

## **SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA GOBIERNO REGIONAL DE AYSÉN**



### **INVESTIGACIÓN GEOLÓGICA MINERA AMBIENTAL EN AYSÉN**

(CÓDIGO BIP No. 30036527-0)

### **RESUMEN EJECUTIVO Y SINTESIS DE LOCALIDADES**

**Enero-2012**

## CONTENIDO

	RESUMEN.....	1
I.	GEOLOGÍA BASE.....	2
II.	PELIGROS GEOLÓGICOS.....	3
	2.1 Peligros Volcánicos.....	3
	2.1.1 Volcán Hudson.....	3
	2.1.2 Volcán Melimoyu.....	3
	2.1.3 Grupo Volcánico Puyuhuapi.....	4
	2.1.4 Volcán Mentolat.....	4
	2.1.5 Volcán Maca-Cay.....	5
	2.2 Peligros por Remociones en Masa.....	5
III.	HIDROGEOLOGÍA.....	7
IV.	MINERÍA Y MEDIO AMBIENTE.....	8
	4.1 Puerto Cristal.....	9
	4.2 Fachinal-Cerro Bayo.....	12
	4.3 El Toqui.....	14
V.	ASISTENCIAS TÉCNICAS Y COOPERACIÓN.....	16
VI.	SÍNTESIS DE LOCALIDADES ESTUDIADAS.....	17
	6.1 Área Puerto Raúl Marín Balmaceda.....	17
	6.1.1 Geología Base.....	17
	6.1.2 Hidrogeología.....	18
	6.1.3 Peligros Geológicos.....	19
	6.2 Área Puyuhuapi.....	19
	6.2.1 Geología Base.....	19
	6.2.2 Hidrogeología.....	20
	6.2.3 Peligros Geológicos.....	21
	6.3 Área Puerto Cisnes.....	22
	6.3.1 Geología Base.....	22
	6.3.2 Hidrogeología.....	23
	6.3.3 Peligros Geológicos.....	24
	6.4 Área Villa Mañihuales.....	26
	6.4.1 Geología Base.....	26
	6.4.2 Hidrogeología.....	27
	6.4.3 Peligros Geológicos.....	29
	6.5 Área Puerto Aysén-Puerto Chacabuco.....	30
	6.5.1 Geología Base.....	30
	6.5.2 Hidrogeología.....	31
	6.5.3 Peligros Geológicos.....	32
	6.6 Área Caleta Tortel-Puerto Yungay.....	35
	6.6.1 Geología Base.....	35
	6.6.2 Hidrogeología.....	36
	6.7 Área Coyhaique.....	37
	6.7.1 Geología Base.....	37
	6.7.2 Hidrogeología.....	37
	6.7.3 Peligros Geológicos.....	42
	6.8 Área Villa Cerro Castillo.....	44
	6.8.1 Geología Base.....	44
	6.8.2 Hidrogeología.....	44
	6.8.3 Peligros Geológicos.....	46
	6.9 Área Puerto Ingeniero Ibáñez.....	47
	6.9.1 Geología Base.....	47
	6.9.2 Hidrogeología.....	48
	6.9.3 Peligros Geológicos.....	50

6.10	Área Chile Chico.....	51
	6.10.1 Geología Base.....	51
	6.10.2 Hidrogeología.....	52
	6.10.3 Peligros Geológicos.....	54
6.11	Área Cochrane.....	55
	6.11.1 Geología Base.....	55
	6.11.2 Hidrogeología.....	56
	6.11.3 Peligros Geológicos.....	57
6.12	Área Villa O'Higgins.....	57
	6.12.1 Geología Base.....	57
	6.12.2 Hidrogeología.....	58

## RESUMEN

Como es sabido, la Región de Aysén presenta una destacada localización estratégica dentro del territorio nacional, con un alto potencial en recursos turísticos naturales e hídricos y un buen potencial de recursos minerales, todo lo cual augura un elevado desarrollo económico futuro. Sin embargo, una parte significativa de este territorio es desconocido desde el punto de vista de su geología, especialmente aquella que tiene relación con la geología aplicada al medio ambiente. El conocimiento geológico de un territorio constituye la base de cualquier estudio ambiental debido a la asociación directa existente entre la geología con los recursos hídricos y minerales y, además de su relación con fenómenos naturales que pueden constituir un peligro para el hombre (e.g. erupciones volcánicas, remociones en masa, sismos, entre otras).

De este modo, el Gobierno Regional de Aysén y el Servicio Nacional de Geología y Minería consideraron relevante iniciar, durante finales del año 2007, estudios geológicos ambientales financiados a través del fondo nacional de desarrollo regional (FNDR) que permitiera contar con información integral para la región, útil para identificar áreas geopolíticamente estratégicas y para planificar y administrar eficientemente los recursos naturales a objeto de minimizar su impacto en el medio ambiente.

La investigación contempló estudios geológicos ambientales integrales y sistemáticos de la Región de Aysén, particularmente, de los sectores de las ciudades o poblados importantes de Coyhaique, Puerto Aysén, Chile Chico y Cochrane, además de localidades tales como Villa Cerro Castillo, Villa O`Higgins, Puerto Ingeniero Ibáñez, Villa Mañihuales, Puerto Chacabuco, Puerto Raúl Marín Balmaceda, Puerto Puyuhuapi, Puerto Cisnes, Caleta Tortel y Puerto Yungay. El estudio incluyó aspectos de geología base, hidrogeología, peligros geológicos, contaminación e impacto de la minería en el medio ambiente.

En relación con la geología base, el estudio consistió en la revisión bibliográfica y en la realización de trabajos en terreno y en laboratorio que permitieron la definición de diferentes unidades de rocas y de depósitos sedimentarios no consolidados, estableciendo sus relaciones espaciales y temporales. El estudio también comprendió la identificación, caracterización y evaluación de disponibilidad de recursos de aguas subterráneas y el análisis cualitativo de la vulnerabilidad de acuíferos a la contaminación. El análisis de los peligros geológicos consistió, básicamente en la evaluación de la susceptibilidad y peligro geológico relacionado con erupciones volcánicas (e.g. Volcán Hudson 1971, 1991 y 2011) y remociones en masa (e.g. Fiordo Aysén). El impacto de la actividad minera fue abordado mediante el estudio de la faena minera abandonada de Puerto Cristal y de faenas actualmente en desarrollo como son El Toqui y Fachinal-Cerro Bayo.

Así, el Informe Final de este estudio incluye, además de los textos mencionados en el párrafo anterior, la siguiente cartografía digital:

- 12 mapas de geología base de las diferentes localidades estudiadas, incluyendo su entorno de influencia inmediato, a escalas 1:50.000 o menores;
- 12 mapas hidrogeológicos, de las mismas localidades anteriores, a escalas 1:100.000 o menores;
- 1 mapa de susceptibilidad de caída de piroclastos para la Región de Aysén a escala 1:500.000 que incluye el análisis de las características eruptivas de los volcanes Melimoyu, Mentolat, Maca-Cay y Hudson y del Complejo Volcánico Puyuhuapi. Adicionalmente, contiene 3 mapas de susceptibilidad de los volcanes Melimoyu y Mentolat y del Complejo Volcánico Puyuhuapi, todos a escala 1:50.000;
- 8 mapas de pendientes, inventarios y susceptibilidad por remociones en masa de similar número de localidades, a escala 1:50.000 o menores.

El presente Resumen Ejecutivo incluye un extracto de los temas abordados en extenso en el Informe Final y presenta, además, una Síntesis de Localidades Estudiadas.

## **I. GEOLOGÍA BASE**

Considerando los objetivos del estudio se prepararon un total de 12 mapas de Geología Base, correspondientes a similar cantidad de centros poblados de la Región de Aysén, los cuales se incluyeron en el Volumen I del Informe Final. De estos mapas, 6 son de la región costera o cercana a ella (Región Occidental), y corresponden a las áreas de: Puerto Raúl Marín Balmaceda, Puyuhuapi, Puerto Cisnes, Villa Mañihuales, Puerto Aysén-Puerto Chacabuco y Caleta Tortel-Puerto Yungay; mientras que los restantes 6 son de la región fronteriza (Región Oriental), y corresponden a las áreas de: Coyhaique, Villa Cerro Castillo, Puerto Ingeniero Ibáñez, Chile Chico, Cochrane y Villa O'Higgins.

La región costera no contaba con geología base de detalle, existiendo solo un mapa regional, publicado por Sernageomin, a escala 1:500.000. Por otra parte, la región fronteriza contaba con levantamientos geológicos a escala 1:100.000 y 1:250.000 publicados por Sernageomin, que incluyen 4 y 2 de las áreas estudiadas, respectivamente. Sin embargo, para los objetivos del estudio, estas escalas no presentan el detalle requerido para cartografía temática y fue necesario preparar cartografía de geología base a escalas apropiadas. Para lo anterior se realizaron levantamientos geológicos y toma de muestras en terreno, se prepararon secciones transparentes y pulidas para la caracterización mineralógica y textural de las rocas, se realizaron análisis geoquímicos por elementos mayores, trazas y tierras raras para determinar las características químicas de las unidades litológicas, además de análisis isotópicos por Sr, Nd y Pb con el objetivo de determinar las características genéticas de los magmas que originaron el gran volumen de rocas ígneas existentes en la región. Adicionalmente, con el objetivo de determinar la temporalidad de algunos de los eventos geológicos se efectuaron análisis geocronológicos por los métodos U-Pb SHRIMP en circones y  $^{14}\text{C}$  en madera y/o materia orgánica.

La escala de los mapas presentados en el Volumen I del Informe Final son en su mayoría a 1:50.000. Un grado mayor de detalle lo constituyen los mapas de las áreas Coyhaique y Villa O'Higgins, preparados a escala 1:25.000, y Cochrane, preparado a una escala 1:30.000. Así, el Volumen I del Informe Final incluye el texto descriptivo de las unidades geológicas presente en cada una de las 12 localidades abordadas y fuera de texto se presentan los 12 mapas relacionados. Un

resumen del texto de geología base se incluye en las páginas siguientes, en el capítulo de Síntesis de Localidades Estudiadas.

## **II. PELIGROS GEOLÓGICOS**

### **2.1 Peligros Volcánicos**

En el marco del presente estudio se realizaron trabajos geológicos-volcanológicos enfocados a describir depósitos, calcular espesores y determinar la edad (tefrocronología) de algunos depósitos piroclásticos de caída emitidos en el Holoceno por los volcanes de la región (Informe Final, Volumen II). Cabe señalar, que la alta pluviometría, régimen de vientos y, en algunos casos, la espesa vegetación no permitió acceder a zonas donde los depósitos de caída de piroclastos están bien preservados (sin removilización de estos), ni a las cercanías de los volcanes para determinar alcances de los flujos piroclásticos, lahares y lavas, a excepción del Grupo Volcánico Puyuhuapi. A continuación se presenta un resumen de la estimación de la susceptibilidad y peligro para cada uno de los volcanes o complejos volcánicos estudiados, mientras que un resumen para cada localidad se incluye en las páginas siguientes, en el capítulo Síntesis de Localidades Estudiadas.

**2.1.1 Volcán Hudson** (Informe Final, Capítulo II, sección 1.4.3.1): lahares primarios podrían afectar los valles Huemules y Cupquelán. Lahares secundarios afectarían los valles de los ríos Ibáñez, Murta y Blanco afectando los Poblados de Puerto Aysén y Puerto Ingeniero Ibáñez. Flujos piroclásticos podrían afectar todos los valles en el entorno al volcán en un radio de 15-20 km. Los poblados de Chile Chico, Puerto Ingeniero Ibáñez, Bahía Murta, Villa Cerro Castillo, Puerto Aysén y Coyhaique presentarán susceptibilidad alta de ser afectados por caída de piroclastos con espesores superiores a 10 cm. Los poblados de Cochrane y Villa Mañihuales presentarían susceptibilidad media a afectación por espesores superiores a 10 cm.

**2.1.2 Volcán Melimoyu** (Informe Final, Capítulo II, sección 1.4.3.2): Lahares primarios podrían afectar los cursos de los ríos Añihué, Bahía Mala, Melimoyu, Santo Domingo, Marchant y Palena. Este podría, eventualmente, encausar y/o transportar dichos aportes hacia el poblado de Puerto Raúl Marín Balmaceda. Lahares secundarios se encausarán por los ríos antes mencionados afectando, además, al poblado de Raúl Marín Balmaceda y aeródromo de Melimoyu, y, eventualmente, el

poblado de La Junta. Flujos piroclástico afectarán los valles asociados a los ríos Añihué, Bahía Mala, Melimoyu, Santo Domingo por el Norte y Nor-oeste; río Marchant y Lago Melimoyu por el Sur y Sur-oeste, alcanzando una distancia de, a lo menos, 15 km. Sobre esta distancia, se producirían oleadas piroclásticas y lahares que se prolongarían por el cauce de los ríos antes mencionados, hasta desembocar en el canal Moraleda y río Palena. El río Marchant, a su vez, podría canalizar los flujos hasta el Seno Melimoyu alcanzando el poblado de homónimo. Los poblados de La Junta y Lago Verde tendrían susceptibilidad alta de ser afectadas por caída de piroclastos con espesores mayores a 10 cm. Los poblados de Puerto Puyuhuapi, Villa Mañihuales y Puerto Cisnes presentarán susceptibilidad media a ser afectados por espesores superiores a 10 cm.

**2.1.3 Grupo Volcánico Puyuhuapi** (Informe Final, Capítulo II, sección 1.4.3.3): El poblado de Puerto Puyuhuapi, las riberas del Lago Risopatrón y la Carretera Austral presentarán susceptibilidad alta de ser afectados por corrientes de lava, lahares y flujos piroclásticos básicos menores. Caída de piroclastos densos ( $\sim 0,5 \text{ kg/m}^3$ ) con espesores de más de 10 cm afectaría al Poblado de Puyuhuapi y sus entornos inmediatos. Dado que la probabilidad de erupción en 100 años es de 11%, se infiere un peligro volcánico alto para el poblado de Puyuhuapi.

**2.1.4 Volcán Mentolat** (Informe Final, Capítulo II, sección 1.4.3.4): Lahares primarios podrían afectar al estero Medio y río Los Mallines por el Oeste y Noroeste, hasta su desembocadura en el Seno Medio y Seno Canald, respectivamente; al Estero Pirata por el Norte, hasta desembocar en el Seno Magdalena; y los ríos Pangal y Mackay, por el Sur, hasta desembocar en el Estero Pangal y Canal Puyuhuapi. Lahares secundarios podrán afectar al poblado de Puerto Cisnes y los caminos de acceso nuevo y viejo a dicho poblado por desbordes del estero San Luis y río Cisnes. Flujos piroclástico podrían afectar al Estero Medio y río Los Mallines por el Oeste y Noroeste, hasta desembocar en el Seno Medio y Seno Canald, respectivamente; al Estero Pirata por el Norte, hasta desembocar en el Seno Magdalena; ríos Pangal y Mackay, por el Sur, hasta desembocar en el Estero Pangal y Canal Puyuhuapi. Los poblados de Puerto Cisnes y Villa Mañihuales presentaría susceptibilidad alta a ser afectados por caídas de piroclastos con espesores sobre 10 cm. Las ciudades de de Puerto Aysén y Coyhaique, y el poblado de Puerto Puyuhuapi presentarán susceptibilidad media.

**2.1.5 Volcán Maca-Cay** (Informe Final, Capítulo II, sección 1.4.3.5): Lahares primarios podrán afectar las riberas del Lago Yulton y Meullín. Lahares secundarios podrían afectar las cuencas de los ríos Tabo, Los Palos y Blanco, y su consecuente movilización podría canalizarse hacia los poblados de Puerto Aysén y Puerto Chacabuco. Los flujos piroclásticos podrán afectar a un radio de 15 km desde los centros emisores, en particular la cuenca del río Tabo y lahares asociados podrían afectar a Puerto Aysén. Las ciudades de Puerto Aysén, Coyhaique y Villa Mañihuales podrían presentar alta susceptibilidad de ser afectados por espesores superiores a 10 cm. Los poblados de Villa Cerro Castillo y Puerto Cisnes presentarán susceptibilidad media de ser afectados por caída de piroclastos superiores a 10 cm de espesor.

Cabe recalcar, que la estimación de susceptibilidad toma en consideración vientos predominantes desde el Oeste-Noroeste, si los vientos cambian (Norte, Sur, Suroeste), la condición de susceptibilidad de los poblados de la Región de Aysén cambiaría en función de la época del año en que se genere la erupción.

## **2.2 Peligros por Remociones en Masa**

El crecimiento urbano de los últimos años, con el consecuente aumento de la demanda de nuevas superficies para el emplazamiento de infraestructura, se ha visto reflejado en el desarrollo de ciudades y centros poblados hacia sectores o áreas que tienen o podrían presentar a futuro algún grado de susceptibilidad frente a procesos geológicos de remociones en masa. Lo anterior, no es ajeno a la Región de Aysén, en la cual existen planos reguladores vigentes que no incorporaron un estudio básico relacionado a este tipo de fenómeno, no midiendo los potenciales daños a las personas ni a la infraestructura asociada, tanto pública como privada. Lo anterior se traduce, normalmente, ante la ocurrencia de un evento, en pérdidas de vidas humanas y en costos económicos y de capacidad productiva.

Por tal motivo, se incluyó un estudio de susceptibilidad a remociones en masa (RM) de 8 localidades (Informe Final, Volumen II): Puerto Puyuhuapi; Puerto Cisnes; Villa Mañihuales; Puerto Aysén-Puerto Chacabuco; Coyhaique; Villa Cerro Castillo; Puerto Ingeniero Ibáñez; y Chile Chico; con el fin de proveer de cartografía adecuada que pueda ser utilizada como insumo en futuros planes de ordenamiento territorial.



Los procesos de RM provocan, a nivel mundial, numerosas pérdidas de vidas humanas, además de impactos económicos por destrucción en infraestructura y un notable deterioro en la calidad de vida de la población involucrada. Sin embargo, a diferencia de otros desastres naturales, el estudio de las RM y las recomendaciones técnicas que surjan sobre la base de estos estudios, pueden contribuir a minimizar sus efectos sobre la población e infraestructura (Hauser, 2000). En general, en el área considerada, se han observado remociones en masa RM del tipo deslizamientos y flujos y, en algunos casos, una combinación de ellos, además de caídas de rocas. Las características geológicas de esta área, donde depósitos sedimentarios no consolidados están apoyados sobre sustratos rocosos con altas pendientes, sumado a la recurrencia histórica de fenómenos sísmicos y condiciones climáticas de alta pluviosidad, junto a la intervención antrópica, constituyen factores favorables para la ocurrencia de estos fenómenos.

La cartografía generada por este estudio para cada localidad (Informe Final, Volumen II) determinó zonas o áreas susceptibles de ser afectadas por procesos de remociones en masa, además de las posibles causas de ellas y extensión aproximada del alcance de los depósitos que pudiesen afectar cada área en estudio. Así, se estableció en los mapas de susceptibilidad a remociones en masa una zonificación que incluye:

**Susceptibilidad Alta:** zonas con pendientes escarpadas ( $>25^\circ$ ) y registros de de remociones en masa antiguas y recientes. En general, factores internos y externos favorables para la ocurrencia de remociones en masa o afectación por alcance de sus depósitos.

**Susceptibilidad Media o Moderada:** zonas con pendientes moderadas ( $15$  a  $25^\circ$ ) y registros escasos de de remociones en masa. En general, factores internos y externos poco favorables para la ocurrencia de remociones en masa, aunque pueden experimentar afectación por alcance de los depósitos.

**Susceptibilidad Baja:** zonas con pendientes suaves ( $<15^\circ$ ) y sin registros de remociones en masa antiguas y recientes. En general, solo en condiciones extremas podrían ser afectadas por el alcance de los depósitos asociados.

Se debe considerar que la validez de los mapas de susceptibilidad a remociones en masa contenidos en este documento está determinada por la metodología de trabajo. El uso de estos mapas en instrumentos de planificación

territorial está limitado por la escala de trabajo (1:50.000) comúnmente utilizada para planificación regional e intercomunal. Para planificación comunal se requieren estudios específicos a escalas de detalle (e.g. 1:10.000) adecuadas para instrumentos de planificación. En el capítulo de Síntesis de Localidades Estudiadas las páginas siguientes se presenta un resumen que describe cada una de las localidades y los resultados obtenidos para ellas.

### **III. HIDROGEOLOGÍA**

Un estudio hidrogeológico se realizó en doce localidades de la Región (Informe Final, Volumen III), denominadas áreas Coyhaique-Valle Simpson Medio, Raúl Marín Balmaceda, Puerto Puyuhuapi, Puerto Cisnes, Puerto Aysén, Villa Mañihuales, Villa Cerro Castillo, Puerto Ingeniero Ibáñez, Chile Chico, Cochrane, Villa O'Higgins y Caleta Tortel, con un enfoque de reconocimiento para la caracterización de su situación hidrogeológica general, referida a las formaciones geológicas con posibilidades de albergar y transmitir agua subterránea en condiciones de ser aprovechada como recurso.

Un estudio de reconocimiento consiste en una primera aproximación a la evaluación objetiva del recurso, a escalas de carácter regional, en áreas en que no existen antecedentes o existen de manera escasa y dispersa, con la finalidad de localizar las áreas de mayor potencial y planear adecuadamente etapas posteriores de prospección.

El estudio se basó en métodos geológicos, geofísicos y geoquímicos. Mediante los dos primeros métodos se consigue la identificación de las formaciones geológicas, su distribución dentro del territorio y sus características texturales y estructurales que condicionen el desarrollo de porosidad tanto de unidades sedimentarias no consolidadas, como de formaciones rocosas. Los métodos geoquímicos, en este nivel de investigación, sirven para identificar firmas químicas propias para distintos sistemas de circulación e interacción entre el agua y los medios porosos por los cuales circula, sean estos superficiales o subterráneos.

Debido a la falencia de pozos para la obtención de datos fundamentales requeridos para el cálculo y determinación de la vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos, los aspectos de vulnerabilidad fueron tratados sólo de manera

cualitativa, haciendo hincapié en aquellos aspectos referidos a las potenciales fuentes contaminantes (vertederos de residuos sólidos y plantas industriales, entre otros) y su posición en relación a unidades hidrogeológicas de importancia.

Los resultados del estudio (Informe Final, Volumen III) se plasman en mapas hidrogeológicos generales de distintas escalas, para los que se identificaron unidades de potencial hidrogeológico, según su aptitud para conformar acuíferos de importancia, diferenciando unidades en distintas jerarquías desde alto a nulo potencial hidrogeológico. En las páginas siguientes se presenta un resumen que describe cada una de las localidades y los resultados obtenidos para ellas y que está contenido en el capítulo de Síntesis de Localidades Estudiadas.

#### **IV. MINERÍA Y MEDIO AMBIENTE**

Dentro de los aspectos que normalmente se consideran importantes a nivel de regiones, del punto de vista del desarrollo y del crecimiento, se encuentra la actividad minera e industrial asociada a ella. En particular, la actividad minera genera alteraciones en el medio natural, muchas veces con importantes efectos sobre el medio en que se desarrollan. Así, el impacto ambiental de una faena minera y sus instalaciones asociadas, es la diferencia entre la situación del medio ambiente antes de llevar a cabo la actividad y durante y posterior a la actividad. La evaluación de este impacto es la cuantificación de estas diferencias, mediante la realización de estudios multidisciplinarios que pretenden identificar, predecir y prevenir las consecuencias o efectos sobre el medio ambiente de la actividad minera.

Siendo la Región de Aysén una de las mas prístinas del país, con una actividad de pequeña a mediana minera incipiente, se hace necesario definir parámetros ambientales en el área de influencia de una faena minera en forma previa a su ejecución, es decir, determinar parámetros de su línea de base. También, se hace necesaria la medición y monitoreo de parámetros durante su ejecución, de manera de determinar probables anomalías que puedan significar efectos adversos sobre el medio natural. Desde una perspectiva geológica, la prospección geoquímica persigue la detección de anomalías en la composición química de rocas, agua y sedimentos que se relacionan con la presencia de un

yacimiento mineral. Así, una exploración geoquímica adecuada entregará una efectiva línea de base química (*e.g.* aguas arriba de una faena minera), además de los probables impactos ambientales (*e.g.* aguas abajo de una faena minera).

Sobre la base de lo anterior, el presente estudio (Informe Final, Volumen IV) constituye una primera aproximación a la caracterización de los probables impactos ambientales de faenas mineras sobre su entorno inmediato, tanto en aquellas abandonadas (*e.g.* Puerto Cristal) como en las actualmente en explotación (*e.g.* Fachinal-Cerro Bayo y Toqui). La caracterización se ha realizado utilizando como herramienta la geoquímica de aguas y sedimentos y análisis mineralógicos. Es necesario destacar que algunas de las faenas mineras abandonadas de la región (*e.g.* Puerto Cristal) lo hicieron con anterioridad a la dictación de la Ley de Bases Generales del Medio Ambiente (19.300) y, por tanto, no contemplaron planes de abandono, cierre y sellado de faenas mineras.

Así, este estudio (Informe Final, Volumen IV) pretende determinar probables anomalías en aguas, sedimentos y rocas e identificar y determinar sus fuentes, en especial si tales anomalías alcanzan valores que puedan provocar efectos adversos sobre el medio natural.

#### **4.1 Puerto Cristal**

El Poblado de Puerto Cristal corresponde a un asentamiento minero abandonado, localizado en la ribera norte del Lago General Carrera, a 15 km al este del poblado de Puerto Sánchez. El complejo minero en Puerto Cristal consta de una planta de procesamiento de minerales, botaderos y relave, así como de dos minas (Mina Silva y Mina Rosillo) que, entre otras minas del sector, abastecían a la planta de concentrados localizada en dicho poblado. Todas estas instalaciones mineras no cuentan con un debido cierre para el resguardo de visitantes y medio ambiente en general, ante la posible presencia de contaminantes, ni con medidas de mitigación por remociones en masa que podrían afectar al relave en la ribera del Lago General Carrera. Los detalles de los estudios realizados en Puerto Cristal se exponen en extenso en el Informe Final, Volumen IV.

Debido a su antigüedad, la actividad minera se desarrolló fuera del marco de la Ley No. 19.300. Por lo tanto, los proyectos mineros asociados no ingresaron al SEA. Al momento del cese de actividades, la Compañía Minera Aysén no dio aviso

de término de faenas, lo que significó un incumplimiento al Artículo 22 del Decreto Supremo No. 72.

Para diagnosticar un posible impacto ambiental en Puerto Cristal se utilizaron diversas técnicas, entre los que destacan: i) caracterización visual del estado actual de las instalaciones mineras (relaves, cuerpos de agua, edificaciones varias propias de la faena minera y planta de fundición de plomo); ii) caracterización química y mineralógica de las colas del relave, escorias de fundición y concentrados; y iii) caracterización química de muestras de agua superficial del estero Rocillo y Lago General Carrera.

Todas las muestras de agua superficial se clasifican como aguas bicarbonatadas cálcicas. En éstas se presentaron valores de pH entre 7,37 hasta 7,74. Según el parámetro de Sólidos Disueltos Totales (SDT) todas las muestras representan aguas dulces. En todas las muestras se detectó la presencia de trazas de aluminio, bario, hierro y zinc, mientras que en sólo tres, se detectaron trazas de manganeso y plomo. Todos los valores detectados para los elementos normados se ubican bajo los límites establecidos en la NCh.1333 para agua de riego y la NCh.409/1 para agua potable.

Dos depósitos de relaves fueron observados: relave oriental (antiguo) y relave occidental (nuevo). La mineralogía predominante de las colas del relave oriental fue: anglesita, ankerita, sílice, montmorillonita, nacrita y gohetita. En cambio, la mineralogía dominante del relave occidental fue: esfalerita, ankerita, coronadita, cerusita, sílice, calcita, muscovita, pirita y calcopirita. Las colas del relave oriental presenta concentraciones de  $\text{SiO}_2$  entre 41 y 54%;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  entre 26 y 34%; Cu entre 0,15 y 0,79%, Pb entre 0,11 y 0,34% y Zn entre 0,08 y 0,17%. El relave occidental presenta concentraciones de  $\text{SiO}_2$  entre 19 y 28%;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  entre 3 y 17%; Cu entre 263 y 686 ppm; Pb entre 0,05 y 3,9% y de Zn entre 3,6 y 8,8%. El test de lixiviación por precipitación sintética arrojó valores de Cd y Pb por sobre la concentración máxima permisible (CMP) estipulada en el D.S. 148 en dos muestras del relave oriental (dos para Cd y una para Pb), en la muestra de acopio de concentrados y, sólo de Pb, en la muestra de escoria de fundición. Bajo el mismo análisis se obtuvieron, además, para distintas muestras, valores significativos de Cu, Mn, Se y Zn.

El color ocre del relave oriental, los datos químicos y mineralógicos, así como, el test de lixiviación indican que este relave es una fuente potencial importante de metales pesados, los que podrían estar siendo liberados bajo condiciones de drenaje ácido. El relave occidental, si bien presenta menor concentración de metales pesados, tiene altos valores de S y  $Fe_2O_3$ , lo que sugiere que también es un potencial generador de líquidos ácidos.

La muestra de escoria de fundición, localizada en el borde oriental del poblado, obtenida desde los botaderos inmediatamente en los entornos de la fundición, presenta concentraciones de Cu de 0,38% y de Pb de 42,4% y de Zn con 20,5%. La lixiviación de estas escorias podría generar líquidos con altos contenidos de Pb hacia el Lago General Carrera.

La muestra colectada en un botadero localizado al norte de la cancha de fútbol, entregó concentraciones de Pb de 42,2%, Zn de 20,5% y Cu de 0,38%. En dicha zona se observó lixiviación por aguas superficiales. Estos líquidos podrían, bajo circunstancias favorables, aportar metales pesados al Lago General Carrera.

Desde el punto de vista geotécnico, el relave de Puerto Cristal presenta diversas remociones en masa actuales en la desembocadura del estero Rocillo y, antiguas, registradas entre las colas del relave. Estas observaciones indican que el relave de Puerto Cristal podría ser afectado de manera significativa, en el futuro, por remociones en masa canalizadas en el Estero Rocillo, del tipo flujos y caída de rocas, provenientes de los cerros aledaños. Por otro lado, las medidas de contención del talud del tranque de relave no asegurarían la protección del Lago General Carrera frente un eventual colapso. Por otra parte, la planta concentradora se ubica en un área de diversas remociones de masa, por lo que puede ser afectada por flujos de detritos y/o caída de rocas. Por último, el relave está afectado por erosión eólica, lo cual indica una constante polución por partículas con altas concentraciones de Pb y Zn hacia el Lago General Carrera y el poblado abandonado de Puerto Cristal.

Sobre la base de los datos obtenidos se puede constatar que el tranque de relave, los acopios de material estéril, las escorias de fundición y diversos sacos con concentrados dispersos, principalmente, en el muelle, constituyen una fuente potencial de contaminación, los cuales pueden liberar elementos tóxicos por las vías

de la infiltración de aguas superficiales, con su posterior lixiviación y percolación de líquidos, hacía el Lago General Carrera. Finalmente, se remarca que no existe un adecuado cierre de perímetro del relave, de la plata concentradora, de los laboratorios y de galpones con materiales tóxicos. Se sugiere generar un plan de cierre, remediación ambiental y monitoreo de las instalaciones de la faena minera abandonada de Puerto Cristal.

## **4.2 Fachinal-Cerro Bayo**

La Faena Minera Fachinal-Cerro Bayo se localiza en el margen Sur del Lago General Carrera, a 25 km al oeste de Chile Chico. Los sistemas de vetas del yacimiento Fachinal de Au-Ag poseen una orientación NS-NNE hospedada en rocas volcánicas riodacíticas de la Formación Ibáñez. El yacimiento Cerro Bayo consiste de un sistema de vetas de Au-Ag de orientación N35°O hospedadas en rocas tobáceas de la Formación Ibáñez. El proyecto minero fue aprobado ambientalmente en el año 1994 (RCA No. 1 del 26 de Octubre de 1994), el cual consta básicamente, de una planta de procesos y tratamiento de mineral y un tranque de relaves.

Ambientalmente, la faena minera se localiza dentro de una microcuenca cerrada de la cual forma parte como cuerpo lacustre receptor, la denominada Laguna Verde. En total se recolectaron 8 muestras de aguas subterráneas y 19 muestras de aguas superficiales en los alrededores de la Laguna Verde e instalaciones mineras. Estas muestras fueron enviadas al Laboratorio Químico del SERNAGEOMIN para su análisis de contenido en elementos inorgánicos mayores y trazas. Además, se recolectaron 6 muestras de sedimentos, 4 correspondieron al botadero estéril, una al tranque de relave y una al muro de seguridad, más 6 muestras de concentrados en los alrededores de las instalaciones. Diez muestras fueron analizadas mediante la metodología de Difracción de Rayos-X para obtener una cuantificación y caracterización de los minerales. Seis muestras se analizaron mediante Fluorescencia de Rayos-X, ICP-OES y AAS para cuantificar los elementos químicos mayoritarios y trazas. Dos muestras se analizaron mediante la metodología de Test de Lixiviación SPLP (*'Synthetic Precipitation Leaching Procedure'*).

Según su composición en elementos inorgánicos mayores, las muestras de la Laguna Verde y sus alrededores, y aquellas en las cercanías de la planta

concentradora pertenecen, en su totalidad, a la facies sulfatada. De esta manera, se identificó una relación espacial directa de la faena minera y/o el ambiente de yacimientos con presencia de minerales sulfurados y sulfosales y el tipo químico de las aguas del medio circundante. La muestra colectada a menos de 500 m del botadero del proyecto Cascadas pertenece al grupo químico de aguas cloruradas. Las concentraciones más altas de sodio (Na) fueron encontrados en la Laguna Verde con 6.400 mg/l (XIAP-78), 5.750 mg/l (XIAP-14) y 5.500 mg/l (XIAP-68). Dado que no existe un desagüe superficial, los elementos disueltos aumentan con la evaporación del agua. Los valores de pH se encontraron entre 6,19 y 9,66. Según el parámetro de Sólidos Disueltos Totales (SDT), la salinidad de las aguas varía entre aguas dulces hasta saladas. Todas las aguas saladas se encontraron en lagos con influencia de procesos mineros. La alcalinidad fluctúa en rangos muy amplios entre 23,8 mg/l y 4.858 mg/l que indica una gran variedad del comportamiento antes posibles cambios en el pH. Nueve muestras sobrepasaron el valor límite de 250 mg/l de sulfatos establecido en la NCh.1333 para agua de riego. Cinco muestras sobrepasaron el valor límite de 200 mg/l de cloruro establecido en la NCh.1333 para agua de riego. Siete muestras sobrepasaron los límites establecidos para flúor (F) en la NCh.1333 para agua de riego. En el análisis de elementos trazas nueve muestras en hierro (Fe), tres en arsénico (As), cuatro en manganeso (Mn), cinco en molibdeno (Mo), cinco en boro (B) y dos en selenio (Se) se encontraron por sobre las normas establecidos para agua potable NCh.409/1 y/o agua para riego NCh.1333.

En el grupo de las muestras solidas se observó en los resultados de análisis por elementos mayores que los materiales de relave están compuestos principalmente por sílice (84,5%), aluminio (6,2%), hierro (1,5%) y potasio (2,75%), y con contenidos de azufre bajos (0,05%). Esta distribución es indicativa de una mineralización con presencia de aluminosilicatos y arcillas, y una ausencia sulfuros. Los materiales del botadero presentan amplias variaciones, es decir sílice en rangos de 59 a 71%, aluminio entre 13,0 a 18,8%, hierro de 2,5 a 6,3%, titanio entre 0,2 a 0,8%, calcio de 0,4 a 2,0%, manganeso en rangos de 0,7 a 1,4% y S entre 0,17 a 0,57%. Solo potasio se observó en un rango más acotado de 5 a 6%. En la muestra de relave y del muro de seguridad el análisis químico por elementos traza muestra la presencia de Ag, Au y Sb en cantidades por encima de valores



normales, mientras las muestras del botadero solo obtienen valores relativamente altos en Au y Ag, aunque menores que los valores anteriores.

En los resultados de análisis por Difracción de Rayos-X se observó para las muestras del tranque de relave y del muro de seguridad la presencia de argentopirita ( $\text{AgFe}_2\text{S}_3$ ), entre otros, siendo concordante con los resultados de análisis químicos. En las muestras de botadero destaca la presencia de sulfatos y sulfuros. Entre otros se observó anglesita ( $\text{PbSO}_4$ ), argentopirita ( $\text{AgFe}_2\text{S}_3$ ), espujolsita ( $\text{Ca}_3\text{MnSO}_4$ ), amoniojarosita ( $(\text{NH}_4)(\text{Fe}_3)(\text{SO}_4)_2$ ) y rozenita ( $\text{FeSO}_4$ ). Todos los resultados de análisis químicos son compatibles con la mineralogía. Cuatro muestras de concentrados fluviales fueron analizadas por Difracción de Rayos-X. Aquí se destacó la presencia de minerales de fierro como hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), ilmenita ( $\text{FeTiO}_3$ ), maghemita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) y titanomagnetita ( $\text{Fe}_2\text{TiO}_4$ ).

Los dos muestras analizadas mediante del Test de Lixiviación SPLP no sobrepasaron la concentración máxima permisible (CMP) para ninguno de los parámetros mencionados en el Decreto Supremo No. 148 para determinar toxicidad extrínseca. Cabe mencionar que solo fueron analizadas los elementos As, Cd, Cr, Hg, Pb y Se, y que se necesitan una mayor cantidad de muestras y elementos para determinar posibles impactos relacionados con la infiltración de aguas superficiales y posterior lixiviación, percolación y posible difusión en medios porosos y/o saturados.

Sobre la base de los datos obtenidos en agua se observaron dos áreas con valores de arsénico, boro, selenio y flúor sobre los límites de las normas NCh.409/1 para agua potable, NCh.1333 para agua de riego y Decreto Supremo No. 90. Estas áreas se ubican en los alrededores del botadero del proyecto Cascada hacia norte y de la Laguna Verde. Dado que la Organización Mundial de Salud ha considerado estos elementos como dañinos para la salud humana, se recomienda monitorear ambas áreas para obtener más datos sobre un posible impacto ambiental.

### **4.3 El Toqui**

El Distrito Minero El Toqui se ubica aproximadamente a 22 km al Noreste de Villa Mañihuales. La mineralización es, predominantemente, de metales base (Zn-

Pb-Cu) y metales preciosos ( $\pm$ Ag,  $\pm$ Au) que se hospedan en calizas coquinoideas de la Formación Toqui y en vetas de Pb-Zn en la Formación Ibáñez.

La Faena Minera El Toqui posee una historia de explotación que data de más de 30 años, la cual se encuentra actualmente en pleno proceso productivo. La actividad está regulada, actualmente, según la normativa ambiental vigente y por las normativas sectoriales aplicable del Ministerio de Minería, fiscalizadas por Sernageomin. Entre las instalaciones en operación de la Faena minera El Toqui, la que tiene un componente de mayor relevancia ambiental corresponde al Tranque de Relaves Confluencia (TRC) el cual cubre una superficie aproximada de 18 has., con un volumen total acumulado de residuos que supera el millón de metros cúbicos de residuos mineros y que se encuentra en las ribera del río Toqui, con una distancia mínima de 30 m, y a una distancia mínima de 125 m del estero Porvenir, afluente del río Toqui.

En la periferia de la faena minera se tomaron 13 muestras de aguas superficiales y subterráneas para el análisis del contenido de elementos inorgánicos mayores y trazas, las que fueron analizadas en el Laboratorio Químico de SERNAGEOMIN. Además, se recolectaron tres muestras sólidas de relaves antiguos y una de suelos en la rivera del río Toqui, las que fueron analizadas mediante la metodología de Difracción de Rayos-X para obtener una cuantificación y caracterización del contenido mineralógico.

En total se reconocieron seis muestras de facies sulfatadas. Dos se encontraron en directa cercanía al tranque de relave, mientras que tres muestras se ubicaron en las cercanías de las piscinas de decantación y una en el río Toqui, antes de la confluencia con el estero Concordia. El resto de las muestras pertenece a la facies bicarbonatada cálcica. Los valores de pH se encontraron entre 5,9 y 7,86. Según el parámetro de Sólidos Disueltos Totales (SDT) las aguas se clasificaron en rangos de aguas dulces a salobres. Las dos muestras dentro del rango salobre se ubican en directa relación con las aguas del tranque de relave y presentaron también las concentraciones más altas de sulfatos, con 607 mg/l (XIAD-88) y 1.384 mg/l (XIAD-92), respectivamente. En un piezómetro en el sector del proyecto `depósitos de relaves espesados San Antonio´ (XIAD-90) se detectó un valor de 1,25 mg/l de flúor, superando el límite establecido en la NCh.1333 para agua de riego. Dado que la Organización Mundial de Salud ha considerado este elemento

como dañando para la salud humana, se recomienda extremar los cuidados para la utilización y eliminación de esta agua. En el análisis de elementos traza, tres muestras en hierro (Fe), seis en manganeso (Mn) y una en arsénico (As) se encontraron por sobre las normas establecidas para agua potable NCh.409/1 y/o agua para riego NCh.1333.

En los resultados de análisis de muestras sólidas por elementos mayores se determinó que los materiales de relaves antiguos poseen mayor porcentaje de hierro que sílice, al contrario de lo que ocurre con los sedimentos muestreados en la ribera del río Toqui, compuestos en gran medida por material movilizado desde el relave actual. También es notorio el mayor porcentaje de azufre en las muestras de relaves antiguos en relación a la muestra representativa del relave actual.

El contenido mineral de las muestras de relaves antiguos revelan la presencia de sulfatos, aluminosilicatos y, en menor abundancia sulfuros, con contenidos variables de hierro, plomo, cobre, níquel y zinc, dentro en la estructura mineral. En la muestra que se relaciona con depósitos movilizados desde el Tranque de Relaves Confluencia la mineralogía está compuesta, principalmente, por silicatos y silicatos hidratados de hierro y magnesio. En cuanto al contenido de elementos trazas se encontraron contenidos significativos de Ag, Au, Sb, Zn, Pb y As en todas las muestras. Los resultados obtenidos mediante el test de lixiviación SPLP no se encontraron niveles de concentración considerados tóxicos para ninguno de los elementos analizados. La muestra que obtuvo los valores de concentración más altos y cercanos a los valores umbrales de toxicidad, fue la muestra del Tranque El Toqui (muestra XISD-008), para los parámetros de arsénico y plomo.

## **V. ASISTENCIAS TÉCNICAS Y COOPERACIÓN**

Durante parte de la ejecución del Estudio FNDR 'Investigación Geológica Minera Ambiental de Aysén', a solicitud entidades gubernamentales y de otros Servicios Públicos de la Región de Aysén, canalizadas a través de la Oficina Técnica Coyhaique de SERNAGEOMIN, profesionales de este servicio, realizaron asistencias técnicas, colaboraciones y presentaciones informativas y científicas para la región (Informe Final, Volumen V). Las asistencias técnicas geológicas se enmarcaron dentro de la temática de peligros geológicos, particularmente relacionadas con

remociones en masa. Los resultados de tales asistencias técnicas se presentaron a través de Informes Técnicos que se incluyen en el Informe Final, Volumen V.

Por otra parte, SERNAGEOMIN realiza cooperación científica con el Internacional Centre for Geohazards (IGC), en particular en las temáticas de remociones en masa y tsunamis asociados con el sismo del 21.04.07 de Aysén. Así, durante parte de la ejecución de trabajos en terreno se realizaron observaciones conjuntas en el área de Fiordo Aysén. El objetivo principal fue realizar una completa recolección de datos y levantamientos en terreno orientados a la investigación de peligros geológicos por remociones en masa. Resultados parciales de las investigaciones han sido o serán presentados en diversos eventos de divulgación en el ámbito de ciencias de la tierra, con 5 artículos extendidos o resúmenes, en que investigadores de SERNAGEOMIN participan como coautores (Informe Final, Volumen V).

## **VI. SINTESIS DE LOCALIDADES ESTUDIADAS**

### **6.1 Área Puerto Raúl Marín Balmaceda**

#### **6.1.1 Geología Base**

El área de Puerto Raúl Marín Balmaceda se localiza en la desembocadura del río Palena, donde a través de su valle, de dirección aproximada Este-Oeste, se observan planicies asociadas con sus diferentes niveles de terrazas, mientras dominan amplias serranías tanto al Norte como al Sur. Trabajos regionales y de detalle (Informe Final, Volumen I) muestran cinco unidades geológicas mayores reconocidas para el área. El Complejo Metamórfico Los Chonos, constituido de esquistos micáceos, metabasaltos y metacherts aflora de manera restringida en la región costera. Secuencias sedimentarias y rocas volcánicas terciarias agrupadas en la Formación Traiguén, constituida de limolitas, areniscas, conglomerados, ignimbritas ácidas, basaltos almohadillados y diques, afloran también de manera restringida en la región costera. Los depósitos sedimentarios no consolidados del Pleistoceno-Holoceno están representados por depósitos fluviales, de playa, aluviales y de remociones en masa, además de depósitos glaciales. Se han identificado, además, depósitos laháricos provenientes del volcán Melimoyu. Conos monogénicos del Cuaternario, aunque restringidos se observan en el área del mapa

(e.g. Brazo Pillán). Rocas plutónicas asignadas al Batolito Nor-Patagónico son las que presentan una mayor expresión areal, distinguiéndose gabros (e.g. Gabro Punta Añihué), dioritas (e.g. Diorita La Junta) y tonalitas (e.g. Tonalita Estero Pitipalena), conjunto que ha sido asignado al Mioceno-Plioceno. Se infiere la presencia de la denominada Zona de Falla Yanteles-Melimoyu, de orientación aproximada Norte-Sur, que ha permitido el emplazamiento de grandes volcanes y conos monogénicos.

### **6.1.2 Hidrogeología**

El abastecimiento de agua de la localidad se realiza mediante la institución de un Comité de Agua Potable Rural (APR) el cual capta el agua desde un estero superficial (estero Sin Nombre) aproximadamente a 6,5 km del poblado. En el área de Puerto Raúl Marín Balmaceda no se han implementado herramientas que permitan un conocimiento estratigráfico subsuperficial de los depósitos sedimentarios, ni pozos para el aprovechamiento de agua subterránea, como para obtener datos hidrodinámicos o de calidad del agua, por lo que se realizó una caracterización aproximativa de unidades hidrogeológicas con base de observaciones de superficie y características teóricas de las unidades geológicas.

El análisis químico de una muestra superficial en el cauce principal del río Palena reveló su comportamiento estuarino, aproximadamente a 2,5 km previo a su desembocadura, con una muestra de salinidad tipo salobre (TDS de 3.150 mg/l). En el mismo cauce, 8 km aguas debajo de la desembocadura, una muestra del mismo cauce mostró una calidad de muy baja carga salina, de características químicas muy similares a muestras tomadas en el área de La Junta en el río Palena y río Rosselot. Con base de esta evidencia se infiere que no existen grandes procesos modificadores naturales, entre ambas localidades, que favorezcan la evolución de ellas en el transcurso de su cauce.

En el mapa Hidrogeología General Área Puerto Raúl Marín Balmaceda (Informe Final, Volumen III) se identificó una unidad con un potencial hidrogeológico alto, en depósitos sedimentarios de tipos fluviales y fluvioestuarinos que se encuentran como relleno principal de los mayores valles glaciales y llanuras fluviales actuales, en los que se infiere una aptitud probable para la habilitación de captaciones someras y moderadamente profundas (~ <50 m). La unidad definida con un potencial hidrogeológico moderado a bajo, está constituida por depósitos

sedimentarios de playa y Eólicos actuales y es la unidad más representativa del poblado local, en el sector de Punta Frutilla. El resto de las unidades geológicas tanto sedimentarias como de rocas conforman unidades hidrogeológicas de nulo a bajo potencial para la existencia de acuíferos de importancia.

### **6.1.3 Peligros Geológicos**

#### *Susceptibilidad y Peligros Volcánicos*

Lahares primarios y lahares secundarios generados en una eventual erupción del volcán Melimoyu, podrían afectar los cursos de los ríos Añihué, Bahía Mala, Melimoyu, Santo Domingo, Marchant y Palena. Este último curso de agua podría, eventualmente, encausar y/o transportar dichos aportes hacia el poblado de Puerto Raúl Marín Balmaceda.

## **6.2 Área Puerto Puyuhuapi**

### **6.2.1 Geología Base**

El área de Puerto Puyuhuapi se localiza, principalmente, sobre un valle de origen tectónico-glacial que representa a la traza principal del Sistema de Falla Liquiñe-Ofqui. Los antecedentes geológicos específicos del área del mapa son escasos. Trabajos regionales y de detalle (Informe Final, Volumen I) muestran cuatro unidades geológicas mayores reconocidas. Se distingue una secuencia sedimentaria y rocas volcánicas terciarias agrupadas en la Formación Traiguén, constituida de limolitas, areniscas, conglomerados, ignimbritas ácidas, basaltos almohadillados y diques, que afloran a lo largo de la parte occidental del Canal Puyuhuapi. Se distingue, además, el Grupo Volcánico Puyuhuapi constituido de, al menos, una decena de conos monogénicos de composición basáltica. Los depósitos sedimentarios no consolidados del Pleistoceno-Holoceno están representados por depósitos fluviales, de playa, aluviales y de remociones en masa, además de depósitos glaciales. Rocas plutónicas asignadas al Batolito Nor-Patagónico son las que presentan una mayor expresión areal, distinguiéndose dioritas (*e.g.* Diorita Risopatrón) y tonalitas (*e.g.* Tonalita Puyuhuapi), conjunto que ha sido asignado al Mioceno. El rasgo estructural más importante lo constituye el Sistema de Falla Liquiñe-Ofqui, de dirección aproximada nor-noreste y carácter transcurrente dextral, sobre cuya traza principal se emplaza el poblado de Puerto Puyuhuapi. Esta zona de

debilidad cortical ha permitido el emplazamiento de magmas y con ello la formación de conos monogénicos, tal como sucede con el Complejo Volcánico Puyuhuapi.

### **6.2.2 Hidrogeología**

El abastecimiento de agua potable de la localidad se realiza mediante la organización de un Comité de Agua Potable Rural, el cual posee una captación de agua superficial (estero Sin Nombre) situado próximo al acceso sur de la localidad. El sistema actual consta del año 2004 y habría sido diseñado para abastecer a la población con un horizonte de crecimiento de 25 años. En la localidad de Puerto Puyuhuapi y sus alrededores no existen obras de captación de aguas subterráneas de ningún tipo.

Las muestras analizadas según sus componentes inorgánicos mayores se clasifican en su totalidad como aguas bicarbonatadas cálcicas. El valor de Sólidos Disueltos Totales (SDT) fluctúa en un estrecho rango entre 20 y 55 mg/l, lo que equivale a una clasificación, de aguas dulces. Ambas características, facies química y baja carga salina, son indicativas de aguas de muy baja interacción con el subsuelo, probablemente de circulación rápida desde su precipitación, y/o sobre rocas poco reactivas. El pH fluctúa en un estrecho rango, entre 6,99 y 7,29 correspondiendo a aguas neutras. No se detectó presencia de nitratos en ninguna de las muestras. La presencia y concentración de elementos traza fue escasa, siendo zinc y hierro los únicos elementos detectados en todas las muestras. Otros elementos como el bario, aluminio y manganeso fueron detectados en fracciones variables del total de muestras. En general, todos los elementos trazas detectados solo se encontraron en concentraciones levemente por encima del límite de detección instrumental, sin alcanzar en ningún caso el valor normado para agua potable ni para uso de riego, según normas NCh.409/1 y NCh.1333.

En el mapa Hidrogeología General Área Puerto Puyuhuapi (Informe Final, Volumen III) se identificó, preliminarmente, como unidad hidrogeológica de alto potencial a los depósitos sedimentarios de origen fluvial que rellenan los cauces y terrazas de inundación de los ríos Pascua y Ventisqueros, así como en arroyos difusos dentro del valle tectónico-glacial que se desarrolla al noreste del Canal Puyuhuapi. Según el conocimiento geológico de superficie y su situación geomorfológica, se infieren condiciones variables de intercalación estratigráfica con

otras unidades sedimentarias y volcánicas del Holoceno, pudiendo existir distintos grados de confinamiento y potencias limitadas de los estratos más permeables. Tres unidades hidrogeológicas con potencial moderado a bajo están relacionadas con depósitos de origen glacioestuarino, de remoción en masa y fluviales y glaciofluviales de baja potencia. Se estima que en éstas se desarrollarían acuíferos de importancia local, con posibilidad de captaciones de limitada productividad. Los materiales definidos dentro de unidades de bajo potencial hidrogeológico (unidades C1, C2 y C3), aun cuando son muy poco conocidas, se estima que en ellas existen muy limitadas posibilidades para la existencia de acuíferos de importancia. Las unidades geológicas de rocas sedimentarias y rocas intrusivas no forman acuíferos por lo que son definidas de nulo potencial hidrogeológico.

### **6.2.3 Peligros Geológicos**

#### *Susceptibilidad por Remociones en Masa*

En el área de Puerto Puyuhuapi se reconocen deslizamientos de suelo y roca y flujos de detritos (Informe Final, Volumen II, Mapa de Inventario Área Puerto Puyuhuapi). Gran parte de ellos, se encuentran condicionados por la abrupta topografía y son desencadenados durante períodos de intensas precipitaciones. No se puede descartar que algunas de las remociones en masa antiguas puedan haber sido desencadenadas por sismos superficiales asociados con movimientos locales del Sistema de Falla Liquiñe-Ofqui, tal como ha ocurrido en otros sectores de la región con características similares (e.g. Fiordo Aysén, Abril de 2007). Flujos de detritos importantes, han ocurrido muy cerca de la localidad de Puerto Puyuhuapi, reconociéndose uno de mediana magnitud inmediatamente al oeste de su área urbana. El depósito de este flujo, con un recorrido estimado de 2,3 km, impactó un área próxima a lugares poblados. También, algunas remociones en masa menores, en tamaño y volumen, han sido desencadenadas por intervención antrópica, tal como ocurre en la Ruta-7 al Sur de Puerto Puyuhuapi, en donde, el aumento del ángulo del talud natural de las laderas para la construcción del camino provocó una desestabilización de estas lo que tuvo como consecuencia la ocurrencia de deslizamientos de suelo y roca. Sobre la base de la metodología utilizada (Informe Final, Volumen II) se determinaron tres zonas de acuerdo al grado de susceptibilidad, siendo estas catalogadas de alta, moderada y baja (Informe Final, Volumen II, Mapa de Susceptibilidad por Remociones en Masa Área Puerto



Puyuhuapi). En el caso particular del área urbana de Puerto Puyuhuapi, las zonas de alta susceptibilidad se encuentran en los cerros inmediatamente al O y NO, mientras que las zonas de moderada susceptibilidad, que podrían experimentar afectación por alcance de depósitos asociados a remociones en masa, se localizan en los cerros ubicados al E y NE. En lo referido a conectividad relacionada con los accesos a Puerto Puyuhuapi, fenómenos de remociones en masa podrían generar interrupción de las vías. En efecto, se reconocen zonas de alta susceptibilidad en el tramo de la Ruta-7 entre Puerto Puyuhuapi y la parte Norte del Lago Risopatrón y desde el sector del aeródromo al río Ventisquero. También, zonas de moderada susceptibilidad que podrían experimentar afectación por alcance de depósitos asociados a remociones en masa, se encuentran en el tramo de la Ruta-7 comprendido entre Puerto Puyuhuapi y el aeródromo.

### *Susceptibilidad y Peligros Volcánicos*

En el caso de una erupción del Grupo Volcánico Puyuhuapi, el poblado de Puerto Puyuhuapi, las riberas del Lago Risopatrón y la Carretera Austral presentarán susceptibilidad alta de ser afectados por corrientes de lava, lahares y flujos piroclásticos básicos menores. Caída de piroclastos densos ( $\sim 0,5 \text{ kg/m}^3$ ) con espesores de más de 10 cm afectaría al Poblado de Puyuhuapi y sus entornos inmediatos. Dado que una probabilidad de erupción en 100 años es de 11%, se infiere un peligro volcánico alto para el poblado de Puyuhuapi.

Por otro lado, ante una eventual erupción del volcán Melimoyu, Puyuhuapi presenta susceptibilidad media a ser afectado por caída de piroclastos que alcancen espesores superiores a 10 cm. En el caso de una eventual erupción del volcán Mentolat, Puerto Puyuhuapi también presentaría susceptibilidad media a ser afectado por caídas de piroclastos con espesores sobre 10 cm.

## **6.3 Área Puerto Cisnes**

### **6.3.1 Geología Base**

El área de Puerto Cisnes se localiza inmediatamente al Norte de la desembocadura del río Cisnes y en la parte oriental del Canal Puyuhuapi, el cual representa la traza principal del Sistema de Falla Liquiñe-Ofqui. Los antecedentes geológicos específicos del área del mapa son escasos. Trabajos regionales y de detalle (Informe Final, Volumen I) muestran tres unidades geológicas mayores

reconocidas. Se distingue una secuencia sedimentaria y rocas volcánicas terciarias agrupadas en la Formación Traiguén, constituida de limolitas, areniscas, conglomerados, ignimbritas ácidas, basaltos almohadillados y diques, que afloran a lo largo del borde oriental y occidental del Canal Puyuhuapi. Los depósitos sedimentarios no consolidados del Pleistoceno-Holoceno están representados por depósitos fluviales, de playa, de remociones en masa y glaciales, además de depósitos glacioestuarinos y fluvioestuarinos. Rocas plutónicas asignadas al Batolito Nor-Patagónico son las que presentan una mayor expresión areal, distinguiéndose tonalitas (e.g. Tonalita Cerro Esternón) y granitos (e.g. Granito Seno Magdalena y Granito Puerto Cisnes, conjunto que ha sido asignado al Mioceno). Datos de análisis químicos de elementos mayores y trazas muestran una tendencia calcoalcalina de potasio medio, con afinidades de arco volcánico para el conjunto de rocas intrusivas. Los patrones de elementos trazas, muestra una anomalía negativa en Eu para el Granito Puerto Cisnes, lo que sugiere una importante cristalización fraccionada de plagioclasa y/o fuente refractaria con plagioclasa para la generación del granito. En cambio, la Tonalita Cerro Esternón, presenta una anomalía positiva de Eu, lo que sugiere que es un acumulado de plagioclasa y anfíbolas, tal como se observa en la petrografía. El rasgo estructural más importante lo constituye el Sistema de Falla Liquiñe-Ofqui, de dirección aproximada nor-noreste siguiendo la dirección del Canal Puyuhuapi, de carácter transcurrente dextral.

### **6.3.2 Hidrogeología**

La empresa sanitaria Aguas Patagonia de Aysén S.A. brinda el abastecimiento de agua potable para el centro poblado, utilizando una captación de fuente superficial desde un estero (estero sin nombre). La calidad del agua desde esta fuente cumple íntegramente con la NCh.409/1 para agua potable. Según datos de la empresa el tratamiento de las aguas servidas se encuentra en un 91,21% de cobertura.

En el área de Puerto Cisnes se tomaron 21 muestras de agua para su análisis químico. Solo una muestra fue recolectada de agua subterránea en una noria (XIAPC-17). Se elaboró el mapa Hidrogeología General Área Puerto Cisnes (Informe Final, Volumen III), utilizando la definición de unidades hidrogeológicas en base de una valoración temática de las unidades geológicas del mapa Geología Base Área Puerto Cisnes (Informe Final, Volumen I).

En 18 muestras el bicarbonato fue el anión dominante entre los componentes inorgánicos mayores del agua. Solo en tres muestras el anión dominante fue el cloruro. Por parte de los cationes, 19 muestras han tenido calcio como ion dominante y dos, sodio. Los valores de pH obtenidos varían entre 6,79 a 7,44, lo que indica que se trata de aguas neutras, mientras que todas las muestras dieron como resultado aguas dulces. Los valores obtenidos en los análisis de los elementos traza, a excepción de hierro, se encontraron bajo de los límites establecidos en las normas para usos en riego y para agua potable, en todas las muestras. Cinco muestras superaron el valor límite establecido en la NCh.409/1 para agua potable para hierro. Las concentraciones detectadas pueden tener su origen en el medio natural y no son nocivas para la salud humana.

En el área de Puerto Cisnes se identificaron tres unidades en depósitos sedimentarios no consolidados con alto a moderado potencial hidrogeológico (unidades A1, A2 y A3). Estas unidades se concentran en depósitos fluviales, glaciofluviales y glacioestuarinos del Holoceno, todos asociados a los valles de los ríos Cisnes y María y al centro poblado Puerto Cisnes. Además, se definieron dos unidades en depósitos morrénicos del Holoceno y depósitos de remociones en masa del Holoceno Superior, con bajo potencial hidrogeológico (unidades C1 y C2). Estas unidades se encuentran en las laderas de los valles y en el área de dos lagos al este de Puerto Cisnes. Mientras que como unidad de nulo potencial hidrogeológico se definieron a las rocas sedimentarias, volcánicas e intrusivas que no forman acuíferos de ningún tipo (unidad D).

### **6.3.3 Peligros Geológicos**

#### *Susceptibilidad por Remociones en Masa*

En el área de Puerto Cisnes se reconocen deslizamientos, flujos de detritos y caída de rocas (Informe Final, Volumen II, Mapa de Inventario Área Puerto Cisnes). Gran parte de las remociones en masa son condicionadas por la abrupta topografía, el escaso desarrollo de suelo y la presencia de vegetación alta, junto a factores internos locales de las rocas, como el intenso fracturamiento y espesor de cobertura meteorizada. Como desencadenantes, destacan los períodos de intensas precipitaciones, las cuales saturan los suelos y detonan los numerosos eventos de deslizamientos y flujos de detritos reconocidos en el área. No se puede descartar

como un posible desencadenante para la ocurrencia de remociones en masa la actividad sísmica local. Esto último, debido a que la localidad de Puerto Cisnes se encuentra próxima a la traza principal del Sistema de Falla Liquiñe-Ofqui, la cual ha detonado recientes remociones en masa en otros sectores de la región con características similares (e.g. Fiordo Aysén, Abril de 2007). Deslizamientos de suelo son reconocidos en el cerro La Virgen, los cuales exhiben un coronamiento cercano a la cota 200 m s.n.m. sobre pendientes escarpadas y alcanzan un recorrido estimado de 300 m. De igual manera, al Este de la localidad, se reconoce un flujo de detritos de importantes dimensiones, originado en la cota 1.000 m s.n.m que alcanzó un recorrido aproximado de 1,5 km, el cual descendió hasta la planicie deltaica originando la formación de dos lagunas. Caídas de rocas, se reconocen en el cerro Esternón, inmediatamente al sur de Puerto Cisnes. Sobre la base de la metodología utilizada (Informe Final, Volumen II) se determinaron tres áreas de susceptibilidad, siendo estas catalogadas de alta, moderada y baja (Informe Final, Volumen II, Mapa de Susceptibilidad por Remociones en Masa Área Puerto Cisnes). Particularmente, en el área urbana de Puerto Cisnes, se determinó que las zonas de alta susceptibilidad se encuentran entre el faro de Puerto Cisnes y cerro La Virgen al Norte del poblado, lugar preferente de deslizamientos de suelo y, localmente, reptación. También se determinó, que las zonas catalogadas de moderada susceptibilidad, en el área urbana o muy próxima a ella, se ubican en el cerro Esternón, inmediatamente al Sur del poblado, lugar preferente de caída de rocas. La Ruta X-25, única vía terrestre para acceder a la localidad, podría ser interrumpida por los depósitos generados por procesos de remociones en masa. En este segmento alternan zonas de alta y moderada susceptibilidad. El poblado de Puerto Cisnes se emplaza sobre una zona catalogada de baja susceptibilidad, existiendo zonas de alta a moderada susceptibilidad, tanto en sus extremos Norte como Sur.

#### *Susceptibilidad y Peligros Volcánicos*

En el caso de una eventual erupción del volcán Mentolat, lahares secundarios podrán afectar al poblado de Puerto Cisnes y los caminos de acceso nuevo y viejo a dicho poblado por desbordes del estero San Luis y río Cisnes. Además, en el mismo supuesto evento volcánico, este poblado presentaría susceptibilidad alta a ser afectado por caídas de piroclastos con espesores sobre 10 cm.

Por otro lado, ante una eventual erupción del volcán Melimoyu, Puerto Cisnes presenta susceptibilidad media a ser afectado por caída de piroclástos que alcancen espesores superiores a 10 cm. Ante una erupción del volcán Maca-Cay, Puerto Cisnes presentará una susceptibilidad media de ser afectado por caída de piroclastos con espesores superiores a 10 cm.

### *Peligro de Inundaciones*

Sobre la base de observaciones de terreno y antecedentes bibliográficos (Informe Final, Volumen I) se estima que presentan un alto peligro de inundación por desborde de cauce, las terrazas bajo, aproximadamente, los 4 m que presentan cicatrices frescas de antiguos cauces del Río Cisnes, representando desbordes del mismo. Se estima, según las entrevistas y bibliografía, una recurrencia 6 a 10 años de inundaciones por crecidas. En un moderado peligro de inundación por desborde de cauce se incluyen las terrazas sobre los 4 m y no superior a 7 m, con características geomorfológicas y geológicas asociadas a cursos y planicies de inundación antiguas del Río Cisnes, las cuales correspondería a inundaciones mayores con recurrencia superior (ca. 50 años) asociada con megaciclos del fenómeno de El Niño (ENSO). Un bajo peligro de inundación por desborde de cauce incluye a las terrazas por sobre 7 m, con características geomorfológicas y geológicas asociadas a cursos y planicies de inundación muy antiguas del Río Cisnes y depósitos glaciofluviales antiguos. Por otra parte, presentan un alto peligro de inundación por saturación del sustrato aquellas áreas con morfología aterrazada, por sobre los 7 m de altura, asociadas a ambientes estuarinos y lacustres antiguos, fuera del curso del Río Cisnes (e.g. planicie al Este de Puerto Cisnes). Estos depósitos presentan, generalmente, baja capacidad de drenaje, generando humedales y lagunas. En superficie se observan humedales y flora de ambientes anegados.

## **6.4 Área Villa Mañihuales**

### **6.4.1 Geología Base**

El área de Villa Mañihuales se localiza en un dominio intra-cordillerano, aunque próximo a la región costera, sobre un valle de origen tectónico-glacial, donde se ha definido la presencia de la Falla Mañihuales. Los antecedentes geológicos específicos del área del mapa son escasos. Trabajos regionales y de

detalle (Informe Final, Volumen I) muestran tres unidades geológicas mayores. Las unidades estratificadas del Mesozoico, identificadas en el área de trabajo, son asignables a la Formación Ibáñez del Jurásico Superior–Hauteriviano temprano, representada por lavas y flujos piroclásticos de composición dacítica a riolítica, y a la Formación Divisadero del Aptiano, representada por lavas y tobas andesíticas a riolíticas. Los depósitos sedimentarios no consolidados del Pleistoceno-Holoceno están representados por depósitos fluviales, lacustres, de remociones en masa y glaciales. Las unidades intrusivas en la región están constituidas por diversos plutones asignados al Batolito Nor-Patagónico. Localmente, se distinguen el Granito Lago Largo del Cretácico Inferior alto constituido, mayoritariamente, por plutones monzograníticos, el cual presenta una gran extensión areal y genera metamorfismo de contacto en las rocas estratificadas del Mesozoico a las cuales intruye. El rasgo estructural más destacable del área es la denominada Falla Mañihuales, la cual presenta una orientación SSO-NNE, al Sur de Villa Mañihuales, y una orientación NNO-SSE, al Norte de dicho poblado, dominando las fallas de movimientos normales-dextrales al Norte de Villa Mañihuales y dextrales-inversos hacia el Sur.

#### **6.4.2 Hidrogeología**

En localidad de Villa Mañihuales el abastecimiento de agua potable de la población se realiza mediante la modalidad asociativa de Comité de Agua Potable Rural. La captación principal capta agua de un estero (estero sin nombre), ubicado aproximadamente a 500 m al oeste del poblado. Esta fuente sufre de recurrentes eventos de contaminación por torrentes con alta carga de sedimento, influenciado por los eventos de lluvias y por la presencia de un camino público que cruza en varios tramos al cauce. La localidad y el Gobierno Regional gestionan, actualmente la construcción de una nueva captación de tipo superficial, en el Estero Sonia, aproximadamente a 3 km al sureste del poblado. Se conoce en el área sólo una captación de tipo pozo profundo, propiedad de Forestal Mininco, que aprovecha recurso desde un acuífero freático desarrollado en sedimentos fluviales y glaciofluviales del valle del río Mañihuales.

En el área Villa Mañihuales se tomaron 8 muestras de agua para análisis químicos, entre las que se incluyen dos muestras de agua subterránea, cinco de cauces superficiales, y una del lago denominado Laguna Guzmán. La facies química dominante del área es del tipo bicarbonatada-cálcica, a excepción de la muestra

tomada en la Laguna Guzmán. Los valores de pH medidos en terreno indican la existencia de aguas comprendidas en un rango entre 6,3 a 7,98 lo que equivale a aguas levemente ácidas a levemente alcalinas. Según el parámetro de Sólidos Disueltos Totales (SDT), todas las muestras poseen valores inferiores a 100 mg/l por lo que se clasifican como aguas dulces. En cuanto a la alcalinidad total, expresada como  $\text{CaCO}_3$ , tres muestras poseen valores inferiores a 20 mg/l de  $\text{CaCO}_3$ , lo que significa que poseen un muy bajo poder amortiguador ante mezclas con fluidos ácidos. Dos muestras sobrepasan levemente el valor límite de concentración de hierro para consumo como agua potable, según norma NCh.409/1, las que corresponden a las dos captaciones utilizadas por el comité APR Villa Mañihuales. En resumen, la calidad del agua del área de Mañihuales se caracteriza por una muy baja carga salina, que en conjunto con la facies química dominante (de tipo bicarbonatada cálcica) es reflejo de un ambiente hidrogeológico dominado por rocas muy poco permeables y reactivas, con embalses subterráneos poco relevantes, tanto en dimensiones como en el tiempo de residencia e interacción de las aguas en la formación hospedante. El cauce superficial estero Sonia, sobre el cual se proyecta una nueva captación para el abastecimiento de agua potable para la localidad, cumple con una calidad apta en todos los parámetros inorgánicos analizados, según la normativa chilena actual de agua potable.

En el mapa Hidrogeología General Área Mañihuales (Informe Final, Volumen III), se identificaron tres unidades de alto potencial hidrogeológico (A1, A2, y A3), correspondientes a depósitos fluviales actuales, glaciofluviales del Pleistoceno-Holoceno y depósitos de remociones en masa del Holoceno, todos distribuidos y formando parte del relleno de los valles principales. Un pozo profundo habilitado en una terraza glaciofluvial, con 25 m de profundidad, muestra un nivel estático coincidente con el nivel del río Mañihuales. Se infiere una conexión hidráulica entre todas las unidades de alto potencial, y entre éstas y los cauces respectivos, por lo que se estima probable que extracciones de agua subterránea tendrán una relación de interferencia río-acuífero la cual debe ser evaluada en cada caso particular. Como unidad con moderado a bajo potencial hidrogeológico (unidad B) se definió a depósitos sedimentarios de diversos orígenes, que por su bajo espesor o potencia, y su posición sobre una unidad impermeable, forman acuíferos de importancia local, sólo aptos para captaciones someras de agua subterránea. Depósitos sedimentarios

de baja permeabilidad u otros situados en posición topográfica desfavorable para la infiltración y almacenamiento de agua se definieron como unidad de bajo potencial (unidad C), mientras que como unidades de nulo potencial hidrogeológico se definieron a las rocas ígneas intrusivas y volcánicas que no forman acuíferos de ningún tipo.

### **6.4.3 Peligros Geológicos**

#### *Susceptibilidad por Remociones en Masa*

En el área de Villa Mañihuales se verificó la presencia de deslizamientos, flujos de detritos y caída de rocas, aunque estas últimas muy locales y de volúmenes menores (Informe Final, Volumen II, Mapa de Inventario Área Villa Mañihuales). Las remociones en masa, se encuentran condicionadas por pendientes escarpadas y son desencadenadas durante períodos de precipitaciones intensas. No obstante, no se descarta que algunas de las remociones en masa más antiguas tuvieran como desencadenante la ocurrencia de sismicidad local asociada con actividad de la Falla Mañihuales, relacionada con el Sistema de Falla Liquiñe-Ofqui, tal como ha ocurrido en otros sectores de la región (e.g. Fiordo Aysén, Abril de 2007). En el área urbana de Villa Mañihuales se reconocen depósitos asociados a flujos de detritos provenientes de quebradas localizadas al este del poblado y deslizamientos originados en sectores de altas pendientes, también en su extremo oriental. Flujos de detritos y deslizamientos mayores se reconocen inmediatamente al oeste y suroeste de Villa Mañihuales, provenientes de la vertiente occidental del valle del río Mañihuales. Sobre la base de la metodología utilizada (Informe Final, Volumen II) se determinaron tres áreas de susceptibilidad, siendo estas catalogadas como alta, moderada y baja (Informe Final, Volumen II, Mapa de Susceptibilidad Área Villa Mañihuales). Particularmente, para el área urbana de Villa Mañihuales, las zonas de moderada a alta susceptibilidad de ser afectadas por procesos de remociones en masa se encuentran en los cerros ubicados al este del poblado, las cuales son propensas de ser afectadas por deslizamientos y flujos de detritos. En lo referido a conectividad, relacionada con la Ruta-7, el acceso sur presenta, en general, zonas de moderada a baja susceptibilidad y, localmente, zonas de alta susceptibilidad dadas por la ocurrencia de flujos de detritos provenientes del Cordón Ferruginoso. Por otra parte, el acceso norte presenta en general zonas de moderada a baja susceptibilidad, en el tramo Villa Mañihuales-Estero Pedregoso, mientras que el



tramo Estero Pedregoso hacia el Norte, presenta una zona con susceptibilidad moderada a alta, dada por la ocurrencia de flujos de detritos. La Ruta-7 constituye la única vía terrestre de acceso a Villa Mañihuales y la ocurrencia de remociones en masa pueden provocar la interrupción en su conectividad.

### *Susceptibilidad y Peligros Volcánicos*

El poblado de Villa Mañihuales presentaría susceptibilidad alta a ser afectado por caídas de piroclastos con espesores sobre 10 cm, en una eventual erupción del volcán Mentolat.

En el caso de un evento del volcán Maca Cay, Villa Mañihuales podría presentar una alta susceptibilidad de ser afectado por caídas de piroclastos con espesores superiores a 10 cm.

Por otra parte, ante una eventual erupción del volcán Melimoyu, Villa Mañihuales presenta susceptibilidad media a ser afectado por caída de piroclastos que alcancen espesores superiores a 10 cm. De similar forma, ante una erupción del volcán Hudson, este poblado presentaría una susceptibilidad media a ser afectado por caídas de piroclastos con espesores superiores a 10 cm.

## **6.5 Área Puerto Aysén-Puerto Chacabuco**

### **6.5.1 Geología Base**

El área de Puerto Aysén-Puerto Chacabuco se localiza, aproximadamente, a los 45°30' S. El área urbana de la ciudad de Puerto Aysén se emplaza en una amplia planicie fluvial del río Aysén, mientras que Puerto Chacabuco se localiza al sur del extremo oriental de Fiordo Aysén, sobre depósitos glaciales. Es notable el modelado glacial que exhibe la región, donde la mayor parte de los valles fueron esculpidos por los hielos, permaneciendo las características formas de valle en U. Las rocas del área son, mayoritariamente, rocas intrusivas y están representadas por plutones del Batolito Nor-Patagónico. Dominan las variedades dioríticas (e.g. Diorita Riesco), tonalíticas (e.g. Tonalita Marchant y Bahía Acantilada) y graníticas (e.g. Granito Portales), con edades que indican eventos magmáticos ocurridos en el Cretácico y el Mioceno. Depósitos sedimentarios no consolidados fluviales, glaciales y de remociones en masa, representan procesos ocurridos durante el Holoceno. El elemento estructural más importante de la región lo constituye el Sistema de Falla Liquiñe-Ofqui, sobre cuyas ramas se localizan numerosos volcanes y centros

eruptivos menores. Ramas oblicuas, en relación con la traza principal, son ocupadas por fiordos que penetran profundamente en la Cordillera Principal (e.g. Fiordo Aysén).

### **6.5.2 Hidrogeología**

La empresa sanitaria Aguas Patagonia de Aysén S.A. brinda el abastecimiento del agua potable para ambos centros poblados. En Puerto Aysén se aprovechan las aguas del río Arredondo y en Puerto Chacabuco, las aguas del estero Rogel. Según el personal de Aguas Patagonia la captación no presenta complicaciones para cumplir el rol de abastecimiento y la calidad del agua cumple íntegramente con la NCh.409/1 para agua potable. Según datos de la empresa el tratamiento de aguas servidas alcanza un 92,6% de cobertura en la ciudad de Puerto Aysén y un 73,85% en el poblado de Puerto Chacabuco.

En el área de Puerto Aysén y Puerto Chacabuco se tomaron 21 muestras para su análisis químico, tres de ellos de pozos profundos (XIAPA-15, XIAPA-16 y XIAPA-19). Se confeccionó el mapa Hidrogeología General Área Puerto Aysén-Puerto Chacabuco (Informe Final, Volumen III), para lo cual se definieron unidades hidrogeológicas mediante una valoración temática de las unidades geológicas del mapa Geología Base Área Puerto Aysén-Puerto Chacabuco (Informe Final, Volumen I).

En 19 muestras el bicarbonato fue el anión dominante entre los componentes inorgánicos mayores del agua. Los rangos de pH obtenidos varían entre 7,0 a 8,0, lo indica el dominio de aguas neutras a moderadamente alcalina. Según el parámetro 'sólidos disueltos totales' (SDT) la mayor parte pertenece a la categoría de aguas dulces (SDT<100 mg/l), mientras, sólo dos muestras se clasifican como aguas dulces a moderadamente mineralizadas, con 106 y 131 mg/l, respectivamente (XIAPA-16 y XIAPA-19). Ambos pozos están localizado en la península Fontaine y por tanto se recomienda hacer un monitoreo periódico, considerando los parámetros de salinidad y/o conductividad eléctrica y establecer un plan de manejo para evitar el ingreso de agua salina a los pozos. Cuatro muestras superaron levemente el límite establecido para el elemento hierro, según la normas NCh.409/1 para agua potable, mientras que dos muestras superaron el límite para el manganeso. Aunque no siempre una contaminación de hierro o manganeso está relacionada a una

actividad antrópica y los niveles encontrados, según las referencias consultadas, no serían nocivas para la salud humana, se sugiere monitorear las fuentes que presentaron concentraciones mayores para evitar una contaminación por eventos puntuales o concentraciones paulatina en el tiempo. En dos muestras se detectó presencia de nitrato, aún en concentraciones por debajo de las normas de calidad para agua potable y de riego (valores de 19,6 y 10,2 mg/l en las muestras XIAPA-16 y XIAPA-15). De igual manera, para estas fuentes se recomienda un plan de monitoreo, debido a que el nitrato representa comúnmente un indicador de introducción antrópica de cargas orgánicas, las cuales pueden ser acumulables en el tiempo. Cabe mencionar que las aguas subterráneas no muestran señales notorias de pérdida de calidad por intrusión de aguas marinas.

En el mapa Hidrogeología General Área Puerto Aysén-Puerto Chacabuco (Informe Final, Volumen III) se definieron tres unidades hidrogeológicas en depósitos sedimentarios no consolidados con alto a moderado potencial hidrogeológico (unidades A1, A2 y A3). Estas unidades se encuentran en depósitos fluviales del Holoceno, glaciofluviales del Pleistoceno y estuarinos del Holoceno, todos asociados a los valles de los ríos Aysén, Blanco y Los Palos y la parte suroeste de la Bahía Chacabuco. Además, se definieron dos unidades hidrogeológicas en depósitos morrénicos del Pleistoceno y remociones en masa del Holoceno, ambas de bajo potencial hidrogeológico (unidades C1 y C2). Estas unidades se encuentran en las laderas de los valles, en el área de Las Hormiguitas y Chile Nuevo, en los alrededores de la Laguna Los Curas, en la orilla nor-oeste del Lago Riesco y en la península Fontaine. Como unidades de nulo potencial hidrogeológico se definieron a las rocas ígneas intrusivas que no forman acuíferos de ningún tipo (unidad D).

### **6.5.3 Peligros Geológicos**

#### *Susceptibilidad por Remociones en Masa*

En el área de Puerto Aysén-Puerto Chacabuco se reconocen deslizamientos de suelo y roca, flujos de detritos y/o barro y, en menor proporción, caída de rocas (Informe Final, Volumen II, Mapa de Inventario Área Puerto Aysén-Puerto Chacabuco). Los procesos de remociones en masa están condicionados por factores internos como el grado de fracturamiento local y cobertura de meteorización que presentan las rocas. Entre los factores condicionantes externos destacan la

escarpada topografía de los cerros y cordones montañosos junto con la delgada cobertura de suelo que soporta vegetación alta. Gran parte de estas remociones en masa son detonadas durante procesos de intensas precipitaciones, mientras que otras son desencadenadas por sismos superficiales asociados al Sistema de Falla Liquiñe-Ofqui. En efecto, el 21 de Abril de 2007 un sismo (Mw 6,2) detonó numerosos deslizamientos, flujos de detritos y avalanchas de rocas en torno al Fiordo Aysén, particularmente en su extremo este. En la parte alta de Cerro Marchant se reconocen numerosos coronamientos y cicatrices, recientes y antiguos, de deslizamientos de suelo y roca así como caída de rocas, cuyos depósitos se localizan inmediatamente a sus pies. El alcance de estos depósitos no ha afectado las áreas pobladas de la ciudad de Puerto Aysén, aunque se ubican próximos a algunas viviendas localizadas en el tramo río del Los Palos-Playa Puerto Candil. En los Cerros del Rápido, inmediatamente al sur y sureste de Puerto Aysén, también se observan cicatrices y depósitos de deslizamientos antiguos. En este sector, estos procesos no han afectado directamente el área urbana, aunque algunas construcciones rurales podrían ser afectadas por el alcance de los depósitos. En el área urbana de Puerto Chacabuco no se han identificado depósitos importantes asociados a fenómenos de remociones en masa, aunque las pendientes escarpadas de las serranías próximas constituyen una condicionante significativa en la probable generación de eventos de este tipo. Sobre la base de la metodología utilizada (Informe Final, Volumen II), se determinaron tres zonas de acuerdo al grado de susceptibilidad, siendo estas catalogadas de alta, moderada y baja (Informe Final, Volumen II, Mapa de Susceptibilidad por Remociones en Masa Área Puerto Aysén- Puerto Chacabuco). Considerando el caso particular del área urbana de la ciudad de Puerto Aysén y su entorno inmediato, las zonas de alta y moderada susceptibilidad se encuentran, principalmente, en las laderas y zonas bajas del Cerro Intendente Marchant y de los Cerros del Rápido, y corresponden a sectores donde pueden ser generados estos fenómenos o sectores que pueden experimentar el alcance de depósitos producto de deslizamientos, flujos de detritos o caída de rocas. Cabe destacar que el área urbana de la ciudad de Puerto Aysén se emplaza sobre una zona considerada de bajo grado de susceptibilidad. Para el área urbana de Puerto Chacabuco, una zona de alta susceptibilidad se ubica en el sector del terminal portuario, inmediatamente al sureste. Aquí, deslizamientos de suelo y en menor grado de rocas podrían afectar parcialmente las instalaciones. Zonas de moderada

susceptibilidad, se ubican en toda la ladera nor-oeste del cerro Rojel, pudiendo afectar en forma parcial el área sur-este de Puerto Chacabuco, principalmente, por depósitos asociados a flujos de detritos o deslizamientos. Gran parte del área urbana de Puerto Chacabuco se emplaza sobre una zona considerada de bajo grado de susceptibilidad. En el extremo oriental del Fiordo Aysén, particularmente en Ensenada Acantilada, se destaca la presencia de una amplia zona de alta susceptibilidad, donde se ha verificado la ocurrencia de deslizamientos de suelo y roca, flujos de detritos y avalanchas de rocas. Los depósitos asociados, podrían afectar de manera indirecta, aunque importante, a Puerto Aysén y Puerto Chacabuco. Así, durante el sismo (Mw 6,2) de Aysén de Abril de 2007, grandes volúmenes de materiales alcanzaron la costa norte del Fiordo Aysén, generando un tsunami de importantes dimensiones, con olas de 6 a 8 m. Si fenómenos volumétricamente similares ocurrieran en Ensenada Acantilada, con generación de un tsunami asociado, aquellas áreas costeras y bajas de ambas localidades podrían ser afectadas por inundaciones, efecto que ha sido modelado por el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada. Para efectos de conectividad del área de estudio, la Ruta CH-240 presenta, de manera muy local y solo en el tramo Puerto Aysén-Puerto Chacabuco, zonas de moderada y alta susceptibilidad de ser afectada por procesos de remociones en masa.

#### *Susceptibilidad y Peligros Volcánicos*

Si se considera una eventual erupción del volcán Maca-Cay, lahares primarios podrán afectar las riberas del Lago Yulton y Meullín. Lahares secundarios podrían afectar las cuencas de los ríos Tabo, Los Palos y Blanco, con su consecuente movilización y repercusión en los poblados de Puerto Aysén y Puerto Chacabuco. Los flujos piroclásticos, en este mismo caso, podrán afectar un radio de 15 km a partir de los centros emisores, en particular la cuenca del río Tabo y lahares asociados podrían afectar a Puerto Aysén. En este caso, Puerto Aysén podría presentar una alta susceptibilidad de ser afectado por caídas de piroclastos con espesores superiores a 10 cm. En el caso de una erupción del volcán Hudson, lahares secundarios se encausarían por el valle del río Blanco, afectando la ciudad de Puerto Aysén. Por otro lado, esta ciudad presentaría susceptibilidad media a ser afectada por caída de piroclastos con espesores sobre 10 cm, en una eventual erupción del volcán Mentolat.

## *Peligros de Inundación*

Inundaciones causadas por crecidas de ríos tienen una estrecha relación con períodos de intensas precipitaciones. Antecedentes preliminares, sobre la base de conversaciones con lugareños, señalan importantes inundaciones en los años 1965-66, décadas del 70, año 1982-85 y 1998, así como en el 2001 y 2008 en la Región de Aysén. Estos datos sugieren que existiría una recurrencia de 6 a 10 años para eventos de inundación importantes en la región. Esta recurrencia y fechas de inundaciones coincide, en parte, con aquella propuesta para eventos pluviométricos denominados 'fuertes' (8-10 años) asociados con el Fenómeno de El Niño (ENSO, El Niño Southern Oscillation). Preliminarmente, las áreas más susceptibles a ser afectadas por inundaciones por crecidas del río Aysén, corresponderían a aquellas terrazas más bajas, localizadas inmediatamente al oeste de la ciudad y con altitudes estimadas de 4 m s.n.m. Aquellas terrazas más altas (>7 m s.n.m.) pueden presentar un cierto peligro de inundación, aunque por saturación del sustrato. Abundantes precipitaciones también podrían implicar la activación de antiguos cauces del río Aysén (meandros abandonados), junto con crecidas de los ríos Los Palos, Pangal y Turbio, y otros cauces menores.

### **6.6 Área Caleta Tortel-Puerto Yungay**

#### **6.2.1 Geología Base**

La localidad de Caleta Tortel se emplaza en la desembocadura del río Baker, mientras que Puerto Yungay lo hace en la ribera norte del fiordo conocido como Estero Michell. Los antecedentes geológicos específicos del área del mapa son escasos, mientras observaciones de campo (Informe Final, Volumen I) muestran el dominio de dos unidades geológicas mayores. El Complejo Metamórfico Andino Oriental está constituido por esquistos micáceos, filitas, mármoles y escasos esquistos máficos, asignados al Ordovícico-Carbonífero. Por otra parte, las rocas plutónicas son asignadas al Batolito Patagónico y están constituidas por plutones dioríticos (e.g. Diorita Isla Morgan) a graníticos (e.g. Granito Tortel), y son asignados al Cretácico. Depósitos sedimentarios no consolidados fluviales, lacustres, glaciales y de remociones en masa, representan procesos ocurridos durante el Holoceno. En el área se describen fallas sinestrales a través de las cuales se emplazaron diques microdioríticos, ambos en una orientación NNE-SSO, así como fallas sinistrales de

orientación ONO-ESE. Lo anterior, en relación a la geomorfología del valle del Río Baker, sugiere que este valle representaría una cuenca tipo *'pull apart'* en un régimen transtensional.

### **6.2.2 Hidrogeología**

El abastecimiento del agua potable del centro poblado Caleta Tortel está organizado bajo un comité de Agua Potable Rural (APR) y depende de una captación en el cuerpo lacustre denominado Laguna Tortel. Numerosas opiniones de habitantes del sector indicaron la existencia de distintos problemas de la red de abastecimiento, como la escasa presión de agua en casos de incendios, congelamiento de cañerías de las redes superficiales de conducción. El mismo recurso es también utilizado para la generación de electricidad, por lo que los mismos problemas traen consigo dificultades para el abastecimiento eléctrico.

En el área de Caleta Tortel se tomó una muestra de aguas superficiales para su análisis químico. En el mapa Hidrogeología General Área Caleta Tortel-Puerto Yungay (Informe Final, Volumen III), se definieron unidades hidrogeológicas en base de una valoración temática de las unidades geológicas del mapa Geología Base Área Caleta Tortel-Puerto Yungay (Informe Final, Volumen I).

Según el análisis de los elementos mayores, la muestra pertenece al grupo de aguas cloruradas cálcico-magnésicas, siendo la fuente más probable del cloruro las precipitaciones o como aerosol desde las aguas marinas. La alcalinidad total en este punto fue de 1,5 mg/l, considerado muy bajo en su poder amortiguador ante eventos que pueden cambiar el pH. Excepto del valor obtenido para el pH, el agua cumple con las normas NCh.1333 para agua de riego y NCh.409/1 para agua potable. El pH de la muestra se encontró en 5,01, lo que equivale a un nivel de acidez moderadamente ácido. En este nivel de acidez se puede facilitar el movimiento de metales pesados, pudiendo favorecer la concentración de estos hasta niveles de contaminación.

En el área de Caleta Tortel-Puerto Yungay se identificaron dos unidades con alto a moderado potencial hidrogeológico (unidades A1 y A2) en depósitos sedimentarios no consolidados, los que se ubican en depósitos fluviales y litorales del Holoceno y glaciofluviales del Pleistoceno(?)-Holoceno principalmente en las áreas del cauce del río Baker, Puerto Yungay y un área al oeste de Puerto Yungay.

Como unidad con bajo potencial hidrogeológico (unidad C1) se definió a los depósitos de remoción en masa del Holoceno, situados en las laderas de los valles. Los depósitos sedimentarios de origen glaciolacustre, constituidos por gruesas capas de sedimentos limo-arcillosos, son definidos como de nulo potencial hidrogeológico, de igual manera que las rocas intrusivas y metamórficas pre-cenozoicas.

## **6.7 Área Coyhaique**

### **6.7.1 Geología Base**

La ciudad de Coyhaique está emplazada a los pies del cordón de cerros Divisaderos, en la confluencia de los valles de los ríos Simpson y Coyhaique. Del punto de vista geomorfológico, estos extensos valles muestran fondos amplios con lomajes suaves y sectores de relieve relativamente plano, originados, en parte, por acción del avance y retroceso glaciar. Estos habrían labrado los valles dejando en ellos los depósitos morrénicos y rocas aborregadas que se observan hoy en día. Además, el retiro del hielo habría generado lagos proglaciares, donde se acumularon sedimentos finos que dieron lugar a depósitos de arcillas y limos laminados. Por otro lado, el retroceso glaciar produjo gran cantidad de agua de fusión, lo que permitió el trabajo fluvial de depósitos preexistentes, acumulándose en este proceso gravas y arenas estratificadas que tienden a conformar una morfología de relieve relativamente plana. Del punto de vista litológico esta zona se caracteriza, principalmente, por la presencia de rocas estratificadas del Cretácico Inferior (Informe Final, Volumen I). Por una parte, rocas sedimentarias marinas, consistentes en lutitas negras y areniscas del Grupo Coyhaique (formaciones Katterfeld y Apeleg), se presentan bien expuestas en la entrada noroeste de la ciudad. Por otro lado, rocas estratificadas volcanosedimentarias y piroclásticas, de la Formación Dividasero, conforman la mayor parte de los cerros circundantes a la ciudad. Se destacan, además, algunos cuerpos de rocas intrusivas someras y cuellos volcánicos del Cretácico superior, como el cerro MacKay, conformado por rocas con estructura columnar. En menor proporción y en zonas bajas de los valles, se disponen cuerpos intrusivos hipabisales de pequeño tamaño, del Cenozoico.

### **6.7.2 Hidrogeología**

El área del estudio (Informe Final, Volumen III) hidrogeológico corresponde a un rectángulo definido por las coordenadas UTM: 718.000 y 738.000 E y 4.954.000



y 4.932.000 N (PSAD 1969, Huso 18), cubriendo una superficie de 480 km<sup>2</sup>, e incluye a la ciudad de Coyhaique y la aldea de Valle Simpson.

La ciudad de Coyhaique posee un sistema de abastecimiento de agua potable concesionado, ejercido por la empresa sanitaria Aguas Patagonia S.A., implementado en base a captaciones exclusivamente de fuentes superficiales. La localidad de Valle Simpson, por su parte, de tan sólo 347 habitantes, se abastece de agua potable bajo la modalidad de organización comunitaria, en un comité de agua potable rural (APR). El Comité APR Valle Simpson consta de 140 arranques de distribución, según datos aportados por su operador. Su captación corresponde a un pozo profundo, cuyos derechos se encuentran en trámite, por un caudal de 2 l/s. En el área de estudio existen al año 2010 un total de 112 registros de derechos constituidos desde fuentes subterráneas, de las cuales 107 corresponden a captaciones someras y sólo 5 corresponden a pozos profundos. Los caudales registrados para captaciones someras (de 107 captaciones con derechos constituidos) poseen una media de 0,8 l/s, un máximo de 4 l/s, siendo el 80,4% inferior a 1,5 l/s. En cuanto a los pozos profundos, estos se encuentran habilitados en acuíferos desarrollados en rellenos sedimentarios fluviales, aluviales, de remoción en masa y sobre algunos tipos de rocas.

### *Geofísica*

Se utilizó la técnica de 'sondajes eléctricos verticales' (SEV) con la finalidad de efectuar un diagnóstico de los materiales del subsuelo por medio de la medición de la resistividad que ellos presentan al paso de una corriente eléctrica inducida. En total se efectuaron 32 SEV, los cuales se agruparon por sectores: Ciudad de Coyhaique, El Verdín-Coyhaique Bajo, El Claro, Panguilemu, En senada Río Simpson, Valle Simpson, Alto Baguales.

En el sector Ciudad de Coyhaique los modelos de capas geoelectricas resultantes de cada SEV reconocen una configuración del subsuelo relativamente homogénea, en la que los elementos más comunes son la presencia de capas de muy baja resistividad, interpretadas como sedimentos arcillosos de origen glaciolacustre, y un cambio hacia resistividades moderadamente bajas como capa final, interpretado como las rocas de la Formación Katterfeld. Un esquema general del subsuelo en el sector urbano de Coyhaique se presenta en la figura 1.

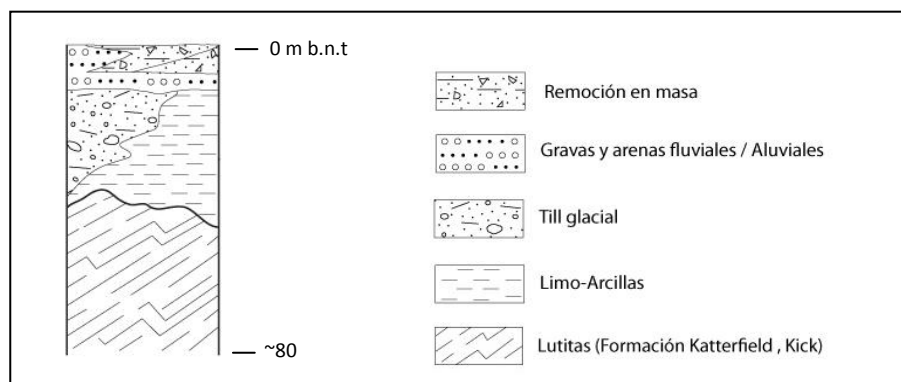


Figura 1. Columna geológica generalizada del área urbana de Coyhaique (m b.n.t.: metros bajo nivel del terreno).

Intervalos sugeridos para la exploración por sondajes mecánicos o habilitación de pozos excavados, para todos los sectores del área Coyhaique-Valle Simpson medio, se presentan en la tabla siguiente.

SEV	Intervalo sugerido para exploración (m)	SEV	Intervalo sugerido para exploración (m)
<b>Sector Ciudad de Coyhaique</b>		<b>Sector Ensenada Río Simpson</b>	
CCO-1	1 a 6	ERS-2	120 - 150
CCO-2	1 a 26	ERS-3	1,5 a 6 / 44 a 150
CCO-3	1,5 a 21	ERS-4	2 a 71
CCN-1	8 a 31	ERS-5	53 a 140
CCN-2	1 a 26	<b>Sector Valle Simpson</b>	
<b>Sector El Verdín-Coyhaique Bajo</b>		VSI-1	1,5 a 14 / 43 a 140
EVE-1	1 a 35	VSI-2	3.5 a 20
COB-1	2,5 a 21	VSI-3	1,5 a 20
<b>Sector El Claro</b>		VSI-5	9,5 a 32 / 50 a 1000
ECL-4	20 a 80	<b>Sector Alto Baguales</b>	
ECL-3	23 a 94	ABA-1	8 a 58
<b>Sector Panguilemu</b>		ABA-2	1 a 36
PAN-2	2 a 12		
PAN-3	90 a 150		
PAN-4	84 a 150		
PAN-5	2 a 12		

## *Hidroquímica*

Mediante un análisis preliminar de patrones característicos de la composición química de los iones principales disueltos ( $\text{HCO}_3$ ,  $\text{CO}_3$ ,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{Cl}$ ,  $\text{Na}$ ,  $\text{K}$ ,  $\text{Ca}$  y  $\text{Mg}$ ) de las aguas de toda la zona en relación a la conductividad eléctrica, se distingue que la mayor parte de las aguas conforma un grupo común que se relacionan con un patrón lineal de datos agrupados (*'cluster'*) similar al patrón de una línea de mezcla. Estos datos representan al 85% de las muestras y se pueden caracterizar por una carga iónica o de sólidos disueltos totales (SDT) inferior a 160 mg/l. Siendo las muestras representativas de un área geográfica muy diversa en la cual no se puede establecer relaciones de conexión entre muchas de las fuentes de agua analizadas y, tampoco relaciones de mezcla propiamente tal, se interpreta este patrón como una forma homogénea en la adquisición natural de iones en el medio por el cual circula el agua, luego de ser precipitada. Aquellas muestras que se alejan del patrón de distribución lineal de datos agrupados son interpretados como producto de la afectación por actividades antrópicas (XIAD-001, XIAD-021, XIAD-046) o por características distintivas de la fuente de captación (XIAD-027, XIAD-035, XIAD-038).

Entre las actividades antrópicas que otorgan efectos modificadores a la calidad química del agua, se identificó al ex-vertedero municipal el cual afecta la calidad química del agua subterránea o de flujo subsuperficial que infiltra desde la zona del vertedero y que emana en la forma de manantiales a pocas decenas de metros aguas abajo. Los parámetros alterados en la muestra XIAD-001, son TDS (456 mg/l), pH (8,05) y hierro (0,57 mg/l), este último por sobre la norma para agua potable NCh.409/05. En la muestra XIAD-046 son TDS (607 mg/l), nitrato (13 mg/l), bario (0,159 mg/l), hierro (0,39 mg/l) y trazas de cromo (0,002) mg/l. En esta muestra sólo el hierro sobrepasa levemente el valor normado para consumo de agua potable NCh.409/05. La muestra XIAD-021 fue tomada en una captación próxima a una industria de maderas procesadas, y en ella se identificaron efectos modificadores en relación a las aguas naturales, en los parámetros de sodio porcentual (82%), de boro (0,21 mg/l) y plomo (0,067 mg/l). El primero de estos parámetro supera ampliamente la norma para de uso en riego NCh.1333, mientras que para el consumo potable la concentración de plomo se encuentra por sobre la norma.

En el resto de las muestras, en relación a los valores normados para consumo de agua potable según NCh.409/05, ocho alcanzan o superan el valor para hierro (XIAD-004, XIAD-081, XIAD-080, XIAD-027, XIAD-026, XIAD-006, XIAD-035 y XIAD-038). Dos muestras superan el límite para manganeso (XIAD-004 y XIAD-022) y tres muestras superan el valor normado por concentración de plomo (XIAD-009, XIAD-012 y XIAD-015). Estas últimas, corresponden a muestras tomadas desde el grifo o llave o desde captaciones construidas en cemento, pudiendo provenir el contaminante desde cualquiera de estos medios.

### *Unidades Hidrogeológicas*

Se identificaron cuatro unidades hidrogeológicas de potencial diferente: alto (unidades A), moderado a bajo (unidades B), bajo (unidades C) y nulo (unidades D) para la existencia de acuíferos de importancia, especificando cuando se trata de unidades desarrolladas en sedimentos no consolidados o en rocas. La distribución de estas unidades se representa en el Mapa Hidrogeología General Área Coyhaique-Valle Simpson Medio (Informe Final, Volumen III). Las unidades de alto potencial hidrogeológico se restringen a depósitos fluviales y aluviales situados en la llanura de inundación y terrazas en los valles de los ríos Pollux y Simpson. En la unidad A2 existe un pozo con un caudal de ensayo constante de 18 l/s, con evidencias de conexión hidráulica entre ambas unidades A1 y A2 con el cauce del río Simpson. Unidades con potencial moderado a bajo (unidades B1 y B2) se encuentran en depósitos fluviales de cauces actuales de baja potencia de ríos Simpson, Coyhaique, Claro y otros de menor jerarquía, y en algunos depósitos aluviales y de remoción en masa. Estas unidades tienden a desarrollar acuíferos de carácter local con volúmenes limitados de almacenamiento y de diversa permeabilidad, por lo que en ellos existe potencial para la habilitación de captaciones de moderada a baja productividad. Como unidades con bajo potencial se identificaron a sedimentos no consolidados de baja permeabilidad, y aquellos situados en posiciones topográficas desfavorables para la existencia de infiltración y almacenamiento de agua subterránea. También a formaciones de rocas sedimentarias y volcánicas que exponen características de meteorización superficial (principalmente fracturamiento), en topografías levemente onduladas. Finalmente, como unidades de nulo potencial hidrogeológico, es decir, sin posibilidades de conformar acuíferos de importancia, se definieron aquellas rocas sedimentarias que afloran en los

relieves de cordones montañosos, aquellas rocas de origen ígneo, intrusivo, y sedimentos de origen glaciolacustre y morrénico glacial con alto contenido de arcillas.

### **6.7.3 Peligros Geológicos**

#### *Susceptibilidad por Remociones en Masa*

En el área de Coyhaique se reconocen deslizamientos, flujos de detritos y caídas de rocas (Informe Final, Volumen II, Mapa de Inventario Área Coyhaique). La gran mayoría de las remociones en masa, son condicionadas por factores externos como la abrupta topografía y la existencia de una delgada cobertura vegetal. Como principales factores internos aparecen el fuerte fracturamiento local de las rocas y el tipo litológico, que en algunos casos, corresponden a depósitos sedimentarios no consolidados (Informe Final, Volumen I, Geología Base Área Coyhaique). Los períodos de intensas precipitaciones, son el principal factor desencadenante de los deslizamientos y flujos de detritos observados en el área, aunque algunos deslizamientos detonados por intervención antrópica también son observados en los taludes de caminos. Los deslizamientos reconocidos en la ciudad de Coyhaique y alrededores se ubican, principalmente, en el Cordón Divisadero, camino Coyhaique-Puerto Aysén y en taludes y coronas de las quebradas que circundan la ciudad. En la parte alta de la ladera Norte del Cordón Divisadero, los fenómenos de deslizamientos son recurrentes, reconociéndose los depósitos asociados a estos procesos en prácticamente toda su base, algunos de los cuales alcanzaron las partes altas donde hoy se emplaza la ciudad de Coyhaique, en su extremo Sur. En la Ruta-7, que une las ciudades de Coyhaique y Puerto Aysén, es posible reconocer una gran área de deslizamientos del tipo multitrotacional que afecta, principalmente, a lutitas de la Formación Katterfeld y, en menor proporción, a areniscas verdes de la Formación Apeleg (Informe Final, Volumen I, Geología Base Área Coyhaique). El área involucrada presenta una extensión aproximada de 4 km y un ancho estimado de 1,5 km. Las caídas de rocas se encuentran asociadas a cuerpos hipabisales ubicados en los cerros al sur de la ciudad, pertenecientes al Cordón Divisadero y, en especial, al cerro MacKay. Este último, corresponde a un cuerpo dacítico del Cretácico Superior (Informe Final, Volumen I, Geología Base Área Coyhaique). Las laderas subverticales a verticales asociadas con fuerte disyunción columnar que exhibe este cuerpo dacítico, facilita este tipo de remoción en masa, creando grandes

depósitos del tipo escombros de falda y caída de rocas observados en el flanco occidental del cerro MacKay en la salida Sur de la ciudad. Flujos de detritos han ocurrido históricamente en la ciudad de Coyhaique. Se consignan, eventos ocurridos los años: 1928; 1934; 1956; 1966; 1977; y diciembre de 1985 (Informe Final, Volumen II). El flujo de detritos, ocurrido el 18 de Mayo de 1966, fue el más importante en lo referido a daños a la población como a la infraestructura. Lluvias de inusual intensidad, provocaron la destrucción total de al menos 20 viviendas en la Población Víctor Domingo Silva, consignándose la pérdida de 6 vidas, junto con incalculables daños materiales en viviendas y servicios básicos como agua potable y electricidad (Informe Final, Volumen II). Lo anterior, ejemplifica el fuerte impacto que este tipo de procesos ha provocado sobre el área en donde hoy se emplaza la ciudad y la gran distancia que ellos pueden alcanzar. Sobre la base de la metodología utilizada (Informe Final, Volumen II) se determinaron tres zonas de acuerdo al grado de susceptibilidad, siendo estas catalogadas de alta, moderada y baja (Informe Final, Volumen II, Mapa de Susceptibilidad por Remociones en Masa Área Coyhaique). En particular, para la ciudad de Coyhaique y su entorno inmediato, las zonas de alta susceptibilidad se encuentran ubicadas próximas al Cordón Divisadero y, especialmente, en las quebradas que descienden desde sus partes altas (e.g. quebradas MacKay, Las Lengas, Los Coigues, El Carbón y Las Lumas) y cruzan la ciudad de Coyhaique desde el sur hacia el norte. Las zonas de moderada susceptibilidad se encuentran en el límite sur de la ciudad, que corresponden a las partes altas de Coyhaique, muy próximas al flanco norte del Cordón Divisadero. En lo referido a la conectividad, la Ruta-7 tanto al norte como hacia el sur de Coyhaique, también corresponde a zonas catalogadas como de alta susceptibilidad de ser afectadas por el alcance de los depósitos asociados, los cuales podrían interrumpir el tránsito a través de la ruta.

### *Susceptibilidad y Peligros Volcánicos*

Ante una eventual erupción del volcán Hudson, flujos piroclásticos podrían afectar todos los valles en el entorno al volcán en un radio de 15-20 km. La ciudad de Coyhaique presentará susceptibilidad alta de ser afectada por caída de piroclastos con espesores superiores a 10 cm.

En el caso de una erupción del volcán Maca Cay, Coyhaique podría presentar alta susceptibilidad de ser afectados por caída de piroclastos con espesores

superiores a 10 cm. Por otro lado, esta ciudad presentaría susceptibilidad media a ser afectada por caídas de piroclastos con espesores sobre 10 cm, en una eventual erupción del volcán Mentolat.

## **6.8 Área Villa Cerro Castillo**

### **6.8.1 Geología Base**

La localidad de Villa Cerro Castillo se presenta en el amplio valle del río Ibáñez, cuyo cauce cruza en este sector una depresión estructural de aproximadamente 30 por 18 km de extensión. Predominan en esta área rocas estratificadas volcanosedimentarias y piroclásticas de la Formación Ibáñez, del rango Jurásico Superior-Cretácico Inferior. Marginalmente se encuentran rocas estratificadas marinas, formadas por coquinas y lutitas negras de las formaciones Toqui y Katterfeld, del Cretácico Inferior. Locamente, las unidades estratificadas se encuentran intruidas por rocas plutónicas y por cuerpos hipabisales del Cretácico Superior, parte de los cuales corresponden a una extensión hacia el oriente del Batolito Patagónico en esta latitud (Informe Final, Volumen I). Esta área se caracteriza, en parte importante, por el relieve rocoso en la zona baja de la depresión estructural, donde se observa la huella del paso de los glaciares. En efecto, muchos de los afloramientos exhiben paredes o planos rocosos lisos y estriados, conformando rocas aborregadas. Por otro lado en este sector se encuentran abundantes lagos de pequeño y mediano tamaño heredados del proceso glacial. Otro aspecto que resulta relevante en los alrededores de Villa Cerro Castillo, es la acumulación de material piroclástico, principalmente en el rango de tamaño cenizas y lapilli, que produjo la erupción del volcán Hudson en 1991. El río Ibáñez todavía continúa transportando este material en suspensión y acumulándolo en algunas llanuras de inundación.

### **6.8.2 Hidrogeología**

El abastecimiento de agua potable para la población es suministrado por un Comité de Agua Potable Rural cuya captación aprovecha las aguas superficiales del estero Del Bosque. Según explicó el operador del comité el sistema abastece sin inconvenientes de calidad ni cantidad de recurso las demandas actuales de la población. Sin embargo, existirían problemas inherentes a la dinámica fluvial en su acción de sedimentación, principalmente durante crecidas.

Cuatro muestras de agua se analizaron para constatar sus características químicas y de calidad por medio de análisis por elementos inorgánicos mayores y trazas. Además, se efectuaron cuatro Sondajes Eléctricos Verticales (SEV) en terrazas fluviales y aluviales del margen norte del río Ibáñez, en los alrededores del poblado de Villa Cerro Castillo.

Según el parámetro de sólidos disueltos totales (SDT) una muestra corresponde a agua dulce y tres a aguas dulces, moderadamente mineralizadas. En ninguna muestra se detectó la presencia de nitratos, mientras que, dos muestras excedieron levemente el valor límite para el agua potable en el parámetro hierro. En síntesis, la calidad del agua del estero Del Bosque posee una baja carga de sólidos disueltos y concentraciones de todos sus elementos normados bajo los límites que permiten su uso como agua potable y de riego (NCh.409 y NCh.1333, respectivamente). Lo mismo ocurre con la fuente subterránea de uso particular. Las muestras en un estero periférico al vertedero municipal, poseen algunos parámetros, principalmente conductividad eléctrica y 'sólidos disueltos totales', que podrían indicar un grado menor de interacción con percolados del vertedero aledaño, por lo que se recomienda establecer un plan de monitoreo de calidad del agua en este lugar.

En el área Villa Cerro Castillo, se realizaron cuatro sondajes eléctricos verticales (SEV) situados en los sectores 'media luna' y en el sector 'aeródromo'. Los sectores escogidos, corresponden a materiales aluviales y fluviales, depositados por el estero Del Bosque y por el río Ibáñez. En el sector 'media luna' se observa el predominio de capas con resistividades moderadas y altas a lo largo de todo el sondeo. En superficie, estos valores se correlacionan con sedimentos de arenas y gravas en estado drenado o seco, por lo que constituirían materiales resistentes al paso de la corriente eléctrica. Mientras en el sector 'aeródromo' se identifica un horizonte de 10 m de potencia con posibilidades de conformar un acuífero. Intervalos sugeridos para la exploración por sondajes mecánicos o habilitación de pozos excavados en el área Villa Cerro Castillo, se presentan en la tabla siguiente.



SEV	Intervalo sugerido para exploración (m)
<b>Sector 'aeródromo'</b>	
VCC-3	21 - 32
VCC-4	20 - 32

En el mapa Hidrogeología General Área Villa Cerro Castillo (Informe Final, Volumen III) se definieron dos unidades de alto potencial hidrogeológico (A1 y A2) las que se desarrollan en depósitos sedimentarios fluviales del río Ibáñez. Según la posición de estos depósitos, ya sea en el cauce o en terrazas, el espesor de los potenciales acuíferos puede ser menos o más relevante, estimando que estos pueden alcanzar entre 5 a 45 m, aproximadamente. Poseen continuidad hidráulica con el río Ibáñez, por lo que pueden generarse relaciones de interferencia río-acuífero. Dos unidades de moderado a bajo potencial (B1 y B2) fueron definidas en depósitos aluviales en distintas posiciones geomorfológicas, poseen alta fragmentación, por lo que formarían acuíferos locales de mayor aptitud para captaciones someras. Depósitos sedimentarios de baja representación superficial y aquellos situados en posición topográfica desfavorable para la recarga y almacenamiento de agua subterránea, se definieron como unidades de bajo potencial para la existencia de acuíferos y de su aprovechamiento. La gran diversidad de 'rocas duras' entre las que se encuentran rocas sedimentarias, volcánicas e intrusivas no conforma acuíferos por lo que se definen con un nulo potencial hidrogeológico.

### **6.8.3 Peligros Geológicos**

#### *Susceptibilidad por Remociones en Masa*

En el área de Villa Cerro Castillo, se constató la ocurrencia de deslizamientos de suelo y rocas, flujos de detritos y, en menor cantidad, caída de rocas (Informe Final, Volumen II, Mapa de Inventario Área Villa Cerro Castillo). El principal factor condicionante para la ocurrencia de remociones en masa, es la abrupta topografía que presentan los cordones montañosos ubicados al Norte del poblado. Ellas son desencadenadas durante períodos de intensas precipitaciones, aunque no se puede descartar ocurrencias asociadas con deshielos intensos. Los flujos de detritos, aparecen como el proceso de remoción en masa más importante del área. Depósitos

asociados a flujos de detritos son reconocidos en prácticamente todas las quebradas ubicadas al Norte del área de estudio (e.g. esteros Del Bosque, Cacique y Las Mulas). Estos depósitos, durante épocas de crecidas importantes, han sido removilizados, alcanzando hasta el río Ibáñez, donde conforman depósitos aluviales. Sobre la base de la metodología utilizada (Informe Final, Volumen II) se determinaron tres zonas de acuerdo al grado de susceptibilidad, siendo estas catalogadas de alta, moderada y baja (Informe Final, Volumen II, Mapa de Susceptibilidad por Remociones en Masa Área Villa Cerro Castillo). Para el caso particular del área urbana de Villa Cerro Castillo, no se reconocen zonas de alta susceptibilidad. Las zonas catalogadas de moderada susceptibilidad para la localidad, se encuentran ubicadas en las partes bajas de las quebradas y a la salida de ellas, además de la parte oeste del poblado. Estas zonas son propensas a afectación por flujos de detritos, principalmente, durante períodos de intensas precipitaciones y/o épocas de deshielos importantes. También, la amplia planicie en donde se ubica la Ruta-7, es catalogada como de moderada susceptibilidad de ser afectada por los depósitos de flujos de detritos provenientes de las quebradas ubicadas al norte. La ocurrencia de estos eventos puede afectar la conectividad por interrupción de la vía terrestre hacia Villa Cerro Castillo.

### *Susceptibilidad y Peligros Volcánicos*

Ante una eventual erupción del volcán Hudson, flujos piroclásticos podrían afectar todos los valles en el entorno al volcán en un radio de 15-20 km. El poblado Villa Cerro Castillo presentará susceptibilidad alta de ser afectado por caída de piroclastos con espesores superiores a 10 cm. Ante una erupción del volcán Maca-Cay, Villa Cerro Castillo presentará una susceptibilidad media de ser afectado por caída de piroclastos superiores a 10 cm de espesor. En este caso, además, lahares secundarios afectarían el valle del río Ibáñez, repercutiendo igualmente en este poblado.

## **6.9 Área Puerto Ingeniero Ibáñez**

### **6.9.1 Geología Base**

En el sector de la desembocadura del río Ibáñez al lago General Carrera, se encuentra la localidad de Puerto Ingeniero Ibáñez. Del punto de vista geológico y geomorfológico, esta área es muy similar a la de Villa Cerro Castillo. La amplia

extensión de rocas estratificadas volcanosedimentarias y piroclásticas, principalmente de composición ácida, de la Formación Ibáñez, convierte a esta zona en la localidad o área tipo de esta unidad. Rocas sedimentarias marinas del Grupo Coyhaique, representado por las formaciones Katterfeld y Apeleg del Cretácico Inferior, se presentan marginalmente dentro del área seleccionada de estudio. Sobresalen algunos cuerpos intrusivos, del rango Cretácico Inferior-Superior, como aquel que constituye el cerro Pirámide. Otros intrusivos menores, de posible edad Jurásico Superior-Cretácico, se distribuyen irregularmente en esta área (Informe Final, Volumen I). Puerto Ingeniero Ibáñez, al igual que Villa Cerro Castillo, se encuentra en la línea de dispersión que siguió la pluma de la columna eruptiva del volcán Hudson en 1991. Por una parte, este fenómeno provocó gran acumulación por caída de material piroclástico y, posteriormente, acumulación en la desembocadura del río Ibáñez por el transporte de material en suspensión. Este último proceso continúa activo hoy en día, a más de 20 años de la erupción, lo que ha provocado el 'embancamiento' de parte de la bahía y generación de dunas, compuestas por arenas y ceniza, en las llanuras de inundación cercanas al poblado. A lo largo de todo este tiempo y en forma periódica, parte del material piroclástico más fino ha sido movilizado por el fuerte viento estacional y transportado a través del poblado, provocando efectos molestos en la población.

### **6.9.2 Hidrogeología**

El abastecimiento de agua potable para la población lo otorga la empresa sanitaria Aguas Patagonia S.A., captando el recurso desde un estero (estero Sin Nombre), naciente de manantiales difusos ubicados en la parte superior de una pequeña quebrada, al noroeste de la ciudad. El abastecimiento para el riego en la periferia del área urbana, es suministrado, mayoritariamente, por una red de canales alimentados desde una captación matriz en el estero Lechoso. El vertedero municipal destinado a la disposición de residuos sólidos, se ubica a 3,6 km al noroeste del poblado de Río Ibáñez, sobre una llanura aluvial restringida, limitada por promontorios rocosos, desde la cual nacen dos cauces superficiales, uno de ellos utilizado como fuente de agua potable (estero Sin Nombre). Los sedimentos depositados en la llanura corresponden a la unidad hidrogeológica B1.

Se tomaron 7 muestras de agua para análisis químicos, sólo uno corresponde a agua subterránea captada mediante pozos noria. La facies química dominante del

área es del tipo bicarbonatada-cálcica con una excepción, de tipo sulfatada-cálcica. Esta última se infiere que estaría relacionado a características litológicas o geoquímicas de la cuenca hidrográfica del estero Lechoso. El pH fluctuó entre 6,9 y 8,8 lo que equivale a aguas neutras a moderadamente alcalinas. Según el parámetro de Sólidos Disueltos Totales (SDT) las muestras con la menor carga salina corresponden dos cuerpos lacustres, el Lago General Carrera y la Laguna Pirámide, las que se clasifican como aguas dulces. El resto de las fuentes analizadas, se clasifican como aguas dulces, moderadamente mineralizadas. No se detectó la presencia de nitratos en ninguna muestra del área. Una muestra sobrepasó levemente el valor límite para la concentración de hierro. La calidad del agua del estero Sin Nombre utilizado para captar el agua potable por la empresa Aguas Patagonia S.A., presenta, en todos los parámetros analizados, concentraciones aptas para consumo humano y riego. Sin embargo, hay que hacer notar que el origen de las aguas de este estero, proviene de manantiales difusos que emanan naturalmente algunas centenas de metros de distancia, y que éstos constituyen el drenaje natural de aguas de circulación subterránea provenientes de la llanura aluvial en que se sitúa el vertedero. El valor de Sólidos Disueltos Totales (SDT) de esta fuente, aún siendo valores que están lejos de alcanzar valores restrictivos según normas de calidad, es el más alto de toda el área y podría estar indicando un eventual y leve aporte salino proveniente de la infiltración de lixiviado desde el vertedero.

Las prospecciones geoelectricas se concentraron sobre el abanico sedimentario aluvial en el que se emplaza el área urbana de Puerto Ingeniero Ibáñez. Intervalos sugeridos para la exploración por sondajes mecánicos o habilitación de pozos excavados en el área Villa Cerro Castillo, se presentan en la tabla siguiente.

<b>SEV</b>	<b>Intervalo sugerido para exploración (m)</b>
PII-1	4 a 10 / 22 a 68
PII-2	5 a 14 / 29 a 81
PII-3	2 a 41 / 79 a 176
PII-4	1,5 a 49 / 81 a 152

En el mapa Hidrogeología General Área Puerto Ingeniero Ibáñez (Informe Final, Volumen III) se definieron unidades de alto potencial hidrogeológico en sedimentos aluviales y fluviales situados en el cauce y riberas del valle del río Ibáñez y del estero Lechoso. En el área urbana de Puerto Ingeniero Ibáñez, se identifica un amplio rango de profundidad con alta probabilidad de constituir acuíferos con un límite basal rocoso previsto a encontrarse entre 100 a 188 m b.n.t. por lo que se recomienda la exploración para la habilitación de captaciones de tipo someras (<15 m) como profundas. Tres unidades de moderado a bajo potencial hidrogeológico fueron definidas en depósitos sedimentarios de diversos orígenes, de materiales de permeabilidad baja a alta, en exposiciones fragmentadas, por o que formarían acuíferos de limitada extensión. Depósitos sedimentarios no consolidados de muy baja permeabilidad y aquellos cuya posición topográfica desfavorece la recarga y almacenamiento de agua subterránea se definieron como unidades de bajo potencial para conformar acuíferos, mientras que como unidades de nulo potencial hidrogeológico, se definieron a las rocas sedimentarias, volcánicas e intrusivas que no poseen porosidad y, por lo tanto, no conforman acuíferos.

### **6.9.3 Peligros Geológicos**

#### *Susceptibilidad por Remociones en Masa*

En el área de Puerto Ingeniero Ibáñez se reconocen deslizamientos, caída de rocas y flujos de detritos (Informe Final, Volumen II, Mapa Inventario Área Puerto Ingeniero Ibáñez). En esta área, los eventos de remociones en masa no son tan frecuentes a pesar de la abrupta topografía y se encuentran condicionadas a laderas escarpadas ubicadas al norte, nor-este y nor-oeste de la localidad. La poca frecuencia de ocurrencias de estos procesos, parece altamente dependiente de las escasas precipitaciones pluviales y ausencia de épocas torrenciales, lo que se relaciona con el clima de estepa fría dominante en el área, con predominio de precipitaciones nivales del orden de 300 mm anuales. Otro factor importante es la ausencia de sismicidad significativa, detonante importante de remociones en masa en otras áreas de la región (e.g. sismicidad asociada con el Sistema de Falla Liquiñe-Ofqui). Precipitaciones locales e inusuales, y la intervención antrópica, aparecen como desencadenantes principales para la ocurrencia de algunas remociones en masa. Entre los factores condicionantes internos el más importante corresponde al factor litológico, donde las remociones en masa se asocian

preferentemente con depósitos sedimentarios no consolidados. Sobre la base de la metodología utilizada (Informe Final, Volumen II) se determinaron tres zonas de acuerdo al grado de susceptibilidad, siendo estas catalogadas de alta, moderada y baja (Informe Final, Volumen II, Mapa de Susceptibilidad Área Puerto Ingeniero Ibáñez). Particularmente, para el área urbana de Puerto Ingeniero Ibáñez y su entorno inmediato, no se reconocen zonas de alta o moderada susceptibilidad de ser afectadas por procesos de remociones en masa y el poblado se localiza sobre un área de baja susceptibilidad. En relación con la conectividad del poblado vía terrestre, zonas catalogadas como de alta susceptibilidad, se ubican en la ladera nor-oeste del valle del Estero Lechoso. Aquí, fenómenos del tipo deslizamiento han afectado la Ruta X-65 de acceso a la localidad interrumpiendo, parcialmente, la vía. Zonas de moderada susceptibilidad, se reconocen en la ruta internacional que comunica con el paso fronterizo Ingeniero Palavecini, al este del poblado.

#### *Susceptibilidad y Peligros Volcánicos*

Ante una eventual erupción del volcán Hudson el poblado Puerto Ingeniero Ibáñez presentará susceptibilidad alta de ser afectado por caída de piroclastos con espesores superiores a 10 cm. En este caso, además, lahares secundarios afectarían el valle del río Ibáñez, repercutiendo igualmente en este poblado.

### **6.10 Área Chile Chico**

#### **6.10.1 Geología Base**

El poblado de Chile Chico se encuentra en el margen sureste del Lago General Carrera. Se destaca su posición en el borde del amplio sistema deltaico del río Jenemeni, a los pies de un cordón de cerros compuestos por rocas estratificadas volcanosedimentarias y piroclásticas de la Formación Ibáñez, del Jurásico Superior-Cretácico Inferior (Informe Final, Volumen I). La morfología en esta área cambia abruptamente hacia el este, pasando de montañas escarpadas a un relieve más bajo y de meseta, en territorio argentino, marcándose así un claro límite morfoestructural entre una zona occidental (chilena) y una oriental (argentina). Hacia el suroeste de Chile Chico, en la parte alta de los cordones montañosos, se encuentran unidades de rocas volcánicas basálticas del Cenozoico, que habrían surgido en respuesta a eventos tectónicos ligados a la subducción de dorsales oceánicas activas durante parte de este periodo, en esta latitud. Otra particularidad

que distingue a esta zona de la región es la existencia de mineralización de interés económico, con la consecuente apertura de labores mineras por parte de empresas extranjeras. La mineralización se relaciona con eventos magmáticos del Cretácico Inferior, que generaron cuerpos hipabisales y vetas encajados en rocas volcánicas de la Formación Ibáñez.

### **6.10.2 Hidrogeología**

El abastecimiento de agua potable de la localidad de Chile Chico lo realiza la empresa Aguas Patagonia S.A., para lo cual cuenta con una captación de agua desde el Lago General Carrera. En este punto la empresa sanitaria cuenta con derechos de aprovechamiento permanentes de 60 l/s. En cuanto a los requerimiento de agua de riego dentro de la llanura fluvio-deltaica del río Jeinimeni, existe una asociación de Comunidad de Aguas que data desde el año 1992, con derechos otorgados de aguas superficiales del cauce del río Jeinimeni por 831 l/s. También fueron reconocidas dos captaciones de agua subterránea, de tipos pozos noria, utilizados para riego. La profundidad de uno de los pozos es de 7 m, con un nivel estático de 2,45 m b.n.t.

En el área Chile Chico, se tomaron 16 muestras de agua para análisis químicos, 4 de ellas corresponden a agua subterránea captada mediante pozos someros o manantiales, y el resto corresponden a cursos y cuerpos de agua superficial. Las facies químicas de las aguas analizadas son, mayoritariamente de los tipos bicarbonatadas cálcicas y bicarbonatadas cálcico-sódicas. Las aguas con mayor participación de sodio (Na) se concentran en el extremo sur del área, en cauces y manantiales que drenan terrenos dominados por sedimentos de origen lacustre. Por su parte, la muestra con porcentaje mayor de magnesio, proviene de un canal revestido en cemento, por lo que es posible que la fuente de magnesio corresponda a este material. El pH de las muestras analizadas fluctuó entre 7,0 y 8,5 lo que equivale a aguas neutras a moderadamente alcalinas. Según el parámetro de sólidos totales disueltos, las muestras con la menor carga salina corresponden a los dos cuerpos lacustres analizados, el Lago General Carrera y Lago Jeinimeni, ambos con valores de SDT <50 mg/l. En total seis muestras poseen valores inferiores a 100 mg/l, clasificándose como dulces. Del resto de las fuentes analizadas, 10 muestras se clasifican como aguas dulces, moderadamente mineralizadas, con valores entre 174 a 347 mg/l. El promedio de Sólidos Disueltos

Totales (SDT) de las aguas subterráneas supera en 2,4 veces el promedio de las aguas superficiales. Presencia de nitratos se encontró sólo en una muestra, en concentraciones levemente superiores al límite de detección instrumental. Cinco muestras sobrepasaron el valor límite de concentración de hierro para consumo potable, según NCh.409, con el valor más alto encontrado en el Estero Burgos, sector Alcantarilla II. En resumen, la calidad del agua de fuentes superficiales y subterráneas del área Chile Chico, según los parámetros inorgánicos analizados, cumplen en un amplio rango con las normas primarias de calidad chilenas para usos de riego y potable, a excepción de aquellas muestras mencionadas en relación al contenido de Fe.

En el Área Chile Chico, se realizaron un total de 25 sondaje eléctricos verticales. Intervalos sugeridos para la exploración por sondajes mecánicos o habilitación de pozos excavados en el área Villa Cerro Castillo, se presentan en la tabla siguiente.

<b>SEV</b>	<b>Intervalo sugerido para exploración (m)</b>
Ch-1	2 a 26
Ch-2	3 a 7
Ch-3	3 a 18
Ch-6	1,5 - 3
Ch-8	4 a 10 / 10 a 112
Ch-9	8 a 23
Ch-10	1 a 2,5 / 23 a 36
Ch-11	11 a 47
Ch-12	92 a 161
Ch-13	94 a 259
Ch-14	2 a 13

<b>SEV</b>	<b>Intervalo sugerido para exploración (m)</b>
Ch-15	11 a 34
Ch-16	5 a 49
Ch-18	12 a 21
Ch-19	2 a 40
Ch-20	2 a 12
Ch-21	20 a 27
Ch-22	2 a 7
Ch-23	5 a 42
Ch-24	6 a 12 / 22 a 48
Ch-25	7 a 18

En el mapa Hidrogeología General Área Chile Chico (Informe Final, Volumen III) se definieron dos unidades hidrogeológicas de alto potencial hidrogeológico, desarrolladas en depósitos fluviales actuales del río Jeinimeni (unidad A1) y sobre depósitos deltaicos del cauce del río Jeinimeni y aluviales del estero Las Horquetas



(A2). Según la información geofísica, en ambas unidades, existiría un rango potencial para la existencia de acuíferos en un rango entre 10 a 50 m b.n.t. Cuatro unidades de moderado a bajo potencial se definieron en depósitos sedimentarios fluviales, deltaicos y aluviales que conforman distintos niveles de terrazas en el margen del valle del río Jeinimeni y en otros relieves de abanicos y llanuras restringidas al oeste de Chile Chico. Éstas poseen algunas limitantes para conformar acuíferos de importancia, como gran profundidad estimada de la zona no saturada, presencia de estratos de arcilla y/o cuencas de baja potencia y extensión. Depósitos sedimentarios no consolidados de muy baja permeabilidad y aquellos cuya posición topográfica desfavorece la recarga y almacenamiento de agua subterránea se definieron como unidades de bajo y nulo potencial para conformar acuíferos, mientras que también como unidades de nulo potencial hidrogeológico, se definieron a las rocas sedimentarias, volcánicas e intrusivas que no poseen porosidad y, por lo tanto, no conforman acuíferos.

### **6.10.3 Peligros Geológicos**

#### *Susceptibilidad por Remociones en Masa*

En el área de Chile Chico se reconocen deslizamientos y flujos de detritos (Informe Final, Volumen II, Mapa de Inventario Área Chile Chico). La ocurrencia de estos procesos es relativamente escasa y se restringen a laderas escarpadas con un grado de fracturamiento local moderado a alto de la roca. La poca frecuencia de estos fenómenos, se encuentra condicionado por las escasas precipitaciones pluviales y ausencia de épocas torrenciales, lo que está relacionado con el clima de estepa fría dominante en el área, con un predominio de precipitaciones nivales del orden de 300 mm/año. Otro factor importante es la ausencia de sismicidad significativa, detonante importante de remociones en masa en otras áreas de la región (e.g. sismicidad asociada con el Sistema de Falla Liquiñe-Ofqui). En general, los procesos de remociones en masa, se pueden relacionar con períodos anormales en cuanto a cantidad de precipitaciones pluviales y nivales. Cantidades importantes de nieve, dan como resultado una alta presencia de agua durante los deshielos, principalmente, en las quebradas ubicadas al sur, sur-este y este de la localidad. Es importante destacar que, en los cerros ubicados a unos 5,5 km al sur-oeste de Chile Chico (46°34' S) fue posible reconocer juegos de grietas en la parte alta de este macizo rocoso. Estas grietas, presentan una dirección E-O con una longitud de hasta

500 m. Posibles colapsos gravitacionales podrían provocar deslizamientos del tipo rotacional, movilizand o grandes volúmenes de material los cuales, ante un fenómeno extremo en cuanto a magnitud, podrían afectar la Ruta-265. Sobre la base de la metodología utilizada (Informe Final, Volumen II), se determinaron tres zonas de acuerdo con el grado de susceptibilidad, siendo estas catalogadas como alto, moderado y bajo (Informe Final, Volumen II, Mapa de Susceptibilidad por Remociones en Masa Área Chile Chico). Particularmente, para el área urbana de Chile Chico y su entorno inmediato, no se reconocen zonas de alta susceptibilidad de ser afectadas por procesos de remociones en masa y el poblado se localiza, en general, sobre un área de baja susceptibilidad. Zonas de moderada susceptibilidad, se reconocen en un área de viviendas ubicadas en calle Balmaceda, en el extremo Oeste del poblado, debido a la cercanía de un cerro con algunos registros de remociones en masa del tipo deslizamiento y caída de rocas, aunque menores en volumen. Hacia el sur, por el valle del río Jeinimeni, también se reconocen algunas zonas con moderada susceptibilidad ubicadas, principalmente, en las laderas de las terrazas existentes en el área. También, algunas remociones en masa o sus depósitos asociados, pueden afectar parcial o totalmente la ruta que conecta hacia el sureste del área de estudio. Por otra parte, el acceso a Chile Chico en el segmento que comprende el área de estudio, presenta una zona de susceptibilidad moderada, debido al fuerte ángulo del talud generado para la construcción del camino en depósitos sedimentarios no consolidados.

### *Susceptibilidad y Peligros Volcánicos*

El poblado de Chile Chico, ante una eventual erupción del volcán Hudson, presentará una susceptibilidad alta de ser afectado por caída de piroclastos con espesores superiores a 10 cm.

## **6.11 Área Cochrane**

### **6.11.1 Geología Base**

Cochrane se ubica unos 7 km al occidente del lago Homónimo y a 5 km al oriente del río Baker. El poblado está emplazado en la parte baja de una zona topográficamente deprimida, en la ribera de río Cochrane. Como se ha indicado, en esa zona afloran principalmente filitas, pizarras y metaareniscas del Complejo Metamórfico Andino Oriental (Informe Final, Volumen I). Al oeste y suroeste del

poblado, un cordón de cerros de baja altura exhibe rocas volcanoclásticas y piroclásticas de la Formación Ibáñez, intruidas por cuerpos hipabisales y filonianos de edad estimada en el rango Jurásico Superior-Cretácico. Posiblemente, uno de los aspectos llamativos de esta área se relaciona con los depósitos glaciogénicos bien preservados en los alrededores del poblado, particularmente hacia el sur. Tanto la topografía de este sector, como la composición de los sedimentos y la morfología de los mismos, son coherentes con ambientes glaciolacustres y glaciofluviales. Igualmente, se identifican relictos de cordones morrénicos que marcan los avances de los últimos glaciares a lo largos del valle del río del Salto. Otro aspecto importante a tener en cuenta en un análisis general de esta área, se relaciona con la posición topográfica del poblado en comparación con la cota del espejo de agua del lago Cochrane y del lago Esmeralda, ambas superiores a la del pueblo.

### **6.11.2 Hidrogeología**

La empresa sanitaria Aguas Patagonia de Aysén S.A. brinda el abastecimiento de agua potable para el centro poblado desde una captación en fuente superficial (estero sin nombre) que nace desde un cuerpo lacustre al norte de Cochrane. La calidad de esta fuente cumple íntegramente con la NCh.409/1 para agua potable. Según datos de la empresa el tratamiento de aguas servidas alcanza un una cobertura de 86,74% de la localidad.

En el área de Cochrane se tomaron nueve muestras de aguas superficiales para su análisis químico. Se elaboró un mapa Hidrogeología General Área Cochrane (Informe Final, Volumen III), definiendo unidades hidrogeológicas en base de una valoración temática de las unidades geológicas del mapa Geología Base Área Cochrane (Informe Final, Volumen I).

La facies química de todas las muestras fue de aguas bicarbonatadas cálcicas. Los rangos de pH obtenidos varían entre 6,75 hasta 7,63, lo que indica el dominio de aguas neutras a moderadamente alcalina. Todas las muestras dieron como resultado aguas dulces. Todos los elementos metálicos y otros elementos trazas detectadas se encontraron en concentraciones bajas, es decir, bajo los límites establecidos en las normas NCh.1333 para agua de riego y NCh.409/1 para agua potable.

En el mapa Hidrogeología General Área Cochrane (Informe Final, Volumen III) se identificaron dos unidades hidrogeológicas con alto a moderado potencial hidrogeológico (unidades A1 y A2) en depósitos sedimentarios no consolidados, correspondientes a depósitos fluviales del Holoceno y depósitos glaciofluviales del Pleistoceno Superior, ubicado en los cursos activos de los ríos Cochrane y Baker y en la ribera sur del lago Esmeralda. Dos unidades con moderado a bajo potencial hidrogeológico (unidades B1 y B2) correspondientes a depósitos sedimentarios no consolidados, formados por depósitos glacioaluviales del Pleistoceno Superior, depósitos aluviales y coluviales del Holoceno. Estas unidades están principalmente ubicadas en el valle del río Cochrane y al sur del Laguna del Diablo. Depósitos morrénicos del Pleistoceno Superior, depósitos de terraza 'kame' del Pleistoceno Superior y depósitos de remoción en masa del Holoceno, se definieron como unidades de bajo potencial hidrogeológico (unidades C1 y C2). Estas unidades se encuentran al este del lago Esmeralda.

### **6.11.3 Peligros Geológicos**

#### *Susceptibilidad y Peligros Volcánicos*

El poblado de Cochrane presentaría una susceptibilidad media a ser afectado por caídas de piroclastos con espesores superiores a 10 cm, en el caso de una erupción del volcán Hudson.

## **6.12 Área Villa O'Higgins**

### **6.12.1 Geología Base**

En el extremo sur del área de estudio se encuentra el poblado de Villa O'Higgins, emplazado a orillas del lago homónimo y sobre el abanico aluvial del río Mosco. El entorno se compone casi exclusivamente de rocas metasedimentarias del Complejo Metamórfico Andino Oriental (Informe Final, Volumen I). Muy localmente, en la parte alta de algunos cordones montañosos se exponen rocas volcanosedimentarias y piroclásticas de la Formación Ibáñez, del Jurásico Superior-Cretácico Inferior, fuertemente deformadas. En algunos afloramientos, las relaciones de contactos del basamento metamórfico con las rocas volcanoclásticas, son indicativas de un fuerte tectonismo, posiblemente post Cretácico Inferior. El relieve del área ubicada hacia el norte de Villa O'Higgins, constituye una zona de topografía baja, de forma triangular y aproximadamente 25 km por lado. Dicho

sector se encuentra ocupado por numerosos lagos de mediano y pequeño tamaño. Los sedimentos observados en las áreas más próximas al poblado son de origen glaciario y aluvial, posiblemente muy recientes dada la cercanía de las lenguas glaciares de los Campos de Hielo Sur.

### **6.12.2 Hidrogeología**

El abastecimiento de agua de la localidad Villa O´Higgins se realiza mediante un Comité de Agua Potable Rural (APR). La captación depende de un arrollo que enfrenta recurrentemente problemas de disminución de caudal en las temporadas de otoño e invierno, debido al congelamiento de la superficie de la piscina de la captación.

En el área de Villa O´Higgins se tomaron ocho muestras en aguas superficiales para su análisis químico. Además, se elaboró un mapa Hidrogeología General Área Villa O´Higgins (Informe Final, Volumen III), definiendo unidades hidrogeológicas sobre la base de una valoración temática de las unidades geológicas del mapa Geología Base Área Villa O´Higgins (Informe Final, Volumen I).

Según el parámetro de 'sólidos totales disueltos' (SDT) cinco muestras obtuvieron valores inferiores a 100 mg/l, lo que corresponde a aguas dulces. Las muestras XIAP-52, XIAP-51 y XIAP-50 obtuvieron valores de SDT entre 102 mg/l a 130 mg/l por lo que se clasifican como aguas de tipo dulce, moderadamente mineralizada. La totalidad de las muestras analizadas se clasificó dentro del tipo de aguas bicarbonatadas cálcicas, según su contenido químico de elementos inorgánicos mayores. En todos los parámetros analizados las aguas cumplan con las normas NCh.1333 para agua de riego y NCh.409/1 para agua potable.

En el área de Villa O´Higgins se definieron dos unidades con alto a moderado potencial hidrogeológico (unidades A1 y A2) desarrolladas en depósitos fluviales y depósitos eólicos del Holoceno, las que se ubican entre el lago Cisnes y lago Ciervo y en los cauces de los ríos Mayer y río Mosco. Además, se definieron dos unidades con potencial hidrogeológico moderado a bajo (unidades B1 y B2) en depósitos aluviales, deltaicos, coluviales y en depósitos de terraza 'kame' del Holoceno, respectivamente. Estas unidades se ubican, principalmente, al oeste del lago Cisnes, en el área del centro poblado Villa O´Higgins y en el cauce del río Mosco. Como unidades con bajo potencial hidrogeológico se identificaron a depósitos

morrénicos y depósitos de remoción en masa del Holoceno (unidades C1 y C2) ubicados especialmente en las laderas de los valles. Los depósitos sedimentarios de origen lacustre, compuestos por potentes capas limo-arcillosas, así como las rocas volcánicas y volcano-sedimentarias de la Formación Ibáñez y las rocas del Complejo Metamórfico Andino Oriental, se identificaron como unidades con nulo potencial hidrogeológico.