efectos del terremoto de Mayo de 1960, en la ciudad de Ancud y alrededores de Chiloé (Inédito). Instituto de Investigaciones Geológicas, 14 p. Santiago.
- Illies, H., 1970.** Geología de los alrededores de Valdivia y Volcanismo y Tectónica en márgenes del Pacífico en Chile Meridional. Universidad Austral de Chile, 64 p. Valdivia.
- Instituto Nacional de Normalización (INN). 1984.** NCh 409/1. Of. 84. Agua Potable, Parte 1: Requisitos. Instituto Nacional de Normalización, 19 p. Santiago.
- Instituto Nacional de Estadística (INE). 2002.** Censo 2002. Mapa Interactivo (20 de febrero de 2008). Disponible en Internet en <http://www.censo2002.cl/>
- Karzulovic, J. 1960.** Informe sobre las aguas subterráneas de Valdivia. Instituto de Investigaciones Geológicas, Publicación, No. 12, 17 p.

- Lara, L.; Moreno, H. 2004.** Geología del Área Liquiñe-Neltume, Regiones de la Araucanía y de Los Lagos. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica, No. 83, 23 p., 1 mapa escala 1:100.000.
- Martínez, R.; Pino, M. 1979.** Edad, paleoecología y sedimentología del Mioceno Marino de la Cuesta de Santo Domingo, Provincia de Valdivia, X Región. In Congreso Geológico Chileno, No. 2, Actas, Vol. 3, p. H103-H124. Arica.
- Mercer, J. H. 1976.** Glacial History of Southernmost South America. Quaternary Research, Vol. 6, p.125-166.
- Organización Mundial de la Salud (OMS) 1995.** Guías para la calidad del agua potable. Recomendaciones (segunda edición). *Organización Mundial de la Salud*, Vol. 1, 195 p. Ginebra.
- Pérez, Y.; Milovic, J.; Troncoso, R.; Hanisch, J.; Helms, F.; Toloczyki, M. 2003.** Geología para el ordenamiento territorial: área de Osorno, Región de Los Lagos. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Ambiental, No. 6, 48 p., 7 mapas escala 1:100.000. Santiago.
- Philippi, R.A. 1887.** Die Tertiären und Quartären Versteinerungen Chiles. *Brockhaus*, 256 p. Leipzig.
- Porter, S.C. 1981.** Pleistocene Glaciation in Southern Lake District of Chile. Quaternary Research, Vol. 16, p.263-292.
- Quiroz, D.; Duhart, P.; Crignola, P. 2004.** Geología del Área Chonchi-Cucao, Región de Los Lagos. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica, No. 86, 33 p., 1 mapa escala 1:100.000.
- Quiroz, D.; Duhart, P. 2006.** Geología del Área Quellón – Isla San Pedro. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica, No. 94, 20 p., 1 mapa escala 1:100.00. Santiago.
- Rodríguez, C.; Pérez, Y.; Moreno, H.; Clayton, J.; Antinao, J.L.; Duhart, P.; Martín, M. 1999.** Área de Panguipulli-Riñihue. Servicio Nacional de Geología y Minería, Mapas Geológicos, No. 10, 1 mapa escala 1:100.000. Santiago.
- SERNAGEOMIN. 1998.** Estudio geológico-económico de la Xª región norte, Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería, Informe Registrado IR-98-15, 6 Vols., 27 mapas, diferentes escalas. Santiago, Chile.
- Tavera, J.; Valdivia, S.; Valenzuela, E. 1985.** Mioceno fosilífero del sur de Chile: Isla de Chiloé a Península de Taitao. In Congreso Geológico de Chile, No 4, Actas, Vol. 1, p. 546-568. Antofagasta, Chile.
- Troncoso, R.; Cisternas, M. E.; Alfaro, G.; Vukasovic, M. 1994.** Antecedentes sobre el volcanismo Terciario, Cordillera de la Costa, X Región, Chile. VII Congreso Geológico Chileno, Concepción, vol. 1, p. 205-209.
- Valenzuela, E. 1982.** Estratigrafía de la boca occidental del Canal de Chacao, Xª Región, Chile. In Congreso Geológico Chileno, No 3, Actas, Vol. 1, p. A343-A376. Antofagasta, Chile.
- Vrba, J., Zaporozec, A., 1994.** Guidebook on Mapping Groundwater Vulnerability. International Association of Hydrogeologists. International Contribution to Hydrogeology; Vol. 16, 131 p. Hannover.

GLOSARIO

Acuífero: estrato o formación geológica, como depósitos no consolidados o rocas, que recibe, almacena y conduce agua subterránea a través de sus poros y/o fracturas, y hace posible que el hombre pueda aprovecharla en cantidades económicamente atractivas para satisfacer sus necesidades.

Acuíferos fisurados: el agua se almacena y moviliza en las fracturas abiertas de origen tectónico o de intemperismo. El contenido de poros generalmente es despreciable.

Acuífero libre: sin techo confinante. El nivel freático libre es el límite superior del acuífero.

Acuífero confinado: con techo confinante, formado por capas de baja permeabilidad. El límite superior es el límite geológico entre el acuífero y el estrato confinante (techo del acuífero).

Acuífero semiconfinado: confinados por capas semipermeables. Cuando un pozo ha atravesado la capa confinante y alcanza el acuífero, el agua sube en el pozo hasta alcanzar el nivel de presión del acuífero confinado.

Acuífero libre cubierto: con techo confinante; sin embargo, el nivel del agua subterránea se encuentra por debajo del límite geológico entre el acuífero y el estrato confinante.

Afanítica: rocas magmáticas que no presentan cristales visibles a simple vista.

Bioclásto: en una roca, cualquier elemento fósil, o fragmento de él, de origen animal o vegetal que haya sido o no transportado.

Calidad del agua: queda definida por su composición y el conocimiento de los efectos que pueden causar cada uno de los elementos que contiene o el conjunto de ellos, y se clasifican de acuerdo a límites definidos por ciertos servicios e instituciones, lo que permite establecer su destino o uso específico.

Caudal específico: cociente entre el caudal de agua bombeado y el descenso del nivel producido.

Coefficiente de almacenamiento: volumen de agua que puede ser liberado por un prisma vertical del acuífero de sección unitaria y altura igual a la del acuífero saturado si se produce un descenso unitario del nivel piezométrico o de carga hidráulica.

Coluvial: depósito de base de pendiente, relativamente fino, cuyos elementos han sufrido escaso transporte.

Conductividad: los iones como partículas con cargas eléctricas conducen la corriente eléctrica, por lo que la conductividad eléctrica de una solución es proporcional a su concentración de iones.

Consistencia: grado de coherencia (ligazón entre las partículas de un suelo o sedimento).

Dureza: capacidad que tiene el agua para consumir jabón o producir incrustaciones; se relaciona con el contenido de iones alcalinotérreos, esencialmente Ca^{2+} y Mg^{2+} .

Epiclasto: material que fue producido por procesos superficiales de fragmentación (intemperización, abrasión física, colapso gravitacional) y finalmente fue

depositado por procesos superficiales (tracción, suspensión, flujo en masa o laminar).

Erosión: desintegración física, solución química y transporte de material por agentes dinámicos, como el agua, el viento o el hielo, de un lugar a otro en la superficie de la Tierra.

Estratificación: arreglo en capas de los sedimentos que constituyen un depósito o roca.

Estratificación cruzada: estrato inclinado con respecto a los límites del estrato, en el interior del cual ocurren estructuras de ordenamiento interno.

Estratos confinantes: estratos impermeables o poco permeables que se encuentran encima o debajo de un acuífero confinado.

Eutrofización: exceso de nutrientes en el agua que provoca un aumento de algas y otras plantas verdes y deteriora la actividad fotosintética, lo que causa la muerte de plantas y un gran consumo de oxígeno.

Facies: conjunto de propiedades que caracterizan a unos materiales. También es aplicable al agua de acuerdo a sus características químicas.

Flujo piroclástico: nube eruptiva consistente de piroclastos calientes y gases, transportados por efecto de gravedad a través del piso, como una corriente densa. La mayoría descienden a altas velocidades y se encauzan por los sistemas de drenaje, aunque algunos llevan energía suficiente para atravesar cerros y valles.

Foliación: estructura visible en ciertas rocas metamórficas en que a la esquistosidad se suma una diferenciación petrográfica entre capas por lo que en sección presentan aspecto listado. Este carácter se adquiere por un metamorfismo bastante fuerte.

Fierrillo: capa fina, pero generalmente continua, dura, frágil, impermeable a semipermeable e impenetrable para las raíces, constituida por óxidos de hierro, manganeso y sílice. Se desarrolla en la zona de contacto entre el suelo y el sustrato.

Gradiente hidráulico: cociente entre la carga hidrostática del agua subterránea y la distancia de recorrido entre dos puntos.

Hipabisales: adjetivo que se aplica a intrusiones menores tipo sills y diques que han cristalizado bajo condiciones intermedias entre plutónicas y extrusivas.

Humedal: superficies cubiertas de aguas sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad de marea baja no exceda de 6 m. Incluye las siguientes categorías: vegetación herbácea permanente inundada a orillas de río, marismas herbáceas temporales inundadas por el mar; ñadis herbáceos y arbustivos, turbales, bofedales, vegas y otros terrenos húmedos.

Imbricación: estructura formada por clastos inclinados que se traslapan y tienen formas alargadas o aplanadas, indicando la dirección de transporte y deposición de partículas provenientes de corrientes de aguas y flujos turbulentos.

Intemperismo: alteración química (descomposición) y/o rompimiento mecánico (desintegración) de minerales y rocas, en o cerca de la superficie de la tierra por contacto con el agua, aire y la materia orgánica.

Interglacial: periodo comprendido entre dos eras glaciales.

Lahar: flujo de detritos o de barro constituido de materiales volcánicos. Generalmente aplicado a flujos formados cuando la nieve y/o hielo se funden por el calor de lavas o flujos piroclásticos, o cuando el agua es abruptamente liberada de un lago o por la erosión de depósitos volcánicos recientes producidas por lluvias intensas.

Meteorización: alteración de los materiales bajo la acción de los agentes atmosféricos.

Nivel estático: nivel del agua en el pozo sin bombeo.

Nivel dinámico: nivel del agua en el acuífero cuando existe una captación funcionando.

Nivel freático o libre: límite entre la zona saturada y la no saturada, que corresponde a la superficie freática que define el límite de saturación de un acuífero libre.

Nivel piezométrico o altura piezométrica: altura que alcanza el agua subterránea en un punto de un acuífero, sobre un plano de referencia, cuando se deja éste a la presión atmosférica. Se calcula como la altura del nivel del agua sobre el nivel del mar.

Palustre: lagunas, pantanos o zonas pantanosas.

Parálico: se aplica a las cuencas y a sus sedimentos, situados sobre riberas marinas; es utilizado particularmente para cuencas carboníferas costeras.

Permeabilidad: capacidad de un acuífero de conducir agua.

Piroclasto: material volcánico fragmentado, eyectado durante una erupción volcánica explosiva.

Porosidad: parte o porcentaje del volumen de poros lleno de agua en un acuífero.

Porfídicas: rocas magmáticas cuya estructura presenta cristales de gran tamaño dispersos en una masa afanítica.

Till: sedimento de origen glacial, compacto y con un contenido importante de limos y arcillas. Por lo general, los cordones morrénicos están formados por 'till'.

Transmisividad: capacidad de un medio para transmitir el agua y se determina como el producto de la permeabilidad por el espesor del acuífero.

Volcanoclástico: perteneciente a una roca clástica que contiene material volcánico en cualquier proporción sin importar su origen o ambiente.

Zona no saturada: parte del subsuelo bajo la superficie de la tierra y sobre el nivel de agua donde los poros contienen aire y pueden o no tener agua, pero no están totalmente saturados con agua.

APÉNDICE I
TÉRMINOS DE REFERENCIA

I. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACION DEL ESTUDIO

1. ANTECEDENTES

El desarrollo productivo y el crecimiento de la población de la Región de Los Lagos ha involucrado un importante aumento en la demanda de los recursos de aguas, ya sea para los procesos industriales, acuícolas, agrícolas y ganaderos, como para el consumo de su población, especialmente rural. Esta creciente necesidad del agua puede ser, en gran medida, satisfecha con la explotación de aguas subterráneas, cuyo potencial debe ser evaluado mediante estudios geológicos e hidrogeológicos.

La presente formulación de proyecto propone la confección de mapas hidrogeológicos a escala 1:250.000, que permitan evaluar el potencial de aguas subterráneas del territorio de la X Región comprendido en el Valle Central, donde se localizan los principales núcleos de desarrollo, ciudades y gran parte de los poblados rurales.

La evaluación del potencial de aguas subterráneas es necesaria puesto que ellas representan un importante recurso ante el aumento progresivo de la demanda de aguas, que se relaciona al crecimiento demográfico, uso urbano, agrícola, industrial, disponibilidad en periodos estivales e invernales y los usos alternativos. Además, y en general, las aguas subterráneas tienen una mejor calidad frente a la contaminación progresiva de las aguas superficiales.

Como parte de los trabajos geoambientales realizados por el SERNAGEOMIN, se ha generado información geológica e hidrogeológica en las áreas de Puerto Montt-Fruttillar y Osorno (SERNAGEOMIN, 1998; Pérez y otros, 2000). Actualmente, dentro del marco del Programa "Estudio Geológico y Geoambiental de Chiloé Insular y de la parte Occidental de la Novena Región", se está confeccionando la Cartografía Geoambiental, temática hidrogeológica y de síntesis, del área de Valdivia. La integración de toda la información hidrogeológica ya generada con nueva información que se obtendrá con la realización del proyecto aquí propuesto, generará un banco de datos de primera actualizado y moderno, útil para la solución de problemas de abastecimiento de aguas.

2. JUSTIFICACION DEL ESTUDIO

La falta general de interés acerca de las aguas subterráneas se debe a desconocimiento y a creencias que en el mediano y largo plazo los pozos profundos de aguas subterráneas se secan, o que los acuíferos drenan siempre hacia los ríos y se encuentran regulados naturalmente. En la Región de Los Lagos se ha producido un interés creciente en el abastecimiento de aguas a través de pozos profundos que explotan acuíferos. También se ha invertido en otros proyectos de captación de aguas, con considerables costos económicos, dejando en segundo plano la posibilidad de solucionar los problemas de abastecimiento con la utilización de aguas subterráneas o, lo que es muchas veces más

aconsejable, utilizando sistemas de uso mixto, es decir de aguas superficiales y subterráneas.

El estudio propuesto contempla avanzar en los estudios hidrogeológicos en la Región, especialmente en áreas socialmente sensibles y rurales. El estudio propuesto, a través de realizar la investigación y evaluación de los acuíferos existentes, permitirá investigar el potencial hidrogeológico de una parte importante de la X Región. El estudio propuesto permitirá una mejor evaluación el impacto geológico-hidrogeológico de la construcción del Puente sobre el Canal Chacao. Así, el estudio propuesto resulta relevante para el desarrollo urbano, industrial y territorial, actual y futuro, de la Región y, especialmente, del archipiélago de Chiloé. Los resultados del estudio propuesto serán una base necesaria para la generación de nuevas fuentes de abastecimiento de aguas subterráneas y constituirán elementos de consulta y apoyo permanente a la gestión de planificación regional, urbana y de obras viales de desarrollo regional.

La oportunidad de realizar el estudio entre los años 2005 y 2006 radica en aportar, dar valor agregado y apoyar los estudios hidrogeológicos realizados y utilizar la información geológica digital ya generada por el SERNAGEOMIN. El estudio propuesto aprovechará la inversión ya efectuada, una parte importante de los recursos humanos y la infraestructura existente de la Oficina Técnica de Puerto Varas del SERNAGEOMIN. De este modo, los requerimientos de inversión no son substanciales para la realización del estudio propuesto.

El estudio propuesto aumentará la conciencia ambiental frente al desarrollo, al manejo y uso del recurso de aguas subterráneas, lo cual mejorará la calidad de vida y economía de la Región. Se creará conciencia ambiental frente al tema de las aguas subterráneas, especialmente en la valoración y control de uso de fertilizantes y pesticidas agrícolas y/o cualquier compuesto contaminante por uso industrial en la Región, en el control de la calidad química del vertido de desechos industriales y en la ubicación y manejo de vertederos de residuos sólidos, comunales e intercomunales, entre otros. El SERNAGEOMIN difundirá toda la información generada, a través de ceremonia oficial de lanzamiento, seminario y charlas informativas.

II. TERMINOS DE REFERENCIA DEL ESTUDIO

1. IDENTIFICACION Y DESCRIPCION DEL ESTUDIO

La presente iniciativa de inversión desarrollará cartografía especializada de hidrogeología en todo el Valle Central de la Región de Los Lagos. Estos mapas hidrogeológicos incluirán, entre otra información, grado de importancia de los acuíferos, situación hidráulica, profundidades de las aguas subterráneas, niveles piezométricos, dirección del flujo, cuencas y divisorias de aguas subterráneas.

El proyecto generará un banco de información sobre antecedentes generales de los diferentes tipos de captaciones de aguas subterráneas, litológicos, pruebas de bombeo, niveles estáticos, químicos, así como eventuales fuentes de contaminación.

El estudio considera, además la realización de mapas de vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos e hidroquímicos.

2. OBJETIVO DEL ESTUDIO

OBJETIVO GENERAL

El objetivo del presente estudio es obtener un conocimiento integrado de los recursos de aguas subterráneas de una parte importante de la Región, para ser difundido a las autoridades gubernamentales y usuarios en general.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

Elaboración de mapas hidrogeológicos a escala 1:250.000 del Valle Central de la Región, con el propósito de definir, caracterizar y evaluar los acuíferos existentes. Estos mapas incluirán la profundidad y altura, con respecto al nivel del mar, del agua subterránea, divisorias de agua subterránea, dirección y velocidad de escurrimiento, lo cual, por ejemplo, ayuda a la colocación de pozos y para identificar la posible ruta de un contaminante, entre otros aspectos.

Elaboración de mapas de vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos e hidroquímicos, que permitan evaluar el riesgo de posible contaminación y la composición, clasificación y calidad química de las aguas subterráneas, respectivamente.

Definición de las zonas más aptas para la explotación de dicho recurso, así como también, las áreas de reservas. Las zonas de reservas serán evaluadas, por ejemplo, frente a problemáticas actuales, tales como pozos de lastre, conflicto frente a otros recursos naturales, eventuales sequías, salinidad de los acuíferos, vulnerabilidad con respecto a eventual contaminación por vertido accidental o irracional de contaminantes y fertilizantes.

Definición de focos de contaminación y áreas que, desde el punto de vista hidrogeológico, son más adecuadas para la ubicación de vertederos de residuos sólidos.

Definición e individualización de recomendaciones que ayuden al manejo adecuado, sustentable y de protección de este recurso, para asegurar su uso racional en el contexto de ordenamiento territorial.

3. LOCALIZACION Y COBERTURA DEL ESTUDIO

El estudio se realizará en el valle central de la Región de Los Lagos, tanto continental como insular, que considera una amplia zona de la Depresión Intermedia de Chile, rellena de depósitos no consolidados, los cuales, en general constituyen acuíferos de alta importancia como recurso. En el área de estudio se sitúan, entre otras, las ciudades de Paillaco, La Unión, Río Bueno, Osorno, Río Negro, Purranque, Puerto Octay, Frutillar, Puerto Varas, Puerto Montt, Ancud, Castro y numerosas comunidades rurales.

4. VARIABLES QUE SERAN ANALIZADAS EN LA REALIZACIÓN DEL ESTUDIO

Las principales variables que serán analizadas en el presente estudio son: distribución, extensión, litología, situación estratigráfica e importancia de las unidades hidrogeológicas, profundidad de las aguas subterráneas, altura del agua subterránea con respecto al nivel del mar, dirección del flujo, conexión hidráulica con los ríos, composición y calidad química de dichas aguas.

5. PLANIFICACION Y DESCRIPCION DE LAS ACTIVIDADES

Las principales actividades que se deben realizar en el desarrollo del estudio son las siguientes:

- a. Recopilar antecedentes obtenidos de biblioteca como de instituciones públicas, principalmente de la DGA con la cual el SERNAGEOMIN tiene un convenio firmado sobre intercambio de información, además de ESSAL y Gobierno Regional.
- b. Trabajo de terreno con el propósito de verificar los antecedentes técnicos de las captaciones de agua recopiladas; realizar mediciones de coordenadas, cota, nivel estático, conductividad, pH, Eh, oxígeno, fosfatos y/o amonio; y recolección y análisis de muestras de aguas subterráneas representativas de cada acuífero.
- c. Traspaso de información a base de datos.
- d. Generar mapas topográficos y geológicos digitales a escala 1: 250.000 y 1: 100.000, en zonas de interés.
- e. Elaborar mapas hidrogeológicos.
- f. Elaborar mapas de vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos.
- g. Preparar mapas hidroquímicos con la distribución de las concentraciones de los principales iones definidas en un(os) acuífero(s).
- h. Elaborar texto, con sus respectivas figuras y tablas.

6. METODOLOGIA DE LAS ACTIVIDADES DEL ESTUDIO

La metodología de trabajo desarrollada para el logro del objetivo del estudio implica un proceso de recopilación y clasificación de la información que se debe validar y completar en terreno, para luego sistemáticamente incorporarla en una

base de datos, insumos necesarios para la elaboración de mapas hidrogeológicos y tablas de sus principales características.

7. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

El proyecto está planificado para desarrollarse en dos años, a partir del 1º de enero de 2005, las actividades generales contempladas por el proyecto, en forma anual y resumida corresponden a las siguientes:

Año 2005

- Definición y preparación de los grupos humanos y programas de trabajo.
- Exhaustiva recopilación de los antecedentes tanto en instituciones públicas como privadas, por ejemplo, DGA, ESSAL, Gobierno Regional, Aguas Décima y Empresas perforadoras, entre otros.
- Preparación de la cartografía topográfica y geológica digital a escala 1:250.000 y 1:100.000, estas últimas en zonas más sensibles o relevantes desde el punto de vista del potencial y vulnerabilidad.
- Exhaustiva recopilación de información en terreno incluyendo mediciones técnicas y análisis de parámetros físico-químicos de las aguas subterráneas, en los pozos recopilados.
- Recolección de 370 muestras de agua subterránea. Análisis químicos de las aguas en laboratorio, tanto por elementos inorgánicos (250 análisis), orgánicos (100 análisis) a seleccionar como isótopos (20 análisis).
- Reconocimiento y caracterización de las unidades hidrogeológicas en terreno, para lo cual se realizan descripciones de cortes litológicos (carreteras, pozos de áridos, quebradas, valles entre otros) y análisis granulométrico de los sedimentos colectados en terreno (aproximadamente 100 muestras).
- Identificación y distribución de las posibles fuentes contaminantes.
- Mediciones de cota con GPS diferencial
- Generación de un banco de datos especializado, aunque de fácil acceso, con información relativa a los antecedentes sobre pozos de aguas subterráneas realizados en el Valle Central, incluyendo información sobre ubicación, pruebas de bombeo, caudal, profundidad del nivel estático, estratigrafía del pozo, eventuales fuentes de contaminación, entre otros.
- Traspaso de información a base de datos.

Año 2006

- Trabajo de muestreo y medición en terreno de pozos seleccionados, relevantes y claves para la interpretación de los datos.
- Caracterización y clasificación hidroquímica de las aguas, tanto por elementos inorgánicos como eventualmente orgánicos.
- Construcción de columnas y perfiles hidrogeológicas
- Definición de las principales fuentes de contaminación.

- Preparación de Mapas Hidrogeológicos, incluyendo las isopropundidades, isopiezas, dirección preferencial de escurrimiento, cuencas de aguas subterráneas, zonas en conflicto con otras actividades.
- Elaboración de Mapas de Vulnerabilidad a la Contaminación de Acuíferos.
- Preparación de Mapas Hidroquímicos de concentraciones de iones definidas para un(os) acuífero(s).
- Definición de potencial, áreas de reservas y áreas de conflictos.
- Preparación de informe para publicación con texto, figuras y cartografía final.
- Proposición de diseño de una red de piezómetros de investigación para el control de niveles, calidad y estudios del funcionamiento de los acuíferos.

8. RESULTADOS ESPERADOS

Con la realización del proyecto propuesto se dispondrá de cartografía especializada relativa a hidrogeología de todo el Valle Central de la Región, que podrá ser utilizada como información valiosa de consulta en la planificación del uso de los recursos de aguas subterráneas. También podrá ser consultada durante la toma de decisiones que adopten autoridades y profesionales de la región para la planificación del abastecimiento del recurso hídrico, del desarrollo regional y del ordenamiento territorial.

Difusión de los Resultados

La cartografía hidrogeológica será preparada digitalmente utilizando GIS (Sistemas de Información Geográfica, Arc-View y Arc-Info), disponibles en la Oficina Técnica Puerto Varas del SERNAGEOMIN. La base de datos que la soporta será preparada en ACCESS y estará disponible a los potenciales usuarios. Los mapas obtenidos y las bases de datos asociadas serán difundidas a autoridades, empresas públicas y privadas y público en general, tanto en papel como en formato digital, estos últimos en discos ópticos. Los resultados finales, incluida la cartografía serán compilados y publicados por el SERNAGEOMIN.

Los principales beneficiarios de los resultados del estudio serán las autoridades Regionales, Provinciales y Comunales, tales como Intendencia, GORE, Gobernaciones, SECPLAC y Secretarías Regionales Ministeriales. También se beneficiarán los industriales, los Comités de Agua Potable Rural, los planificadores de nuevos proyectos de inversión, Ministerios (Obras Públicas y su Dirección de Obras Hidráulicas, MIDEPLAN, entre otros), diversas Instituciones y Corporaciones (CONAF, SERNATUR, CONAMA) y Empresas Públicas y Privadas (ESSAL, Aguas Décima).

El objetivo económico del estudio propuesto es generar y consolidar bancos de datos hidrogeológicos que permitan generar cartografía que sirva de complemento y apoyo a la exploración y explotación de aguas subterráneas. También se pretende avanzar en la capacitación de profesionales chilenos en hidrogeología y uso de SIG en geología y medio ambiente, que puedan continuar aportando sus conocimientos en la Región.

También, serán difundidos entre empresas privadas interesadas en la materia, tales como empresas de servicios de agua potable (por ejemplo ESSAL), empresas perforadoras de pozos profundos y otras con actividades de acuicultura, ganadería, agricultura. La información será propagada en las Universidades de la Región.

De acuerdo con los resultados, se debe tener presente la dinámica de la información y su vulnerabilidad frente a la naturaleza y el hombre, para lo cual es necesario tener en cuenta la actualización periódica de la información hidrogeológica, para registrar la evolución de las diversas características de los acuíferos, como niveles de agua, composición química, calidad y explotación. La actualización de la información deberá realizar de manera más local en áreas donde, en un determinado periodo, se verifique cambios notables en la situación dinámica o de contaminación del o los acuíferos. Para realizar esta actualización, el SERNAGEOMIN hará todos los esfuerzos para conseguir o asignar los recursos humanos y los fondos económicos necesarios.

III. PRESUPUESTO DETALLADO

1. RECURSOS NECESARIOS PARA LA EJECUCION DEL ESTUDIO

Recursos humanos

El tipo de personal involucrado en el Estudio de Inversión considera contratar 1 geólogo-hidrogeólogo. El personal de computación, administrativo y de apoyo necesario sería el mismo que actualmente desarrolla el proyecto “Estudio Geológico y geoambiental de Chiloé Insular y de parte Occidental de la Novena Región”, parte del cual también ha realizado trabajos en la Región y que mantiene experiencia de al menos 6 años en la realización de estudios geológicos en el centro-sur de Chile.

La remuneración de los 1 geólogo - hidrogeólogo, ascendería a M\$ 1. 200, por un total de 24 meses/ hombre, para la realización del Estudio en los años 2005 y 2006. En el cuadro siguiente se muestra los requerimientos de meses hombre que se han estimado para la realización de este Estudio:

REQUERIMIENTOS DE MESES HOMBRE

Tipo de personal	Cantidad meses/hombre
Profesional	24 (1 geólogo)
Profesional	12 (1 geólogos desde Personal de P. Varas).
Experto Computación, chóferes	12 (obtenidos desde Personal de P. Varas)
Administrativo -secretaria	12 (chofer, alarife, obtenido desde P. Varas)
TOTAL	60 meses/ hombre

PRESUPUESTO DETALLADO PARA LOS AÑOS DE EJECUCIÓN DEL ESTUDIO

APORTE NOMINAL DEL SERNAGEOMIN

ITEM	UNIDADES	PRECIO UNITARIO	VALOR TOTAL (M\$)
Personal			
-Profesionales:			
• 1 Geólogo con experiencia en hidrogeología	24	1.200	28.800
• 1 Geólogo	12	1.200	14.400
- Técnicos:			
▪ Experto en Computación	6	300	1.800
▪ Chóferes	6	200	1.200
▪ Administrativo	6	100	600
- Secretarias	6	200	1.200
TOTAL	60	3.200	48.000

APORTE REAL DE FNDR

ITEM	UNIDADES		CANTIDAD		VALOR TOTAL (M\$)
Ejecución de actividad					
▪ Análisis de Laboratorio análisis y granulometría	470		24.000		24.000
▪ Otros Gastos Operacionales					6.000
▪ Materiales y Suministros (insumos)					15.000
▪ Gastos de Impresión/Publicación.					4.000
Difusión (Lanzamiento oficial, charlas, seminarios, taller)					8.000
Sub Total (Contratación del Estudio)					57.000
Gastos Administrativos (viáticos, arriendos vehículos y notebooks reproducción)					3.000
TOTAL					60.000

2. COSTOS DEL ESTUDIO

Los costos asociados con el presente estudio serán financiados con recursos propios y del Fondo Nacional de Desarrollo Regional, FNDR, de la Región de Los Lagos, para poder elaborar los productos comprometidos, siendo el valor total solicitado para la realización de este Estudio por M\$ 60.000, el que se muestra en el siguiente Presupuesto:

Presupuesto solicitado al FNDR

M\$

ITEM	2005	2006	TOTAL
Análisis de Laboratorio	12.000	12.000	24.000
Gastos de ejecución	3.000	3.000	6.000
Materiales y Suministros	10.000	5.000	15.000
Gastos de Impresión	1.000	3.000	4.000
Gastos de Difusión	3.000	5.000	8.000
Gastos de Administración	1.000	2.000	3.000
TOTAL	30.000	30.000	60.000

Costo Total de Operación y Personal (2005-2006) M de \$ 60.000.
Justificación de los Gastos

▪ **Gastos de Laboratorio**

La realización del estudio implica recolección de 370 muestras, a las cuales aproximadamente 250 serán para análisis químicos de elementos mayores y trazas para caracterización hidroquímica y clasificación de las aguas, aproximadamente 100 análisis serán para elementos orgánicos seleccionados para definición de principales fuentes de contaminación y aproximadamente 20 análisis serán para isótopos de hidrogeno y oxígeno para caracterización isotópica a objeto de definir evolución y origen de las aguas. Lo anterior tiene un costo muy significativo en el costo total del proyecto. Se considera, además, la realización de aproximadamente 100 análisis granulométrico de sedimentos a objeto de caracterizar permeabilidad, porosidad y rasgos sedimentológicos de algunos acuíferos.

▪ **Gastos de Ejecución e Insumos**

Fundamentalmente se consideran los costos de insumos para recolección, preparación y envío de muestras a laboratorio; y costos asociados a la preparación de mapas y textos, perfiles, columnas, informes técnicos, preparación de Banco de Datos e información digital, tanto en primeras versiones, como en versiones corregidas.

▪ **Gastos de Administración**

Se refiere fundamentalmente a los gastos asociados a viáticos, arriendos de vehículos y notebooks, reproducción y anillados de informes.

▪ **Gastos de Impresión y Publicaciones**

Se refieren a los gastos de impresión y publicación de los Mapas digitales finales y de los textos de informes de avance, anual y final.

▪ **Gastos de Difusión**

Incluye los gastos asociados con la ceremonia de presentación de los resultados generales del estudio, con los correspondientes desembolsos para financiar tal evento, al que concurrirán autoridades Gubernamentales Regionales y Nacionales. También, considera la organización y realización de un seminario regional y al menos 5 charlas informativas a autoridades y comunidades.

• **Contraparte Técnica e Informes de Avances**

Las contrapartes técnicas serán la Dirección de Obras Hidráulicas, la SEREMI de Agricultura y el Gobierno Regional de la región de Los Lagos. Se emitirán informes técnicos y contables de avance a los seis y dieciocho meses de ejecución, además de un informe anual al término del primer año y un informe final a fines del segundo año de ejecución. Eventualmente, en los informes de avances se incluirá información adicional recolectada en áreas de la Cordillera de la Costa aledañas al Valle Central.

- **Flujo de Caja**

Primer año

\$ 15 millones a la firma del Convenio Mandato por parte de Srs. Intendente Región de Los Lagos y Director Nacional del SERNAGEOMIN.

\$ 15 millones una vez aprobado primer informe técnico y contable de avance (septiembre 2005).

Segundo año

\$ 15 millones una vez aprobado primer informe técnico y contable anual (diciembre 2005).

\$ 15 millones una vez aprobado segundo informe técnico y contable anual (junio 2006).

- **Representante Financiero**

Sr. José Farías. Jefe de Administración y Finanzas del SERNAGEOMIN, Av. Santa María 0180, Santiago.

- **Representante Técnico**

Sr. Jorge Muñoz, Jefe Oficina Técnica Puerto varas, Av. La Paz 406, Puerto Varas.

REFERENCIAS DEL ESTUDIO

Pérez, Y.; Troncoso, T.; Milovic, J.; Helms, F.; Toloczyki (2000). Geología Ambiental del Area de Osorno. Servicio Nacional de Geología y Minería, Informe Registrado IR-00-19, 48 p., 9 mapas escala 1:100.000. Santiago.

SERNAGEOMIN (1998). Mapa Geoambiental Preliminar del Área Puerto Montt. En Estudio Geológico-Económico de la X Región Norte. Servicio Nacional de Geología y Minería, Informe Registrado IR-98-15, Vol. 5, 8 mapas escala 1:100.000. Santiago.

APÉNDICE II

RESULTADOS RELEVANTES PARA HOJAS VALDIVIA, OSORNO, PUERTO MONTT Y CASTRO

HOJA VALDIVIA

La Hoja Valdivia se ubica entre los paralelos 39°00' y 40°00'S y los meridianos 73°45' y 72°00' W (Fig. 6). El estudio realizado en esta área cubre una superficie aproximada de 1.850 km² e incluye la ciudad de Valdivia, las localidades de Corral, Niebla y Pelchuquín, además de otros centros poblados menores. La zona se sitúa en la unidad morfológica de la Cordillera de la Costa, e incluye la depresión San José de la Mariquina, en la que se emplaza el valle del río Cruces, y la depresión Valdivia, localizada en la intersección de los ríos Cruces, Calle-Calle y Valdivia, donde se ubica el principal centro urbano del área. Estos ríos forman parte de un sistema de estuario que desemboca en la bahía de Corral y cuya cuenca hidrográfica tiene una superficie total aproximada de 11.120 km². El Banco de Datos SIGAM contiene 240 análisis químicos y fisicoquímicos de aguas del área de Valdivia.

La geología de esta zona incluye depósitos cuaternarios de origen glacial, estuarino, fluvial y litoral, sedimentitas marinas y continentales del Mioceno, rocas intrusivas del Cretácico y rocas metamórficas del Paleozoico-Triásico. La historia geológica cenozoica de esta zona se caracteriza por el desarrollo de una cuenca sedimentaria, compartimentada en numerosos depocentros, con una fuerte influencia tectónica y numerosos subsidencias y alzamientos del terreno.

El análisis de la estratigrafía del subsuelo del área de Valdivia permitió definir acuíferos de alta a baja importancia, tanto en depósitos no consolidados como en roca. Los depósitos glaciofluviales de la penúltima glaciación y sedimentarios del último interglacial, constituyen los acuíferos más productivos y con mejor calidad de agua. La vulnerabilidad para tales acuíferos es baja a muy baja, dependiendo del espesor de la cobertura. Se recomienda proteger algunos sectores donde están presentes estos acuíferos, con el fin de preservar la calidad y cantidad del recurso disponible para su eventual utilización como fuente de agua potable. Los acuíferos libres de alta importancia en depósitos glaciofluviales de las dos últimas glaciaciones, son de vulnerabilidad alta a extrema, por lo que se recomienda fiscalizar la disposición de residuos derivados de actividades industriales y urbanas, el uso de fertilizantes y pesticidas y la extracción de áridos. Los acuíferos libres de media importancia en roca fisurada presentan vulnerabilidad moderada, por lo que se debe evitar la instalación de vertederos de residuos sólidos y proveer sistemas de alcantarillado a las comunidades en creciente desarrollo.

En la Hoja Valdivia el trabajo de terreno se concentró en las áreas de San José de la Mariquina y Valdivia, donde se ubican las unidades hidrogeológicas de mayor importancia, y con menor énfasis en los sectores de Lanco y Los Lagos.

En las áreas de Valdivia y San José de la Mariquina la unidad hidrogeológica de mayor importancia corresponde al sistema de acuíferos //A3//A1 compuesto de dos acuíferos confinados a semiconfinados: un acuífero superior en depósitos fluvio-estuarinos del último período interglacial (Plfe) y un acuífero inferior en depósitos glaciofluviales de la Glaciación Santa María (Plgf2), separados por estratos de arcillas impermeables de 6 a 30 m de espesor, pertenecientes a los depósitos fluvioestuarinos. Si bien se considera que ambos acuíferos son independientes, no se descarta la posibilidad de una conexión

hidráulica entre ellos, debido al acuíñamiento de los estratos arcillosos o a paleocanales que erosionaron las arcillas y depositaron sedimentos más permeables. Además, existe conexión hidráulica entre ambos acuíferos a través del espacio anular de los propios sondajes, que impide la medición de niveles estáticos del acuífero inferior en forma independiente. Estos acuíferos, de alta importancia hidrogeológica sobretodo por su extensión y espesor, presentan una cubierta impermeable protectora de espesor variable, por lo que presentan una baja vulnerabilidad a la contaminación.

En los sectores de Las Gaviotas-Las Mulatas, al sur de la zona urbana de Valdivia, y El Bayo, al oeste de la isla Teja, sólo se reconoce la parte superior de esta secuencia, con el acuífero //B2 confinado en depósitos arenosos pertenecientes a los depósitos del periodo interglacial (Plfe).

Dentro de esta cubierta de baja permeabilidad que cubre el acuífero confinado superior, se encuentran acuíferos colgados, generalmente albergados en los estratos fracturados de “cancagua”, una arenisca bien consolidada y fracturada, muy bien reconocida en la zona, y que son explotados intensamente mediante norias tanto el sector de Pelchuquín-San José de la Maquina-Máfil, como en el área urbana de Valdivia (sector Las Gaviotas-Las Mulatas) y en el sector de El Bayo, al oeste del río Cruces.

En la cuenca del río Cruces, entre Lanco y la confluencia del río San José, al suroeste de San José de la Mariquina, se distingue el acuífero A2/A1 libre en depósitos fluviales y glaciofluviales (PIHf, Plgf1, Plgf2) altamente permeables, que son explotados mediante pozos profundos de gran caudal, tanto industriales como para el abastecimiento de las localidades pobladas. Se presume que este acuífero presenta una alta vulnerabilidad a la contaminación debido a su carácter libre y su nivel freático somero.

En el área de Los Lagos-Folilco se distingue un acuífero A2 libre en arenas y gravas correspondientes a depósitos fluvioglaciales de la última glaciación (Plgf1), explotado mediante pozos profundo y norias.

Al sur del río Cayumapu, se distingue un acuífero libre en roca fisurada C1, de menor importancia y que se explota mediante norias y vertientes.

Durante el trabajo de terreno se visitaron 136 captaciones de agua subterránea localizadas en las unidades hidrogeológicas mencionadas, incluyendo pozos profundos, norias y vertientes, y se colectaron 163 muestras de agua, 4 de las cuales corresponden a duplicados para control del laboratorio.

Los caudales máximos de explotación, concedidos en los derechos de agua, para estos pozos varían entre 1 y 150 l/s, dependiendo del acuífero en que se encuentran. En general, los máximos caudales se encuentran en el acuífero libre localizado en la cuenca del río Cruces, entre Lanco y la confluencia con el río San José y corresponden a los pozos profundos de la Empresa Celulosa Arauco, Planta Valdivia.

Las profundidades varían desde 1,8 m en una noria localizada en el acuífero colgado en “cancagua”, en la ribera norte del río Cruces, hasta 137 m en un pozo profundo que perfora la secuencia de dos acuíferos confinados en el sector al suroeste de Pelchuquín (Pozo Las Quemadas de la Empresa Sone).

Los valores de pH medidos en terreno varían entre 5,29 y 9,07, con un promedio de 6,8, donde las aguas más ácidas se encontrarían en una noria en el

acuífero en roca fisurada al sur del río Cayumapu, mientras que las más alcalinas corresponden a un pozo en desuso en sector de Pufudi, lo que explicaría este valor extremo de pH.

La conductividad medida en terreno varía entre 24 y 2.420 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con 147,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ promedio (excluyendo dos valores superiores a 1.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ que se deben al proceso de intrusión salina que compromete al acuífero confinado en el sector de Las Mulatas). El mínimo valor medido de conductividad corresponden a la misma noria en rocas fisuradas al sur del río Cayumapu que presenta el más bajo valor de pH. En general, las conductividades son mayores en los pozos profundos en acuíferos confinados que en las norias que perforan acuíferos libres y colgados.

El oxígeno disuelto se encuentra entre 0,83 y 7,86 mg/l, ambos valores se localizan en el acuífero libre en depósitos glaciofluviales de la cuenca del río Cruces, aunque en el primer caso el pozo se localiza en un sector donde solo se interceptan los depósitos de la penúltima glaciación (Plgf2), mientras que el valor más alto se encuentra en un pozo en depósitos de la última glaciación (Plgf1). Sin embargo, los contenidos de oxígeno están altamente condicionados por las condiciones de extracción de la muestra.

El fosfato se encuentra entre <0,25 y 3 mg/l, con 0,69 mg/l de promedio, donde los mayores valores corresponden al acuífero confinado en el sector localizado al suroeste de Pelchuquín. El amonio se presenta con concentraciones entre <0,05 y >5 mg/l, con un promedio de 0,7 mg/l para el amonio, donde el mayor valor se localiza en el acuífero confinado del sector Las Mulatas.

Las concentraciones de calcio varían entre 1,8 y 153 mg/l, con un promedio de 11,2 mg/l y las de magnesio se encuentran entre 0,35 y 17,9 mg/l, con un promedio de 6,62. Estos dos elementos tienen una correlación directa ($R=0,99$). Los mayores valores de estos iones corresponden al acuífero afectado por intrusión salina del sector Las Mulatas y los inferiores a un pozo profundo en el sector de Paillao, ambos pozos perforan el mismo acuífero, aunque probablemente la profundidad del pozo Paillao es de sólo 20 m, mientras que el del sector Las Mulatas es de 86 m. Además, este último se encontraría próximo a una estructura que estaría condicionando el proceso de intrusión.

El proceso de intrusión salina también condiciona las altas concentraciones de otros iones tales como sodio, que en general varía entre 3,45 y 335 mg/l, cloruro, que se encuentra entre 1,8 y 758 mg/l, y las altas conductividades, de hasta 2.420 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Además, en uno de los pozos del sector Las Mulatas se observó la presencia de carbonato en una concentración de 16,7 mg/l, ión que no se encuentra presente en ninguna otra muestra analizada.

Los pH determinados en laboratorio varían entre 8,1 y 4,6, confirmando lo observado en terreno, en el sentido de que las norias en acuíferos colgados del sector de San José de la Mariquina-Máfil-Pelchuquín, presentan las aguas más ácidas, con pH promedio de 6,1 y un mínimo de 5,3. Esta acidez se debería a su recarga directa por la infiltración del agua de lluvia a través de suelos ácidos y con alto contenido de materia orgánica.

Excluyendo a los pozos del sector afectado por intrusión salina, los valores promedio más altos de conductividad (179 $\mu\text{S}/\text{cm}$) se encuentran en pozos profundos que perforan los acuíferos confinados en el sector de Pelchuquín-Máfil,

parámetro que tiene una muy buena correlación con el total de sólidos disueltos (TSD, $R=0,99$), por lo que este parámetro es indicativo de la alta presencia de iones en disolución, tales como bicarbonato (94,3 mg/l promedio) y algunos metales como hierro (2,195 mg/l promedio), manganeso (0,357 mg/l promedio), arsénico (0,011 mg/l promedio) y excepcionalmente cobre (0,179 mg/l) y zinc (hasta 6,7 mg/l). Estas concentraciones se deberían, probablemente, a ambiente reductor condicionado por su carácter confinado y posiblemente por la presencia de materia orgánica, lo que permite que ciertos iones, como el hierro, se encuentren disueltos. Por otra parte, altos valores de TSD indicarían flujos regionales, que permiten la disolución de minerales presentes en rocas y depósitos por los cuales circulan.

La conductividad y TSD alcanzan sus valores promedio más bajo en norias en acuíferos colgados del sector de San José (81 uS/cm y 53,53 mg/l, respectivamente), parámetros que también son bajos, en general, en pozos profundos del sector El Bayo, lo que estaría indicando una recarga relativamente directa de la lluvia o de poca capacidad o posibilidad de disolución de minerales durante su circulación en los acuíferos.

Con relación a la Norma Chilena para agua potable (NCh 409/1; INN, 1984), algunas muestras colectadas superan los valores establecidos para el pH (sobre o bajo los valores establecidos), nitrato, hierro, manganeso y excepcionalmente zinc.

La mayor parte de las muestras que tienen pH ácido se encuentran en el sector de San José-Máfil, correspondiendo a norias, o en el sector del Bayo. Estos valores corresponderían a concentraciones naturales. Sólo se distingue una muestra donde el agua es alcalina, que corresponde a un pozo afectado por intrusión salina en el sector Las Mulatas.

Los valores de nitrato que superan la NCh 409/1 se concentran en torno al río Cruces, en noria y vertientes, y tendrían su origen en la recarga directa de este río o se deberían al extensivo uso de fertilizantes en este sector. Además, se encuentran altas concentraciones de nitrato en los pozos profundos de la localidad de Pelchuquín y que abastecen de agua potable a esta villa. Debido a que estos pozos se encuentran en un acuífero confinado, estos altos contenidos son más atribuibles a la falta de alcantarillado de esta localidad, con la consiguiente descarga directa al subsuelo, más que al uso de fertilizantes.

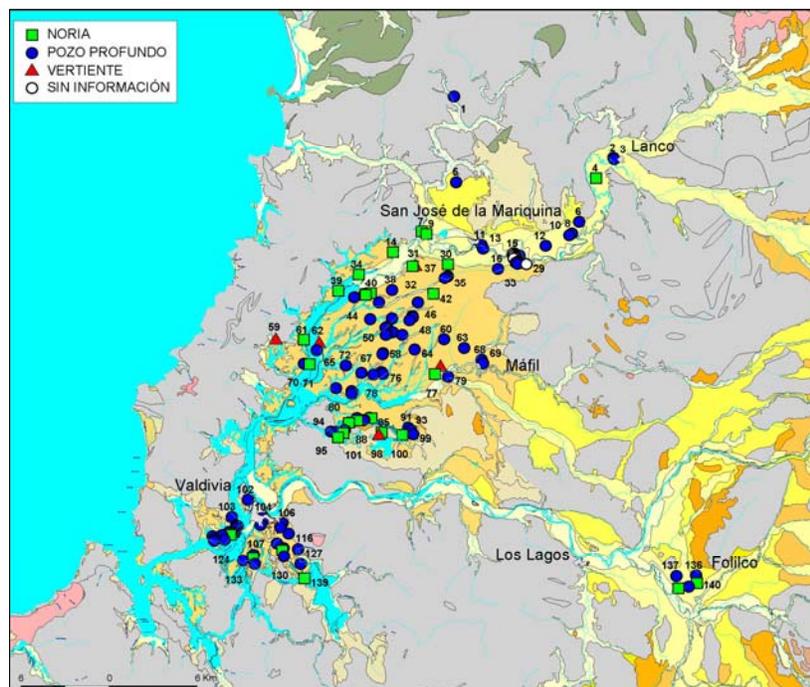
Altas concentraciones de nitrato se encuentran también en dos pozos de la zona urbana de Valdivia, uno de los cuales corresponde al Hospital Regional, que se atribuyen a la actividad urbana y posibles fugas del alcantarillado. Otro pozo afectado se ubica en el sector del Bayo, posiblemente por actividad agrícola.

El hierro y manganeso también superan la norma en diversos pozos que perforan los acuíferos confinados de las áreas de Valdivia y San José-Pelchuquín-Máfil, cuyos orígenes, se atribuyen, en general a factores naturales y no antrópicos.

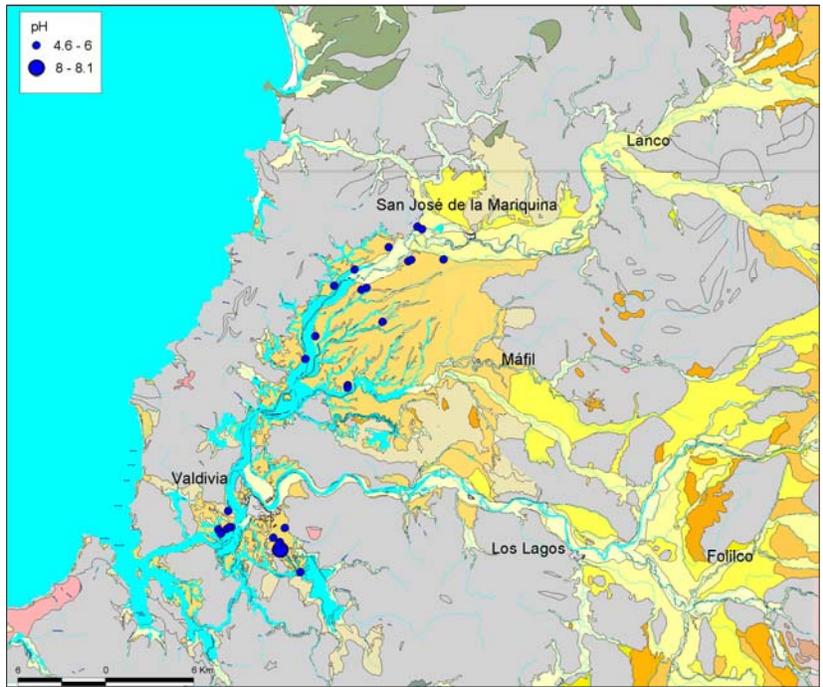
En la hoja Valdivia, se recomiendan las siguientes áreas para realizar estudios hidrogeológicos de detalle a fin de determinar y controlar fuentes de contaminación o determinar características hidrogeológicas y establecer normas de explotación:

- Área urbana de Valdivia: se recomienda estudiar el origen de la contaminación por nitratos y controlar las fuentes emisoras.

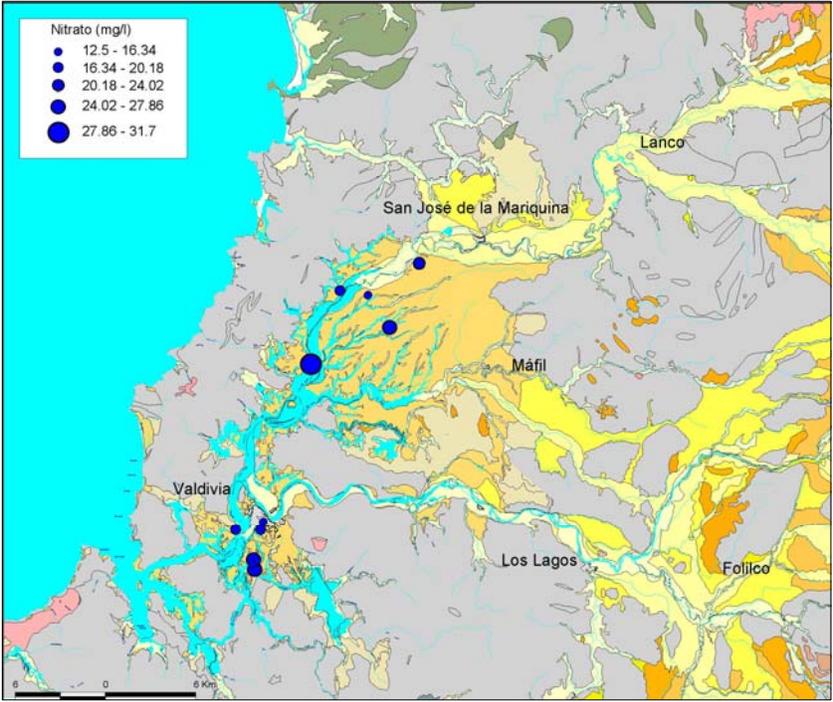
- Localidad de Pelchuquín: se recomienda estudiar el origen de la contaminación por nitratos y controlar las fuentes emisoras.
- Sector El Bayo: estudiar el origen de la incipiente contaminación por nitratos de estas aguas, en general, de excelente calidad, como lo demuestran sus bajas conductividades y contenido de sólidos disueltos (TSD), lo que las hace aptas como reserva para agua potable para la ciudad de Valdivia. Por lo anterior, se debería estudiar y regular la explotación del acuífero en esta área.
- Sector Las Mulatas: se recomienda estudiar el proceso de intrusión salina que afecta esta área, establecer caudales límites de extracción y profundidades máximas de perforación, a fin de evitar la extensión de la cuña salina hacia otros sectores.
- Cuenca del río Cruces: se recomiendan estudiar la influencia de las aguas subterráneas en el caudal del río Cruces, y por ende en el humedal, a fin de establecer normas de protección ante la contaminación de estos acuíferos de alta vulnerabilidad, junto con regular las condiciones y caudales de extracción en captaciones que explotan estos acuíferos
- Cuenca del río Leufucade-Cruces: se recomienda el área comprendida por el sistema de acuíferos libre A2/A1 como zona de reserva para la extracción de agua potable para abastecer las localidades aledañas.



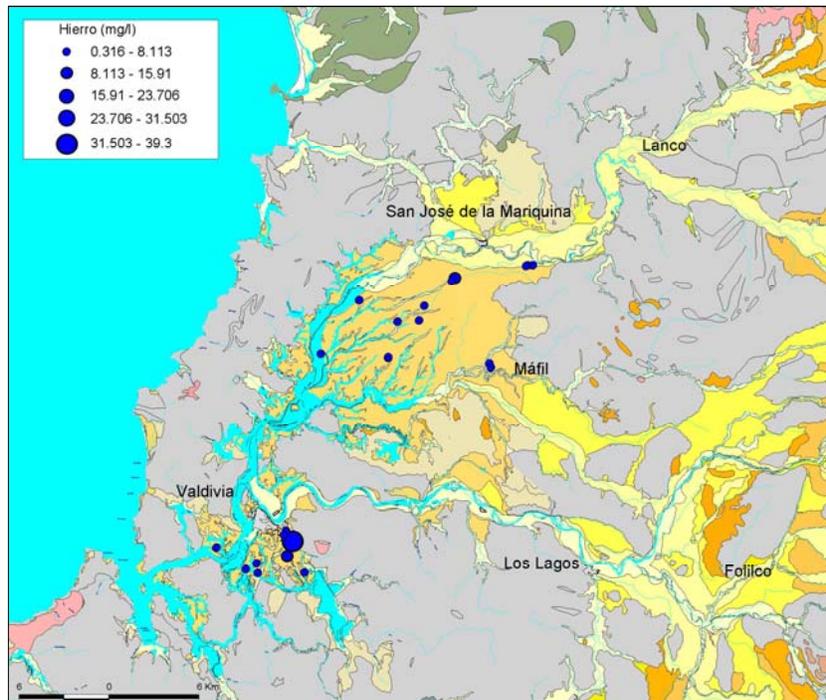
Ubicación de captaciones de aguas subterráneas.



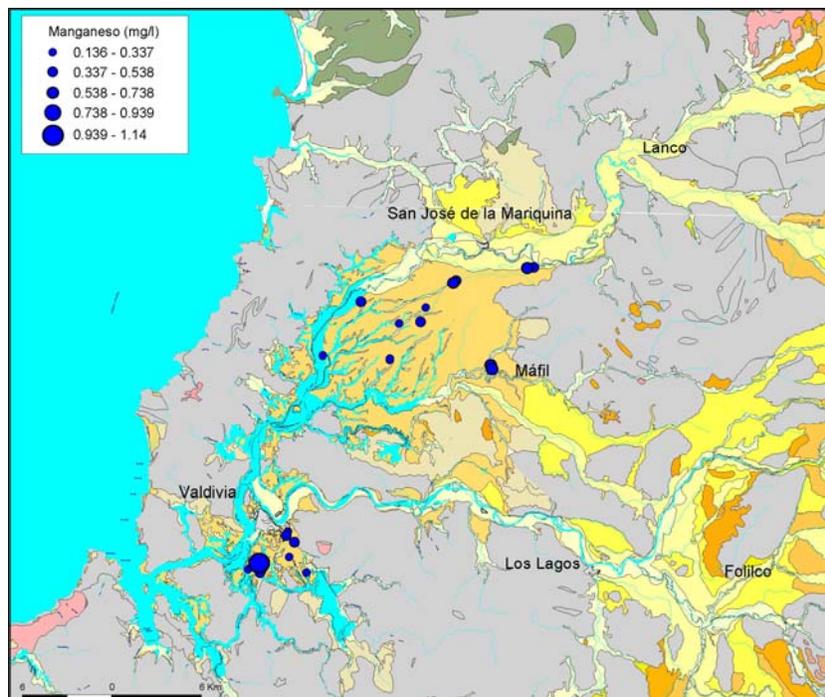
Distribución de captaciones con muestras de agua que superan la NCh 409/1 para el pH.



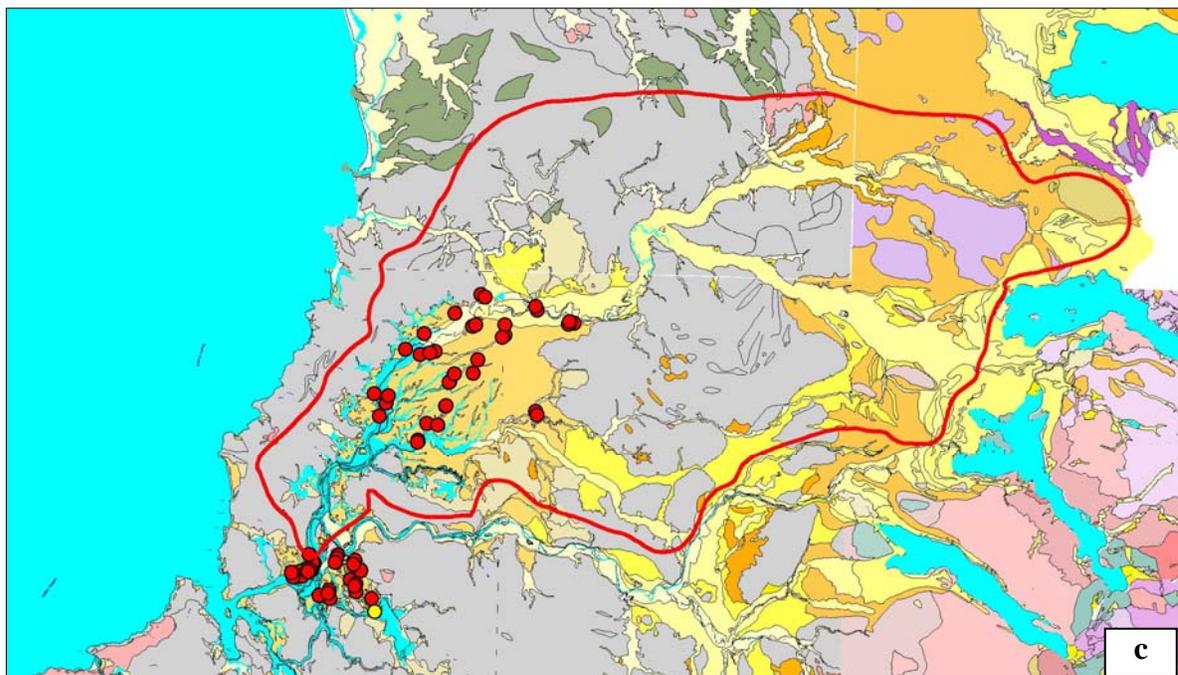
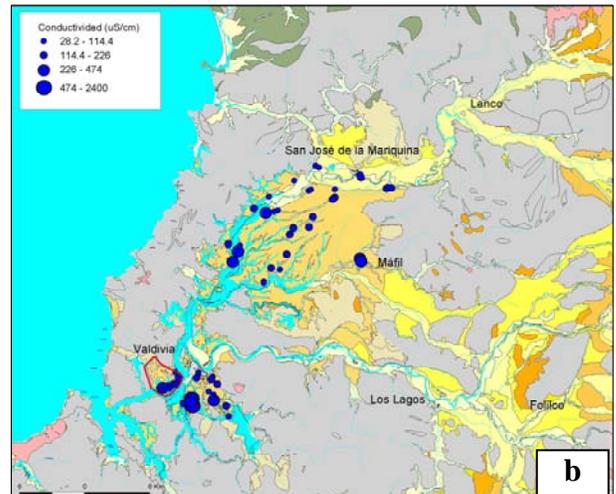
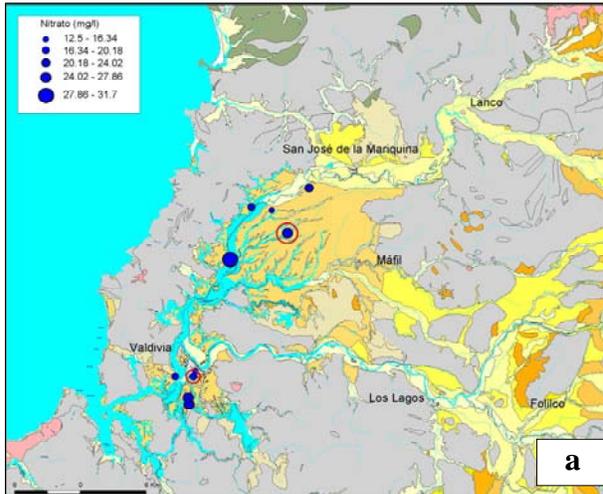
Distribución de captaciones con muestras de agua que superan la NCh 409/1 para el nitrato.



Distribución de captaciones con muestras de agua que superan la NCh 409/1 para el hierro.



Distribución de captaciones con muestras de agua que superan la NCh 409/1 para el manganeso.



a) Áreas a investigar por contaminación con nitratos en la zona urbana de Valdivia y Pelchuquín b) Áreas a investigar y establecer normas de extracción en los sectores El Bayo y Las Mulatas c) Área a investigar, proteger y establecer normas de extracción en la cuenca del río Cruces.

HOJA OSORNO

La Hoja Osorno se ubica entre los paralelos 40°00' y 41°00'S y los meridianos 74°00' y 71°30' W (Fig. 6). El área abarca parte de las provincias de Osorno y Valdivia, así como de las comunas de Paillaco, Futrono, La Unión, Río Bueno, Osorno, Río Negro, Puyehue y Puerto Octay. Los centros urbanos incluidos en esta hoja corresponden a las ciudades de Osorno (145.475 habitantes; INE, 2002), La Unión (39.447 habitantes; INE, 2002), Paillaco (19.237 habitantes; INE, 2002), Río Negro (14.732 habitantes; INE, 2002), Purranque (20.705 habitantes; INE, 2002), Puerto Octay (10.236 habitantes; INE, 2002) y Río Bueno (32.697 habitantes; INE, 2002).

En esta área, el tema geológico ambiental de mayor interés se relaciona con el abastecimiento y calidad de las aguas para consumo humano, animal e industrial. El Banco de Datos SIGAM contiene 264 resultados de análisis químicos y 147 análisis de parámetros físico químicos *in situ* de aguas en el área de Osorno.

El entorno geológico que sustenta la actividad urbana y rural en el área de Osorno está caracterizado por depósitos pleistocenos glaciofluviales y piroclástico-epiclásticos, que abarcan cerca de 80% del área. Los primeros corresponden a sedimentos asociados a las Glaciaciones Llanquihue y Santa María y están compuestos, principalmente, por gravas, con escasa matriz arenosa, interestratificados con arenas medias a gruesas. Los segundos se relacionan con los depósitos de la Secuencia piroclástica-epiclástica San Pablo, que yacen sobre depósitos glaciofluviales de la Glaciación Santa María y subyacen a depósitos asociados a la Glaciación Llanquihue. En el sector occidental se distinguen, además, depósitos morrénicos relacionados con dos ciclos glaciales anteriores, compuestos de bloques y gravas meteorizadas, en una matriz de arena fina, arcilla y limo, cubiertos por suelos residuales de hasta 3 m de espesor. En ese sector se exponen, también, rocas sedimentarias miocenas de la Formación Santo Domingo.

Los estudios hidrogeológicos indican que, en general, las aguas subterráneas son captadas a profundidades inferiores a 100 m, con caudales entre 5 y 47 l/s. El acuífero principal //A1, de alta producción, gran extensión y baja vulnerabilidad, corresponde a depósitos glaciofluviales de la Glaciación Santa María, confinados por depósitos piroclásticos-epiclásticos. En el sector noreste, la cubierta confinante del acuífero principal, fue erosionada, dejándolo libre y con una vulnerabilidad alta a media. En el sector sureste, además del acuífero principal, cuyos niveles estáticos se encuentran entre 10 y 20 m de profundidad, existe un acuífero libre correspondiente a depósitos glaciofluviales de la última glaciación y fluviales, menos profundos, muy vulnerables a la contaminación y con niveles freáticos entre 1 y 5 m de profundidad. En el sector noroeste, donde se encuentran los mayores problemas de abastecimiento de agua, existe un acuífero en roca fisurada C1 de la Formación Danto Domingo, donde el agua percola a través de fracturas y es captada por vertientes o norias, para el abastecimiento domiciliario.

Las principales potenciales fuentes de contaminación de los acuíferos se asocian a residuos líquidos derivados de procesos industriales, disposición de residuos sólidos y uso extensivo de fertilizantes de nitrógeno. El vertido de purines en aguas superficiales, la infiltración de líquidos derivados de depósitos de forraje

(silos) y el uso de pesticidas de alta persistencia y toxicidad, pueden constituir fuentes locales de contaminación, particularmente en las cercanías de captaciones de aguas situadas en acuíferos libres con niveles estáticos poco profundos.

Los caudales máximos de pozos operativos se encuentran entre 0,1 y 34 l/s. Varios de estos pozos no alcanzan caudales óptimos, a causa de precipitaciones de hierro que obstruyen las ranuras del tubo filtro y a la captación solo parcial del acuífero causada por mal diseño del tubo ranurado.

Los rangos generales de pH obtenidos en terreno varía entre 4,34 hasta 7,28, mientras la conductividad tiene valores entre 3 y 284 $\mu\text{S}/\text{cm}$, lo que indica una baja concentración de iones.

Las concentraciones de fosfato fluctúan entre 0 y 3,0 mg/l, con un valor promedio 0,43 mg/l. El mayor valor de fosfato se encuentra en el sector este de la ciudad Crucero. Esta alta concentración de 3,0 mg/l se debería a fuentes antrópicas, como fertilizantes, y/o un pozo vertedero en la cercanía. Estas causas influyen, también, en las altas concentraciones de amonio que varían hasta 1,0 mg/l. La concentración de oxígeno disuelto se ubica entre 0,85 y 17,09 mg/l.

El calcio, magnesio y estroncio poseen similares características y una buena correlación, especialmente entre el calcio y magnesio. La fuente de estos iones es la meteorización de minerales de rocas ígneas y metamórficas, silicatos de calcio y magnesio, en depósitos glaciofluviales, morrénicos y piroclásticos-epiclásticos y/o un mayor contenido de ácido carbónico en el agua, que provocaría la disolución de alcalinos térreos como los bicarbonatos. La distribución espacial sugiere que sus concentraciones aumentan de este a oeste, ya que la dirección principal del flujo del agua subterránea que circula desde el este, hacia el oeste, permitiría la incorporación de aguas que han circulado en tales depósitos (Pérez *et al.*, 2003).

Los contenidos de cobre se encuentran por debajo de 0,267 mg/l. Los pozos alcanzan valores iguales o superiores a 0,01 mg/l, donde los valores más altos se distribuyen en las cercanías de redes fluviales. Esta distribución podría deberse a causas naturales, probablemente por acumulación de sedimentos derivados de la erosión de rocas de la cordillera andina, que de manera natural poseen mayores concentraciones de cobre.

Las concentraciones de flúor varían entre <0,1 y 0,463 mg/l. Este aumento sugiere una fuente artificial, por ejemplo el uso de grandes cantidades de fertilizantes. Su proveniencia natural es de fluorita y apatita que son componentes accesorios de rocas ígneas. En apatita, el contenido de flúor se relaciona con el contenido de fosfato. Además, existen fuentes artificiales, como compuestos halógenos orgánicos, pesticidas y fertilizantes en que el flúor acompaña al fosfato. La correlación entre el flúor y el fosfato en la totalidad de las muestras es significativa. El factor que tiene mayor influencia en la solubilidad del flúor es la concentración de calcio, que lo precipita como fluorita (CaF_2). Pero en general los valores son bajos y cercanos a los valores promedios de la biosfera sin influencia humana.

Los pozos profundos contienen aguas con concentraciones bajas en cloruro, entre <0,2 y 12,7 mg/l. El rango del resto de los valores sugiere que el cloruro es un ión extremadamente escaso en las aguas estudiadas. Su fuente es,

probablemente, la meteorización de minerales en los depósitos cuaternarios. La concentración mayor, podría ser artificial por la adición de hipoclorito de sodio.

El sulfato se presenta en concentraciones que fluctúan entre <0,2 y 9,35 mg/l. Los contenidos de SO_4^{+2} obtenidos en las aguas subterráneas proceden de fuentes naturales, donde el azufre se encontraría en los depósitos glaciofluviales, como constituyente de la pirita y otros sulfuros, que por intemperismo en condiciones oxidantes se transforma en SO_4^{+2} . Los niveles más altos, probablemente, provienen de fuentes artificiales. En desechos orgánicos, por ejemplo, se forman sulfatos por la oxidación del ácido sulfhídrico proveniente de la descomposición de proteínas (Pérez *et al.*, 2003).

En varios sectores, los análisis de muestras de aguas superan los valores límites para algún parámetro de la NCh 409/1, la mayor parte excede los valores límites establecidos para el Mn y Fe y en menor cantidad para el nitrato.

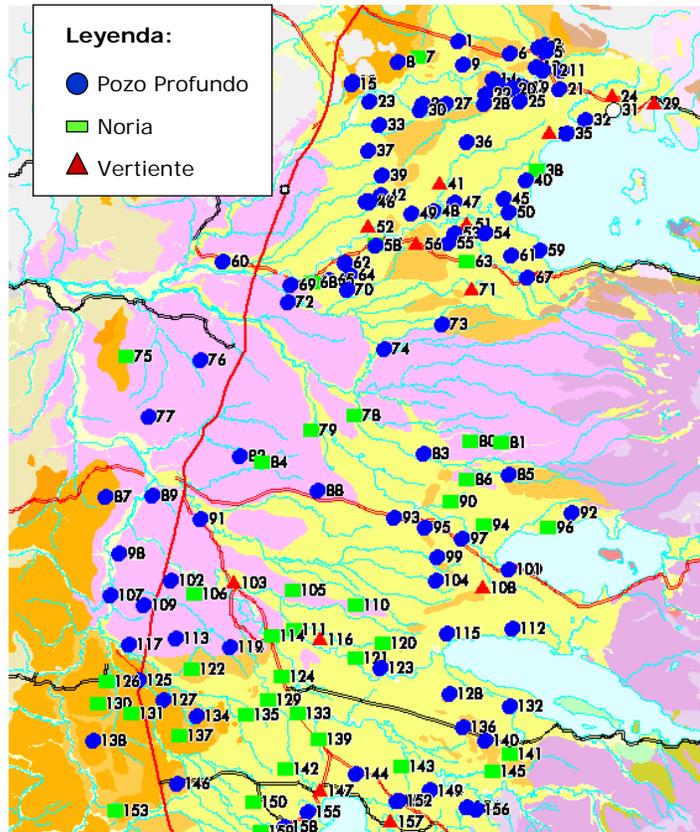
Los contenidos de manganeso fluctúan entre <0,01 y 0,556 mg/l, mientras los contenidos de hierro fluctúan entre <0,01 y 4,0 mg/l, por lo que en sectores supera el límite de 0,1 para manganeso y 0,3 para hierro establecido por la NCh 409/1.

El origen de los iones disueltos de hierro en el agua subterránea se debería al intemperismo de minerales (pirita, biotita, anfíbola, piroxeno y magnetita) presentes en el acuífero. Por otra parte, el Fe^{+2} se origina bajo condiciones reductoras y tiene una mayor solubilidad. En general, las concentraciones reconocidas no son nocivas para la salud humana, sólo afectan el sabor y color. Aunque, por otro lado, la precipitación de Fe^{+3} en las ranuras del pozo, puede disminuir el caudal del pozo y/o dañar la bomba (Pérez *et al.*, 2003).

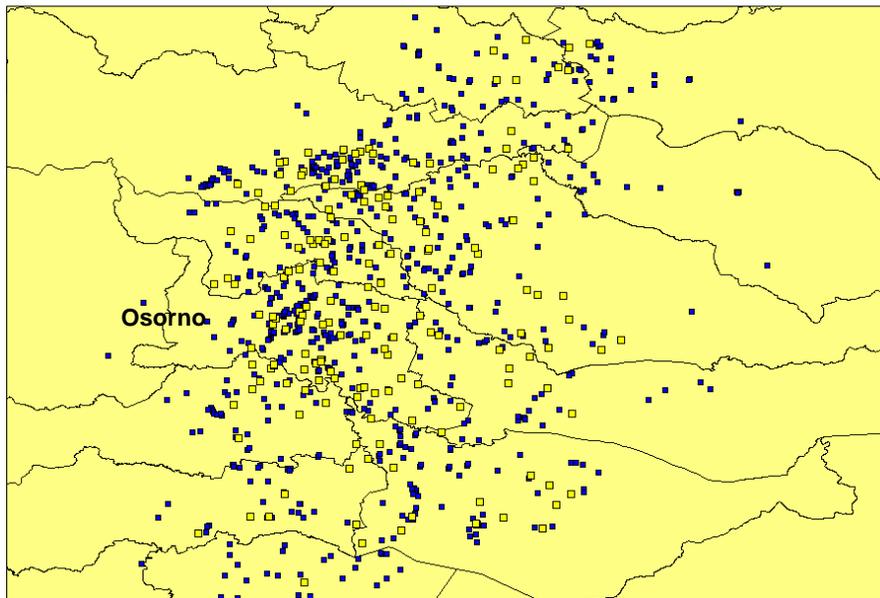
La fuente de manganeso se desconoce, pero se estima una procedencia de parte de minerales máficos meteorizados, cuyas condiciones para la disolución fueron favorecidas en ambientes reductores. Lo anterior se confirma con la buena correlación que existe entre el Mn y Mg. En presencia de O_2 , el Mn^{+2} forma óxidos insolubles que limitan el aprovechamiento del agua por precipitaciones negruzcas y porque favorece el crecimiento de ciertas bacterias. A pesar de que la química del manganeso es similar a la del hierro, no existe una buena correlación entre ellos en el terreno (Pérez *et al.*, 2003).

Las concentraciones del nitrato varían entre <0,4 y 30,8 mg/l. Las mayores concentraciones no sobrepasan el límite de 10 mg/l establecido para el nitrógeno de nitrato (N- NO_3) por la NCh 409/1. Estos altos valores procederían de fuentes antrópicas, como fertilizantes, acumulaciones de estiércol y otros desechos orgánicos animales, que contaminarían las aguas subterráneas (Pérez *et al.*, 2003).

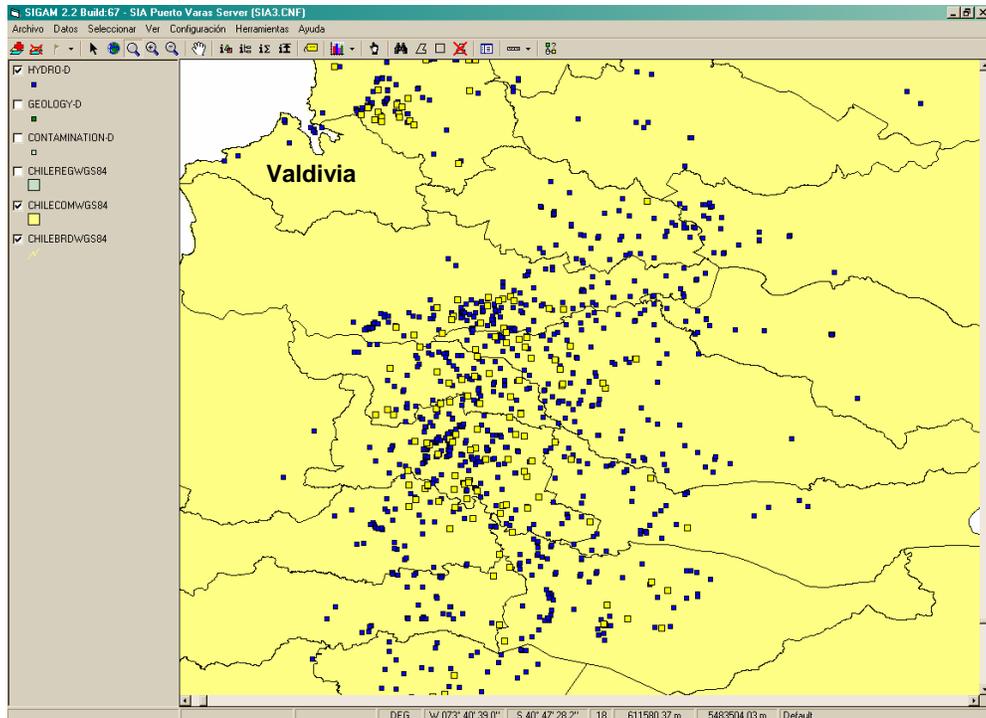
En el área de estudio que comprende la Hoja Osorno se identificó que en el sector noreste el agua subterránea presenta una excelente calidad, como lo demuestran los análisis químicos realizados. En esta área se recomienda implementar medidas de protección ante la contaminación y efectuar estudios con el fin de establecer límites y condiciones de extracción, debido a su alto potencial como futura reserva para extracción de agua potable.



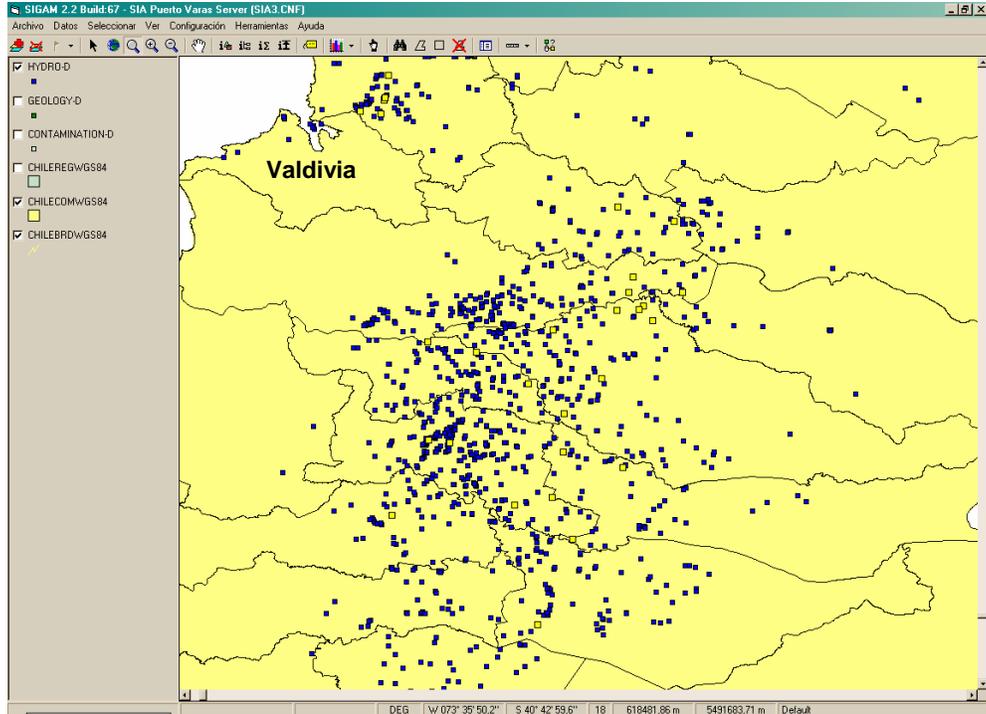
Ubicación de las captaciones de aguas subterráneas estudiadas.



Los puntos en amarillo indican las captaciones que no cumplen con la Norma Chilena 409/1 para Fe, Mn, NO₃ y pH. Figura obtenida mediante consulta formulada en el SIGAM.



Los puntos en color amarillo indican las captaciones que superan los valores máximos de Mn y Fe establecidos en la Norma Chilena 409/1. Figura obtenida mediante consulta formulada en el SIGAM.



Los puntos en color amarillo indican las captaciones que superan los valores máximos de NO₃ establecidos en la Norma Chilena 409/1. Figura fue obtenida mediante consulta formulada en el SIGAM.

HOJAS PUERTO MONTT Y CASTRO

La Hoja Puerto Montt se extiende entre los paralelos 41°00' y 42°00'S y los meridianos 71°45' y 74°15'W (Fig. 6), cubre la provincia de Llanquihue y parte de las provincias de Osorno y Chiloé, y abarca las comunas de Puerto Montt, Cochamó, Calbuco, Maullín, Los Muermos, Fresia, Frutillar, Llanquihue y Puerto Varas. Los centros urbanos incluidos en esta hoja corresponden a las ciudades de Puerto Montt (175.938 habitantes; INE, 2002), Puerto Varas (39.912 habitantes; INE, 2002), Llanquihue (16.337 habitantes; INE, 2002), Frutillar (15.525 habitantes; INE, 2002), Fresia (12.804 habitantes; INE, 2002), Calbuco (31.070 habitantes; INE, 2002), Maullín (15.580 habitantes; INE, 2002) y Ancud (39.946 habitantes; INE, 2002).

La Hoja Castro se extiende entre los paralelos 42°00' y 43°00'S y los meridianos 71°45' y 74°15'W (Fig. 6), incluye la provincia de Chiloé y las comunas de Castro, Ancud, Quemchi, Curaco de Vélez, Dalcahue, Chonchi, Puqueldón, Queilén y Quellón. Los centros urbanos incluidos en esta hoja corresponden a las ciudades de Castro (39.366 habitantes; INE, 2002), Chonchi (12.572 habitantes; INE, 2002) y Quellón (21.823 habitantes; INE, 2002).

Se compiló la base topográfica a escala 1:250.000 de las Hojas Puerto Montt y Castro, a partir de la geología de las áreas de Pagua-Calbuco (Clayton y Antinao, 2000), Ancud-Maullín (Antinao *et al.* 2000), Castro-Dalcahue (Arenas y Duhart, 2003), Chonchi-Cucao (Quiroz *et al.*, 2004) y Puerto Montt (SERNAGEOMIN, 1998), disponibles a escala 1:100.000.

La información compilada en el área de la Hoja Puerto Montt incluye 207 captaciones de agua subterránea, de las cuales 130 tienen análisis químicos y fisicoquímicos (SERNAGEOMIN, 1998). En el área de la Hoja Castro se han recopilado 243 captaciones de agua subterránea, incluidos pozos profundos, norias, vertientes, punteras y drenes, de las cuales 141 poseen análisis químicos y fisicoquímicos.

Según lo indicado por SERNAGEOMIN (1998) y corroborado en este estudio, las gravas y arenas glaciofluviales Plgf1 que sobreyacen a gravas y arenas glaciofluviales Plgf2, componen el sistema A2/A1, un sistema de gran espesor y distribución, lo cual la caracterizaría como la unidad hidrogeológica más importante, tanto en la Hoja Puerto Montt como en la Hoja Castro. Las gravas y arenas glaciofluviales del Plgf2 aparecen más meteorizadas que los depósitos anteriores y constituyen el acuífero confinado //A1 distribuido más ampliamente en la Hoja Puerto Montt que en la Hoja Castro. El potencial más pequeño para reservas de agua subterránea se encuentra en los acuíferos confinados //B1, //B5 y //B6 correspondiente a los depósitos morrénicos Plm1, Plm2 y Plm3. Aquí la porosidad es muy restringida y la composición del material varía de manera notable tanto vertical como lateralmente. Las reservas de agua subterránea se reducen a menudo a napas limitadas localmente.

Lo que más se observa son suelos del tipo "ñadi". Su rasgo característico es la presencia de una fina capa cementada de óxidos de hierro, manganeso y sílice en la zona de contacto con el substrato subyacente. Esta capa muy dura y de color pardo oscuro se denomina "fierrillo". En la zona donde se encuentran estos suelos, la recarga directa del agua subterránea está limitada por ésta capa y

las aguas superficiales, a menudo, no tienen contacto con el cuerpo de agua subterránea. También, los suelos de gran espesor como los que se observan en el sector oeste de la Hoja Puerto Montt, pueden impedir la recarga del agua subterránea, ya que una gran parte de las precipitaciones se almacenan en el suelo y evaporan rápidamente.

En los flancos del volcán Calbuco, sector oriental de la Hoja Puerto Montt, se observan niveles estáticos superiores a 140 m sobre el nivel del mar. Desde allí, el agua subterránea escurre hacia el occidente. Una parte del agua subterránea se desvía hacia el sur y provee los ríos Chamiza y Pato. Al occidente de la línea Llanquihue - Puerto Montt disminuyen los niveles de agua subterránea a aproximadamente 50 m sobre el nivel del mar y se infiltra en el río Maullín. En el sector norte el agua subterránea proviene del área de lomajes morrénicos, Los Pellines - Frutillar - Quilanto, de donde los ríos Sin Nombre y Colegual reciben la recarga de agua subterránea. En la cuenca del río López la dirección preferencial es hacia el norte.

En general, la calidad del agua subterránea en la zona es excelente. Se trata de aguas con muy bajo contenido de minerales: el contenido de sulfato rara vez sobrepasa los 5 mg/l, el contenido de cloruro oscila entre los 6 y 20 mg/l (en casos excepcionales llega a los 40 mg/l). No se observan indicios de contaminación del agua subterránea, aunque la toma de muestras se limitó a determinar la presencia de componentes inorgánicos.

El único factor limitante del aprovechamiento del agua subterránea es el contenido elevado a muy elevado de hierro, que en sectores de la Hoja Puerto Montt sobrepasa los valores establecidos en la Norma Chilena para Agua Potable. Este elevado contenido de hierro en el agua subterránea se observa principalmente en dos zonas: en el noroeste de Frutillar y en el sector de Alerce. En este último se infiere que la presencia de hierro en el agua subterránea tiene relación con la presencia de capas superficiales de depósitos piroclásticos.

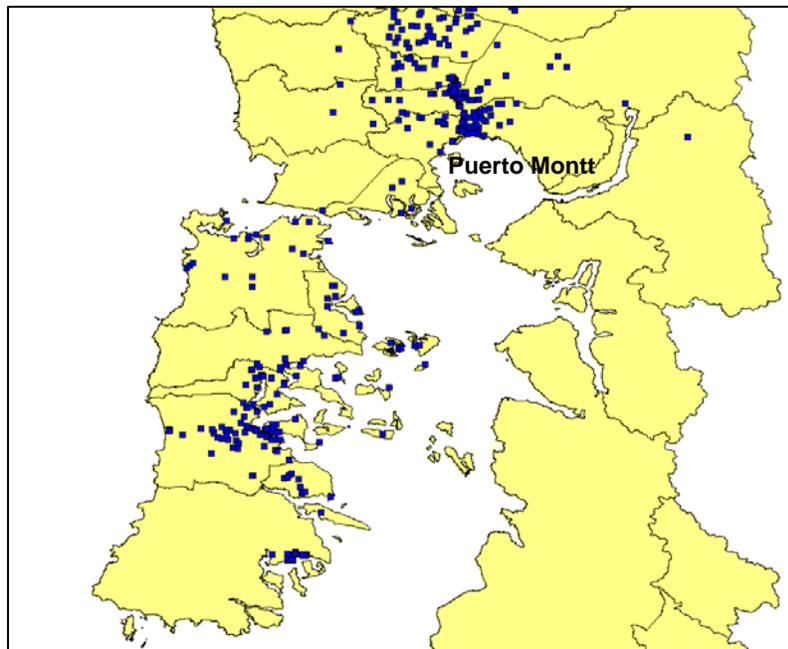
En la Hoja Puerto Montt las áreas que cuentan con importante recurso de agua subterránea corresponden a las de los sistemas A2/A1 y //A2/A1 que constituyen un acuífero libre y confinado, respectivamente. Se recomienda que sean objeto de estudios hidrogeológicos de detalle para evaluar la calidad y cantidad para abastecer con agua potable, en el futuro, a las grandes ciudades, como Puerto Montt y Puerto Varas, y zonas de desarrollo urbano en la ribera del lago Llanquihue. En general, poseen transmisividades, permeabilidades y caudales de explotación altos, una buena capacidad de almacenamiento y baja población. Además, el sistema //A2/A1 se encuentra cubierto por depósitos de material volcánico, que lo protegen en cierto grado.

La vulnerabilidad del agua subterránea está determinada principalmente por la profundidad de los niveles estáticos y la permeabilidad de la zona no saturada. La presencia de capas de "fierrillo" no contribuye a incrementar el potencial de protección, ya que éstas normalmente están destruidas en la cercanía de fuentes de contaminación (alcantarillados, carreteras, industria, agricultura/silvicultura intensa).

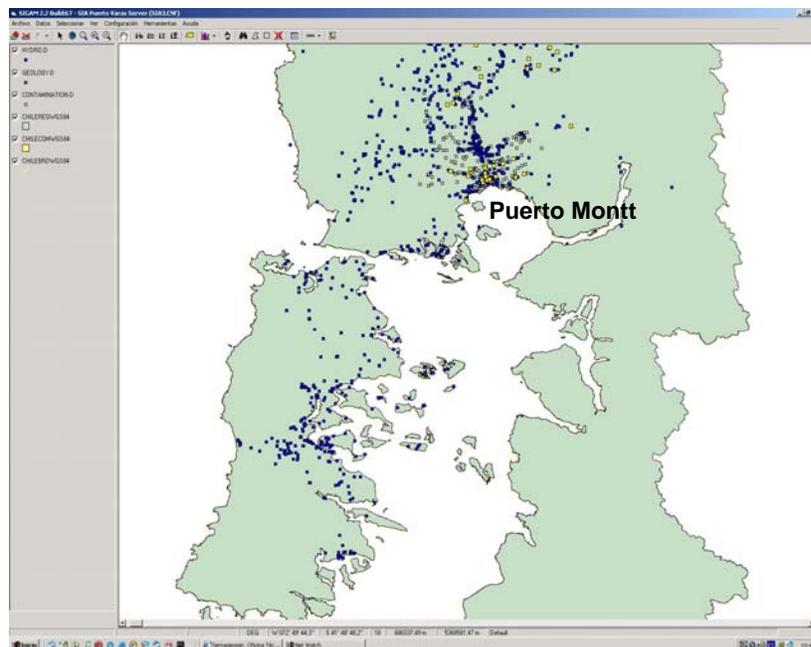
En la Hoja Castro, isla de Chiloé, las áreas que cuentan con importante recursos de agua subterránea corresponden a la del sistema A2/A1, por lo que se recomienda como zona de reserva para la extracción de agua potable. Se

requieren realizar estudios de detalle que permitan conocer mejor las características hidráulicas, así como la capacidad de dicho acuífero.

En ambas hojas las áreas con mayor potencial hidrogeológico presentan vulnerabilidad alta a media a la contaminación, por lo que una vez comprobada la calidad del acuífero para el abastecimiento de agua potable, deberán definir, dentro de estas zonas, áreas de reserva y protegerlas contra una posible contaminación mediante restricciones al uso del terreno, para evitar el desarrollo urbano y usos industriales que pudieran afectar la calidad del agua subterránea.



Ubicación de las captaciones de agua subterránea recopiladas e ingresadas en el SIGAM. Figura obtenida del mapa estandar del SIGAM.



Los puntos en color amarillo indican las captaciones que superan los valores de Mn y Fe establecidos en la Norma Chilena 409/1. La Figura fue obtenida a través de una consulta elaborada en el SIGAM.

ANEXO I

**ANÁLISIS HIDROQUÍMICOS PARA AGUAS DE LAS HOJAS VALDIVIA,
OSORNO, PUERTO MONTT Y CASTRO**

ANEXO II

**PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS ANALIZADOS EN TERRENO EN LAS
HOJAS VALDIVIA, OSORNO, PUERTO MONTT Y CASTRO**

ANEXO III

**CD ROM CON LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN BANCO DE DATOS SIGAM,
ARCHIVOS DE PLOTEOS DE LOS MAPAS Y ARCHIVO PDF DEL TEXTO DEL
PRESENTE INFORME.**



INGE CONTROL

LABORATORIO DE CONTROL TECNICO DE CALIDAD EN OBRAS CIVILES E INGENIERIA

CERTIFICADO DE ENSAYE No 125-02

Estudio de Mecánica de Suelos

OBRA : Planta Tratamiento ESSAL
UBICACION : Los Muermos
SOLICITANTE : ESSAL

Muestreo : Laboratorio Ingecontrol
Fecha : 11.01.02

1.- Estratigrafía:

Estrato No	Cotas (mts.) Desde-Hasta	Espesor (m)	Descripción del Estrato
---------------	-----------------------------	----------------	-------------------------

Calicata No 1:

1	0,00 - 0,10	0,10	Capa orgánica.
2	0,10 - 0,40	0,30	Limo, color blanco, con grava en estado de descomposición, humedad saturada, plasticidad media a alta, consistencia blanda, estructura en estado de descomposición, con gravas aisladas, estrato sin presencia de raicillas.
3	0,40 - 2,00 (Indefinido)		Limo arcilloso, color café saturado, humedad alta, plasticidad alta, consistencia natural media, estructura en estado de descomposición, presencia de nivel freático a la cota 1,40 m, sin presencia de raicillas, estrato de origen natural.

Nota: - Nivel freático a la cota 1,40 m.

PUERTO MONTT, 21 enero del 2002.


GUIDO BRICENO AICHELE
Ingeniero Civil-U. de Chile
Director