

4

revista sernageomin

Año 3, N° 1, Chile, Mayo 2006

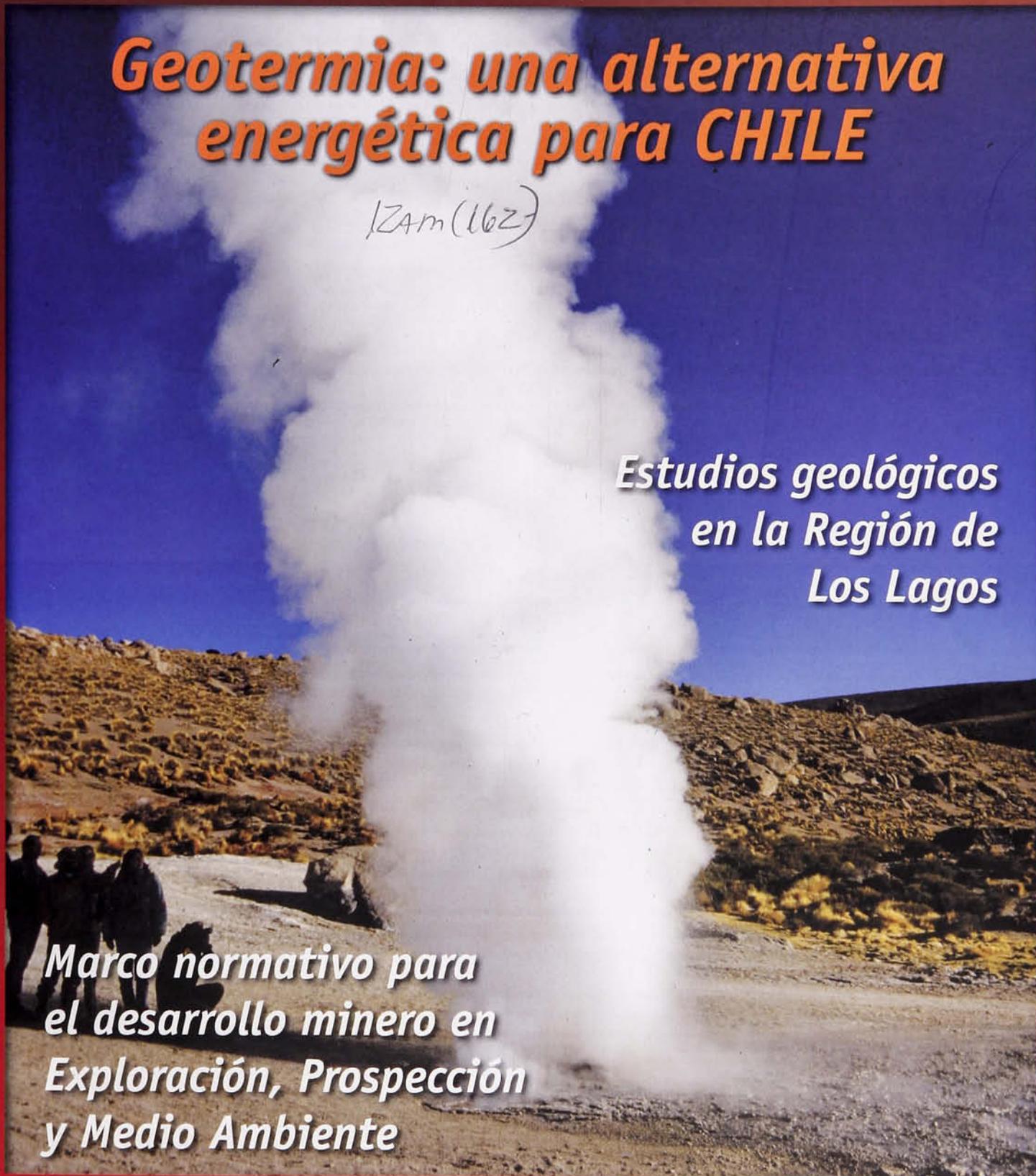
publicación semestral del Servicio Nacional de Geología y Minería

Geotermia: una alternativa energética para CHILE

IZAM (16Z)

**Estudios geológicos
en la Región de
Los Lagos**

**Marco normativo para
el desarrollo minero en
Exploración, Prospección
y Medio Ambiente**





bhpbilliton
Cerro Colorado



Buscamos mejorar la cultura de Cerro Daño,
comprometidos con el desarrollo sostenible y el
mejoramiento continuo de nuestro desempeño.

G e n t e c r e a n d o v a l o r

www.cerrocolorado.cl

Editorial



Patricio Cartagena Díaz
Director Nacional
Servicio Nacional de Geología y Minería

ES INDISPENSABLE FOMENTAR LA EXPLORACIÓN MINERA EN CHILE

En nuestro país, la minería privada tiene previsto invertir en proyectos mineros de cobre y oro a lo menos 3,4 mil millones de dólares en los próximos tres años, cifra que refleja la confianza que los inversionistas extranjeros tienen en el país. Lo anterior, es fruto que contamos con probadas reservas naturales, las garantías que ofrecen los gobiernos, un adecuado recurso humano y un conjunto de infraestructura vial y portuaria que promueven que los inversionistas sigan pensando en Chile como un buen lugar para invertir.

Sin embargo, esto es insuficiente para asegurar nuestra competitividad en el largo plazo, lo cual nos insta a trabajar en procurar mejores condiciones institucionales para fomentar la exploración para que la industria se atreva a continuar invirtiendo en nuestro país. A este respecto, un primer problema a tener en consideración es que hoy es más compleja y costosa la exploración, dado que es necesario ir a las zonas más profundas para descubrir yacimientos de minerales.

Otra dificultad, es la poca transparencia de información que existe en torno a la exploración minera, donde hay una cuota de responsabilidad que nos cae al gobierno y que se encuentra en que debemos procurar las mejores condiciones institucionales para fomentar la exploración.

Concretamente, y donde Sernageomin tiene que trabajar fuertemente, es en la disminución de las asimetrías que existen de información alrededor de esta actividad, lo cual se logra mediante tres líneas de acción: la actualidad y veracidad de la información; propender a la gratuidad de los datos y la difusión on line.

Es así, como una de las tareas actualmente en desarrollo es la difusión de información pública sobre propiedad minera a través de un catastro minero on line. Esta información, es fundamental para conocer cuántas concesiones de exploración y explotación existen y quienes son sus propietarios. A futuro también se incorporará el archivo geológico minero con el cual se sabrá que minerales son los que poseen esas propiedades y que nivel de recursos y reservas contienen.

Resulta además importante al momento de analizar las condiciones geológico-mineras de nuestro país, el hecho que la exploración se ha concentrado principalmente en la zona precordillerana entre Iquique y El Salvador, coincidente con la franja de Pórfidos Cupríferos. Sin embargo, sólo considerando la configuración geológica de la zona norte del país se reconocen cuatro grandes Provincias Metalogénicas, cada una con potencial de exploración, avalado por constantes descubrimientos de una creciente gama de depósitos metálicos.

Por lo anterior, me parece fundamental mejorar la disponibilidad de información de geología básica existente, ya que esto puede claramente permitir el ingreso de nuevos actores interesados en explorar e invertir en el distrito minero chileno. Respecto a ello, es relevante caminar hacia que las empresas exploradoras y explotadoras informen al Sernageomin sobre los avances geológicos y mineros alcanzados.

Y finalmente, nuestro país debe incentivar a que las empresas mineras de exploración y explotación cumplan con los aspectos sobre desarrollo sustentable exigidos por el ICMM (International Council on Mining and Metals) y relacionados con salud, seguridad, medio ambiente, derechos humanos y relaciones con la comunidad, y más aún, promover que tomen iniciativas de carácter voluntario como la Iniciativa de Transparencia para las Industrias Extractivas, las normas ISO 14000, el reporte con estándares GRI y la certificación OHSAS.

Lo anterior, nos obliga también a nosotros a ser capaces de asegurar un desarrollo seguro y ambientalmente sustentable de las operaciones mineras. Y en esa línea, lo que nos cabe como gobierno, es hacer todos los esfuerzos tendientes a actualizar la normativa en temas como pasivos ambientales y cierre de faenas, los que una vez resueltos permitirá que los inversionistas vean Chile no sólo como un país rentable para invertir sino que un país sustentable para vivir.

Revista

Sernageomin

Consejo Editorial

Patricio Cartagena

DIRECTOR NACIONAL

Renate Wajl

SUBDIRECTORA NACIONAL DE GEOLOGÍA

Claudio Valencia

SUBDIRECTOR NACIONAL DE MINERÍA

Enrique Lira

GEOGRAFO/LIC. EN COMUNICACIONES

Apoyo Editorial

Anibal Gajardo

JEFE SECCIÓN ROCAS Y MINERALES INDUSTRIALES

GEOLOGO

Jorge Muñoz

JEFE OFICINA TÉCNICA PUERTO VARAS

GEOLOGO

Asistente de Producción

Mónica Soto

Producción General

Enrique Lira

ELIRA@SERNAGEOMIN.CL

AVENIDA SANTA MARÍA 0104

PROVIDENCIA - SANTIAGO

TEL: (56-2) 737 5050

FAX: (56-2) 732 1187

WWW.SERNAGEOMIN.CL

Marketing y Publicidad:

Carlos Valenzuela

Marcela Contreras

Luz María Núñez

Johana Ibarra

Elba Otárola

Diseño y Diagramación

Felipe Carrillo A. / Doris Soto L.

PUBLICACIONES@TELSUR.CL

Edición

Ediciones y Representaciones Técnicas Ltda.

TEL: 2-6342644 , 2-6342506

EDIRETEC@VTR.NET

Impresión

Impresora Icaro Ltda.

Foto Portada

Luis Enrique Lara, Geólogo

Geiseros del Tatío, II Región

Fotografías

Archivo Sernageomin y aporte de los autores

índice

Editorial, Es Indispensable Fomentar la Exploración Minera en Chile <i>por Patricio Cartagena</i>	1
Introducción al Area Geológica Seminario en la Región de Los Lagos	6 6
Area Geológica	7
Geología para el ordenamiento territorial <i>por Jorge Muñoz</i>	7
Evolución geológica <i>por Paul Duhart y David Quiroz</i>	11
El agua subterránea <i>por Rosa Troncoso</i>	18
Metalogénesis y perspectivas de exploración minera <i>por Paul Duhart</i>	23
La información geocientífica en la evolución de riesgos geológicos <i>por Hugo Moreno y Jorge Muñoz</i>	28
Area Minera	33
Eficiencia de un purificador oxicalítico <i>por Santiago Pinilla</i>	33
Modelos predictivos de filtraciones y medidas de control en tranques de relaves <i>por Franco Marzolo</i>	39
Exploración, prospección y medio ambiente <i>por Roberto Ponce</i>	44
Desde Regiones	51
Recursos hídricos limitados; el costo de producir en el desierto <i>por Anton Hraste</i>	51
Area Ciencia y Tecnología	55
Geotermia: una Alternativa Energética para CHILE <i>por Arturo Hauser</i>	55
Ciencia y Cultura	67
Darwin en la Región de Valparaíso <i>por Roberto Monardes</i>	67
Insertos	73
Minera Spence alcanza importante logro en seguridad	73
Catalizadores magnéticos de combustión para el aumento de la eficiencia energética	74
Respuestas claras, soluciones limpias para la minería y la industria. Una nueva apuesta en Ingeniería Ambiental <i>por Pascual Veiga</i>	80

BOLAS DE ACERO FORJADO PARA LA MOLIENDA

S SCAW METALS
GROUP

Gerencia: Av. Pedro de Valdivia 0168, Santiago. Teléfono: (56-2) 337 04 00 / Fax: (56-2) 232 58 19



BARRICK EN EL MUNDO MINERÍA RESPONSABLE



EN TODAS SUS OPERACIONES, BARRICK OPERA BAJO LA POLÍTICA DE MINERÍA RESPONSABLE, QUE IMPLICA EL USO DE LA MEJOR TECNOLOGÍA EN SUS OPERACIONES, UNA ESPECIAL PREOCUPACIÓN POR SUS TRABAJADORES Y EL MEDIOAMBIENTE Y EL APOYO AL DESARROLLO ECONÓMICO Y SOCIAL DE LAS COMUNIDADES CERCANAS A SUS INSTALACIONES.



BARRICK
Mineria Responsable

BARRICK
Mineria Responsable

puratecnología



SUPER VOS FLAME™
40 MM BTU/HORA
GAS NATURAL



ECOCAP, una empresa del grupo CAP, pone a disposición de la Industria y Minería sudamericana la tecnología Vostecs. Esta tecnología permite:

- Ahorrar entre 8% y 18% de combustible
- Disminuir las emisiones tóxicas entre 30% y 100%
- Aumentar la disponibilidad de energía, disminuyendo la relación aire-combustible entre 20% y 50%

ECOCAP, tecnologías de excelencia para incrementar la eficiencia y productividad de los procesos industriales.

DISTRIBUIDOR EXCLUSIVO PARA SUDAMÉRICA DE: **VOSTECS**

Vea aplicaciones en Chile en www.ecocap.net

SEMINARIO EN LA REGION DE LOS LAGOS

En el Salón Azul de la Intendencia de la Décima Región, se realizó exitosamente el 18 de mayo recién pasado, el Seminario "Comunicación de la Información Geocientífica en la Región de Los Lagos", organizado por el Sernageomin y el Gobierno Regional. El objetivo fundamental de este seminario fue dar a conocer las funciones, el aporte, la proyección y productos generados por la Oficina Técnica Puerto Varas del Sernageomin, desde su creación el año 1993.

Este encuentro contó con la participación de autoridades regionales, provinciales y comunales; así como también, con representantes de la comunidad y de empresas de la región. Al concluir este evento, se reafirmó la importancia que reviste la comunicación de la información geocientífica a la ciudadanía, y se destacó el aporte de las geociencias, tanto a la planificación y al desarrollo territorial, como a la protección y explotación sustentable de los recursos naturales.

Los artículos incluidos a continuación en este número de la Revista Sernageomin, reseñan los diferentes trabajos presentados durante la realización del seminario, cuyas temáticas fueron las siguientes: Geología para Planificación Territorial; Síntesis de la Evolución Geológica; Hidrogeología y Recursos de Aguas Subterráneas; Metalogénesis y Perspectivas de Exploración; y Comunicación de la Información Geocientífica.

Area Geológica

Geología para el ordenamiento territorial



Jorge Muñoz
PhD. Geólogo Jefe Oficina Técnica
Puerto Varas y Observatorio
Volcanológico Andes del Sur-OVDAS,
SERNAGEOMIN

EXPERIENCIAS

Como parte de la cooperación técnica, iniciada en 1997, entre el Sernageomin y el Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales (BGR) de Alemania, se han realizado estudios de geología para el ordenamiento territorial de las áreas que comprenden las ciudades de Puerto Montt, Osorno, Valdivia y Castro, todas capitales provinciales de la Región de Los Lagos. El trabajo en el área piloto, Puerto Montt (**Fig. 1**), tuvo como resultado la publicación del primer estudio geológico ambiental integrado que se realizó en Chile. Los productos incluyeron cartografía temática elaborada mediante sistemas computacionales de información geográfica (SIG), con bancos de datos que las sustentan, relativas a geología básica, hidrogeología, peligros geológicos, uso actual del terreno, fuentes de contaminación, vulnerabilidad de acuíferos y recursos de rocas y minerales industriales. La información relevante de cada uno de estos temas fue analizada e incorporada en un mapa de síntesis, que resume las recomendaciones geológicas para la adecuada planificación del uso del territorio estudiado.

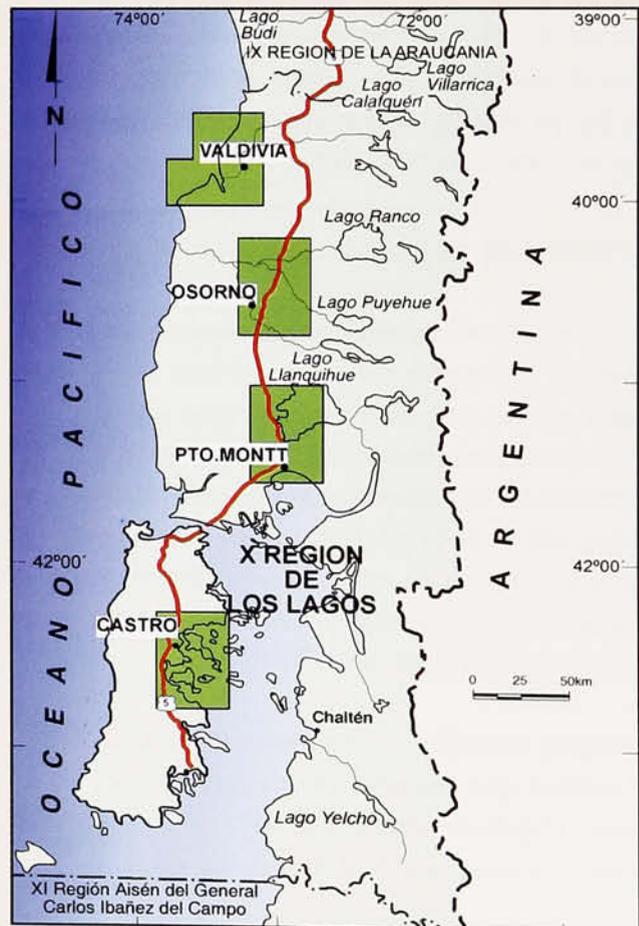


FIG. 1. Estudios sobre geología para ordenamiento territorial realizados en la Región de Los Lagos.

El trabajo debe abordarse desde una perspectiva multistitucional y multidisciplinaria, con cooperación horizontal entre representantes de diversos organismos públicos y privados, así como de las comunidades involucradas, que deben aportar información y experiencia acerca de diversos temas de interés ambiental. Cada área de estudio es única en sus características geológicas y requiere, en una etapa inicial del trabajo, de la evaluación y priorización de cada una de las temáticas por desarrollar. Además, las experiencias han permitido mejorar la metodología, depurar los diseños de bancos de datos y alcanzar recomendaciones más concretas, claras y provechosas.

Con los estudios realizados se han capacitado geólogos en variadas temáticas de geología ambiental y se ha dado un exitoso inicio a la generación de información geológica para el ordenamiento territorial en el centro-sur de Chile. Asimismo, la información generada es utilizada de manera creciente por autoridades regionales, provinciales y comunales, por organizaciones del medio ambiente, por las oficinas de planeamiento de las municipalidades y por variadas empresas públicas y privadas interesadas en las temáticas examinadas.

TEMÁTICAS ABORDADAS

Una serie de aspectos asociados a peligros geológicos, hidrogeológicos y disponibilidad de materiales para construcción, entre otros, al igual que las causas de muchos problemas ambientales, sólo pueden ser entendidas en un contexto geológico integral y mediante el conocimiento de procesos geodinámicos. Por ello, los trabajos de geología para ordenamiento territorial realizados en la Región de Los Lagos, han abordado diversos aspectos de las siguientes temáticas:

Peligros Geológicos y problemas para obras civiles. Considera áreas expuestas a los deslizamientos de tierra o rocas, erupciones volcánicas, aluviones, erosión e inundaciones. El ordenamiento territorial debe considerar éstas

áreas como zonas de riesgo y, en caso de prever su uso, asegurar las medidas preventivas y de mitigación de sus eventuales efectos.

Hidrogeología e hidroquímica. Clasifica los recursos de agua subterránea de acuerdo a la cantidad o volumen disponible, su profundidad y accesibilidad, las direcciones de flujo, sus características químicas para un eventual aprovechamiento y las áreas de reserva. Esta información permite tomar decisiones estratégicas de ordenamiento territorial para asegurar el abastecimiento de agua para uso humano e industrial en el futuro.

Vulnerabilidad y riesgo de contaminación de acuíferos. Despliega información sobre la vulnerabilidad de los recursos de aguas subterráneas y superpone el actual riesgo de contaminación por diversas actividades (industriales, vertederos, agricultura). En conjunto con la clasificación de los recursos de aguas subterráneas (hidrogeología), permite visualizar el riesgo de contaminación de los recursos de aguas y, a la vez, definir áreas y medidas de protección para evitar la futura contaminación de los recursos.

Rocas y minerales Industriales. Indica áreas con recursos de grava, arena, rocas ornamentales y arcillas. Esta información permite reservar áreas que constituyen fuentes de materiales para construcción, obras civiles e industriales.

Síntesis de recomendaciones. Reúne los antecedentes más relevantes de toda la información temática anterior. Si bien puede ser usado como guía general, durante el proceso de planificación del uso de un determinado territorio, el planificador ha de recurrir a esta información geológica temática para obtener una visión más precisa de una problemática específica que se requiere resolver.

En cada caso, la información se presenta en un formato y lenguaje simple para que sea entendible y utilizable por un amplio espectro de usuarios, técnicos y no técnicos.

USUARIOS

Entre los principales usuarios en el ámbito público, se incluyen los Ministerios de Vivienda y Urbanismo, de Obras Públicas y Transportes, de Minería y Energía, el Gobierno Regional, las Gobernaciones y Municipalidades, instituciones del Estado que intervienen en el proceso de ordenamiento territorial mediante los Planes Reguladores Intercomunales y Comunales.

Entre otros usuarios se cuentan también, las Comisiones Regionales del Medio Ambiente, la Corporación Nacional Forestal, Servicios de Salud y el Servicio Nacional de Turismo. Estos organismos obtienen soporte técnico para el cumplimiento de su tarea de coordinar la gestión ambiental regional y el proceso de evaluación y aprobación de Estudios (EIA) y Declaraciones de Impacto Ambiental (DIA) de los proyectos sometidos al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA).

En el ámbito privado, las empresas de suministro de agua potable obtienen información guía respecto de la disponibilidad y calidad de recursos hídricos subterráneos, su vulnerabilidad a la contaminación y potenciales fuentes de contaminación, que puedan perjudicar un suministro de agua seguro a mediano y largo plazo. Las compañías constructoras y contratistas de ingeniería de caminos encuentran información sobre disponibilidad y calidad de materiales de construcción y las áreas más apropiadas para una actividad extractiva, así como información sobre zonas proclives a peligros geológicos y problemas geotécnicos producto de deslizamientos de tierra o rocas, flujos de barro y erosión fluvial, que pueden tener un efecto negativo en construcciones y obras civiles. Los proyectistas de obras civiles o actividades que deben someterse al SEIA encuentran información que les permite predecir, identificar e interpretar los efectos

ambientales que puedan tener sus proyectos. Finalmente, la comunidad en general puede encontrar información geológica-ambiental, presentada en forma clara y sencilla, que les permite evaluar sus propios proyectos.

DESAFÍOS

Los estudios sobre geología ambiental, para la planificación del uso del territorio, seguirán siendo de creciente necesidad y requerirán de importantes avances en la preparación de profesionales-especialistas, así como también en la optimización e interactividad de los bancos de datos y de los sistemas de información geográfica utilizados. Actualmente, se han logrado importantes avances en las especializaciones relacionadas con peligros geológicos, hidrogeología, vulnerabilidad, rocas y minerales industriales y usos y aplicaciones de SIG. Sin embargo, todavía se requiere profundizar en algunos aspectos importantes de cada una de estas temáticas, especialmente en el carácter cuantitativo de la información.

Las experiencias logradas indican que, en el futuro cercano, será necesario tratar nuevas materias, como es el caso de suelos de fundación, geofísica aplicada a la ingeniería, geoquímica de suelos y protección ambiental. También, se deberá disponer de normas y estándares nacionales para algunas de las temáticas abordadas por los estudios, como es la calidad y protección de las aguas subterráneas.

Finalmente, la información aportada por estos estudios seguirá siendo publicada de manera oficial por el Sernageomin, y debiera ir adquiriendo un carácter obligatorio o más resolutivo para que sea utilizada de manera creciente por las autoridades, comunidades y profesionales interesados ■

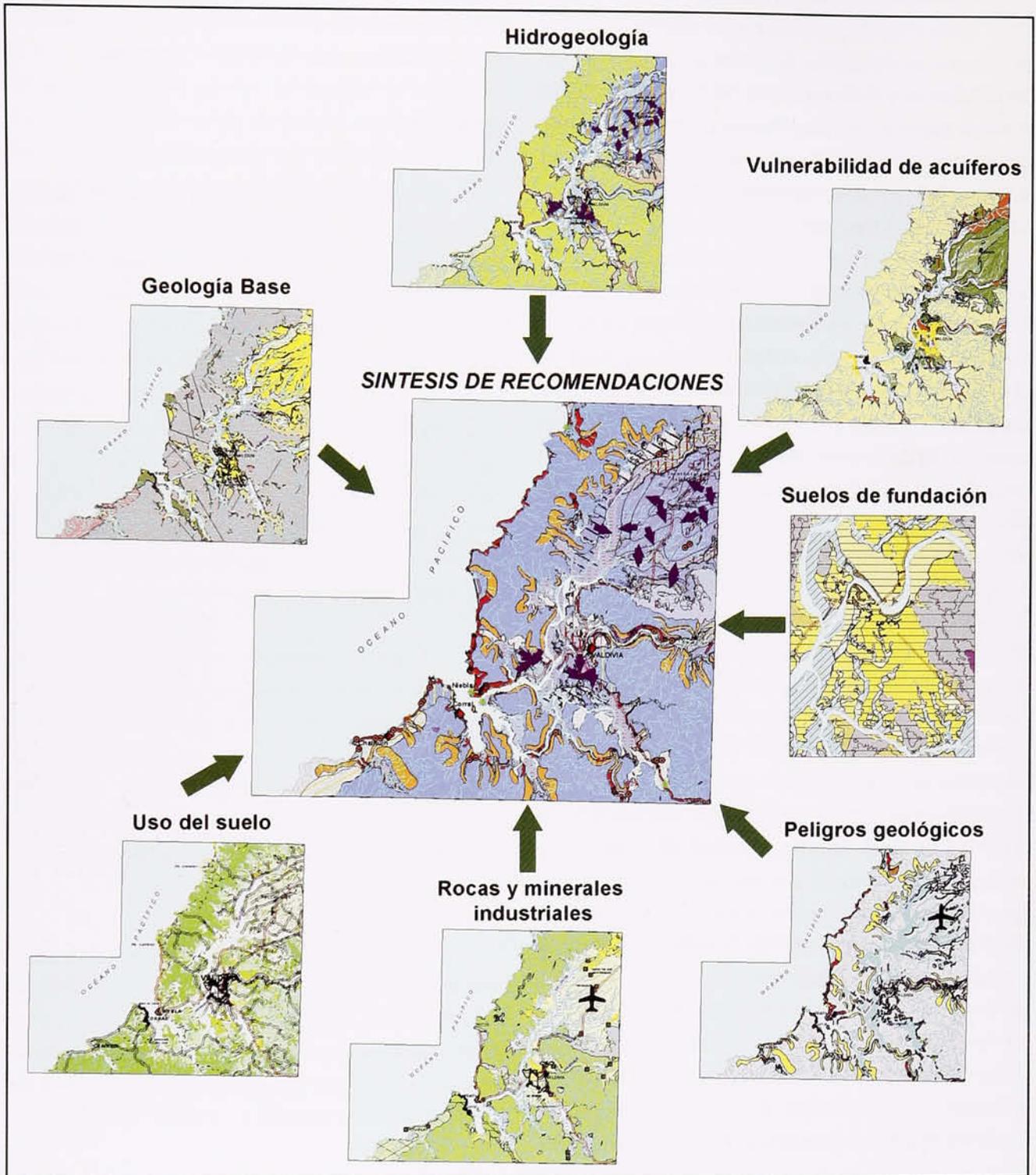


FIG. 2. Geología para ordenamiento territorial del área de Valdivia.

Evolución geológica



Paul Duhart

Geólogo

*Oficina Técnica Puerto Varas
Sernageomin*

David Quiroz

Geólogo

*Oficina Técnica Puerto Varas
Sernageomin*

El trabajo desarrollado por los profesionales de la Oficina Técnica Puerto Varas del Sernageomin, desde 1993 a la fecha, ha permitido ampliar sustantivamente el conocimiento geológico de la Región de Los Lagos. Si bien, anteriormente, las grandes unidades litológicas estaban delineadas y existía conocimiento puntual de muchas de ellas, la elaboración de cartas geológicas, metalogénicas y geofísicas, de mayor definición, han permitido avanzar notablemente en el conocimiento geológico de esta región. A continuación se presenta una síntesis actualizada de su evolución geológica.

PALEOZOICO-TRIÁSICO

Las rocas más antiguas de la Región de Los Lagos están representadas por un cuerpo tonalítico deformado, denominado Metatonalita Chaitén (**Fig. 1**), que ha sido datado, por U-Pb en circones, en 400 millones de años.

Las rocas metamórficas, se exponen como una franja continua a lo largo de la Cordillera de la Costa y,

de manera dispersa, con afloramientos discontinuos, a lo largo de la Cordillera Principal. Estas rocas han sido agrupadas en cuatro unidades (**Fig. 1**): 1) El Complejo Metamórfico Bahía Mansa (CMBM), localizado a lo largo de la Cordillera de la Costa, presenta variadas litologías, donde predominan los esquistos pelíticos, metagrauvascas y cuarcitas, menor cantidad de esquistos máficos con estructura de pillow lavas y serpentinitas, afectado por deformación penetrativa y metamorfismo en la facies de esquistos verdes; 2) El Complejo Metamórfico de la Cordillera Principal (CMCP), en Chiloé Continental, con esquistos anfibolíticos, rocas ultramáficas y gabros, el que ha sido subdividido en varias unidades menores que evidencian condiciones particulares de metamorfismo, presentando algunas de ellas la facies anfibolita; 3) El Complejo Metamórfico Liquiñe (CML), también en la Cordillera Principal constituido por gneises, esquistos y milonitas; y 4) El Complejo Metamórfico Trafún (CMT), en el extremo norte de la región, con metagrauvascas, metaareniscas y pizarras, afectadas, en parte, por metamorfismo de contacto.

Los dos últimos complejos conforman, junto al Batolito Futrono-Riñihue, un alto estructural oblicuo de orientación noroeste, que interrumpe la Depresión Central en la zona de Lanco-Loncoche. El CML y el CMCP presentan un metamorfismo termal sobreimpuesto asociado al emplazamiento del Batolito Norpatagónico, lo cual ha obliterado las características originales de las rocas, dificultando las interpretaciones. Sin embargo, remanentes de esquistos máficos con estructuras de pillow lavas y cuerpos gábricos, que representan fragmentos de corteza oceánica, indican que al menos parte de estos complejos constituyen prismas acrecionarios.

Edades disponibles para el CMBM indican episodios de sedimentación durante el Devónico, Carbonífero y Pérmico Inferior, mientras que la deformación y metamorfismo principal en la facies de esquistos verdes ocurrió durante el Pérmico-Triásico (260-220 millones de años). Una fase de alta presión-baja temperatura sucedió, probablemente, durante el Carbonífero Superior (320-300 millones de años). La relación de contacto intrusiva del CMT con el Batolito Futrono-Riñihue indica una edad mínima de 310 millones de años para este complejo, mientras que una edad U-Pb en circones detríticos acota la edad máxima de depositación al Devónico (403 millones de años).

Rocas plutónicas, graníticas a tonalíticas, del denominado Batolito Futrono-Riñihue (**FIG. 1**), con edades comprendidas entre 310 y 280 millones años, representan parte del arco magmático Carbonífero-Pérmico.

MESOZOICO

Triásico Superior (230-200 millones de años).

Rocas sedimentarias constituidas por lutitas fosilíferas, areniscas y conglomerados del Triásico Superior, están escasamente expuestas en la parte norte de la Región de Los Lagos, constituyendo las denominadas formaciones Panguipulli y Tralcán (**Fig. 2**). Estas se habrían originado como depósitos en ambientes fluviales y lacustres, en una cuenca restringida de orientación noroeste.

Jurásico Medio-Cretácico Inferior (175-100 millones de años).

Granitos, tonalitas y granodioritas constituyen, en la parte norte de la Región de Los Lagos, el denominado Plutón Panguipulli (**Fig. 2**) del Jurásico Medio (180-160 millones de años). En la zona de Chiloé Continental, al sureste de Puerto Montt, rocas volcánicas andesíticas y microgabros también del Jurásico Medio (176 millones de años) han sido agrupadas en la denominada Formación Pichicolo (**Fig. 2**), mientras que más al sur algunos cuerpos graníticos (**Fig. 2**) presentan edades del Jurásico Superior (155 millones de años). Aún más al sur, en el sector limítrofe con Argentina, andesitas, dacitas y rocas piroclásticas ácidas del Jurásico Superior (160-150 millones de años) constituyen la Formación Ibáñez. Además, rocas sedimentarias aflorantes en el ámbito de la Cordillera Principal, constituidas por coquinas, lutitas y areniscas, agrupadas bajo la denominación Grupo Coihaique (**Fig. 2**), fueron depositadas durante el Titoniano-Aptiano (150-125 millones de años).

Extensos afloramientos de granitos, tonalitas, dioritas y monzogranitos, distribuidos preferentemente en la mitad sur de la Región de Los Lagos y al este de la Zona de Falla Liquiñe-Ofqui, constituyen parte del denominado Batolito Norpatagónico (**Fig. 2**) y representan actividad magmática desarrollada, principalmente, en el Aptiano-Albiano (120-100 millones de años). Andesitas, dacitas y rocas piroclásticas, localizadas en la Cordillera Principal, se agrupan en la denominada Formación Cordón de la Tobas (**Fig. 2**) e indican actividad volcánica desarrollada, probablemente, a finales del Albiano (100 millones de años).

Cretácico Superior (100-65 millones de años).

El Cretácico Superior está documentado en la Cordillera de la Costa (**Fig. 2**), al oeste de Valdivia, por granitoides (Plutón Chaihuin, 85 millones de años) y en el área de Lanco-Loncoche, inmediatamente al norte de la Región de Los Lagos y hacia la Depresión Central por pórfidos dacíticos (89-72 millones de años). La probable existencia de actividad magmática, en la Cordillera Principal, durante el Cretácico Superior.

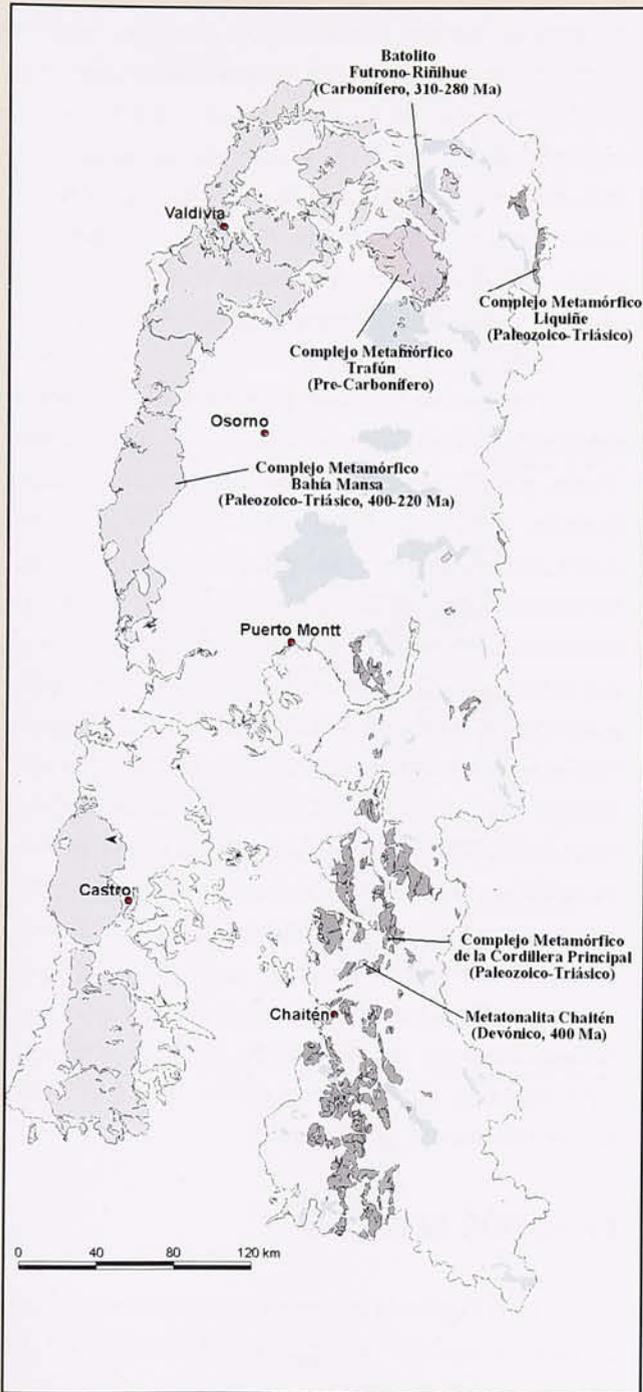


Fig. 1. Distribución de las principales unidades geológicas del Paleozoico - Triásico.

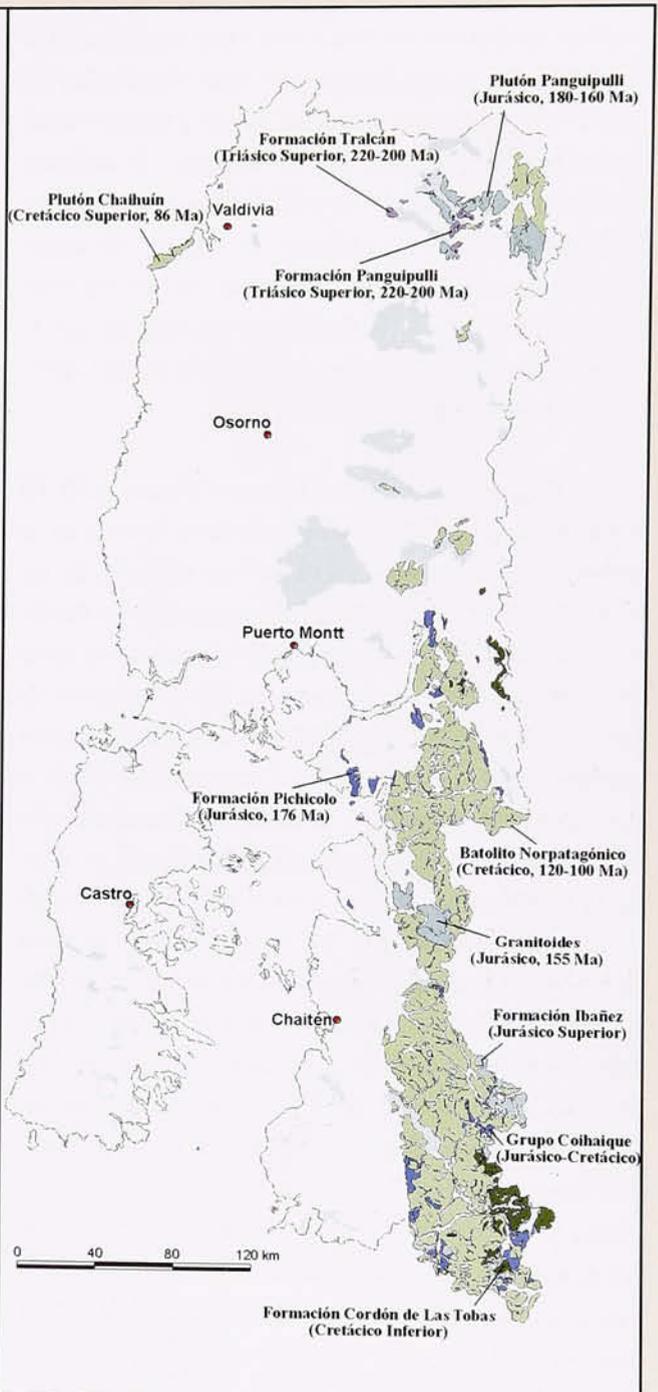


Fig. 2. Distribución de las principales unidades geológicas del Triásico Superior, Jurásico Medio - Cretácico Inferior y Cretácico Superior.

CENOZOICO

Paleoceno-Eoceno (65-34 millones de años). En la Región de Los Lagos no se ha registrado existencia de unidades geológicas del Paleoceno. En la Cordillera de la Costa (**Fig. 3**), se han identificado rocas hipabisales del Eoceno que conforman pequeños stocks y filones manto de composición dacítica (Dacita Gamboa, 37 millones de años; Pórfido Ramón, 51 millones de años), y rocas dioríticas (Granodiorita Metalqui, 39 millones de años). Edades eocenas, puntuales y dispersas, se han obtenido en rocas intrusivas de la Cordillera Principal, aunque la presencia de rocas volcánicas mesosilíceas de esta época está bien representada en Argentina.

Oligoceno Superior-Mioceno Medio (30-10 millones de años). En la Cordillera de la Costa y en la vertiente occidental de la Cordillera Principal (**Fig. 3**), las rocas basálticas a dacíticas y flujos piroclásticos dacíticos a riódacíticos de los complejos volcánicos Capitanes (27 millones de años), Parga-Ancud (26-20 millones de años) y Guapi-Quilán (29-22 millones de años) y, en parte también, las brechas, andesitas y dacitas de los Estratos de Lago Ranco (20 millones de años), representan el arco volcánico instaurado entre los 29 y 20 millones de años. En la Cordillera de la Costa y en el borde occidental de la Depresión Central (**Fig. 3**), se han descrito diversas secuencias sedimentarias continentales parálicas, del Oligoceno Superior-Mioceno Inferior (ej. estratos de Pupunahue, San Pedro, Catamutún, y Cheuquemó) y marinas, del Mioceno Inferior-Medio (ej. formaciones Santo Domingo y Lacuí y Estratos de Cucao), integradas por arcillolitas, con intercalaciones de mantos de carbón, limonitas, areniscas y conglomerados. En la Cordillera Principal (**Fig. 3**), también se han identificado secuencias sedimentarias continentales y marinas (ej. formaciones Lago Ranco, Ayacara y La Cascada), integradas por conglomerados, areniscas tobáceas y lutitas. Granitos, tonalitas y dioritas, con edades U-PB en circones entre 15 y 8 millones de años, se distribuyen, preferentemente, al oeste de la 'Zona de Falla Liquiñe Ofqui', en el ámbito de la Cordillera Principal, conformando parte importante del Batolito Norpatagónico (**Fig. 3**). En esta misma unidad, se han obtenido edades

K-Ar y Ar/Ar de hasta 3 millones de años, en las cercanías de la Zona de Falla Liquiñe-Ofqui.

Plioceno (5.3-1.8 millones de años). Rocas sedimentarias marinas, principalmente areniscas, limolitas y arcillolitas, de disposición subhorizontal, conforman las denominadas formaciones Colún y Caleta Godoy, asignadas al Plioceno (**Fig. 3**), que afloran, en el sector costero, al sur de Valdivia y al oeste de Puerto Montt, respectivamente. Al norte de Chaitén, una secuencia sedimentaria-volcánica, denominada Formación Llahuén (**Fig. 3**), también podría representar a esta época.

Pleistoceno-Holoceno (1.8 millones de años al presente). Procesos sedimentarios relacionados a enfriamiento global, que gatillaron al menos cuatro periodos glaciales, a partir del Pleistoceno Medio (780 mil años atrás), generaron una serie de depósitos sedimentarios no consolidados (**Fig. 4**), glaciogénicos (morrénicos, gaciofluviales y varves), y modelaron gran parte del relieve que actualmente conocemos. Los periodos glaciales son conocidos en la Región de Los Lagos, de más antiguo a más joven, como Caracol (Pleistoceno Medio, 680.000 a 500.000 años), Río Llico (480.000 a 338.000 años), Santa María (260.000 a 132.000 años) y Llanquihue (73.000 a 14.500 años). Procesos volcánicos, ligados a subducción activa, generaron, desde el Pleistoceno Medio al Holoceno (200.000 años al presente), una serie de unidades volcánicas (**Fig. 4**), asociadas con estratovolcanes y constituidas por lavas, de composición basáltica a riolítica, y por depósitos piroclásticos y lahares, que muestran la posición del actual arco volcánico.

EVOLUCIÓN GEOLÓGICA

En la Región de Los Lagos, la unidad geológica más antigua corresponde al cuerpo metatonalítico Chaitén. Dada su escasa distribución, no está aún claro el contexto geotectónico que esta unidad representa. Durante el Carbonífero-Triásico (320 a 220 millones de años), la región de Gondwana equivalente al suroccidente de Sudamérica, experimentó acumulación y consolidación de sedimentos detríticos en un ambiente submarino, a

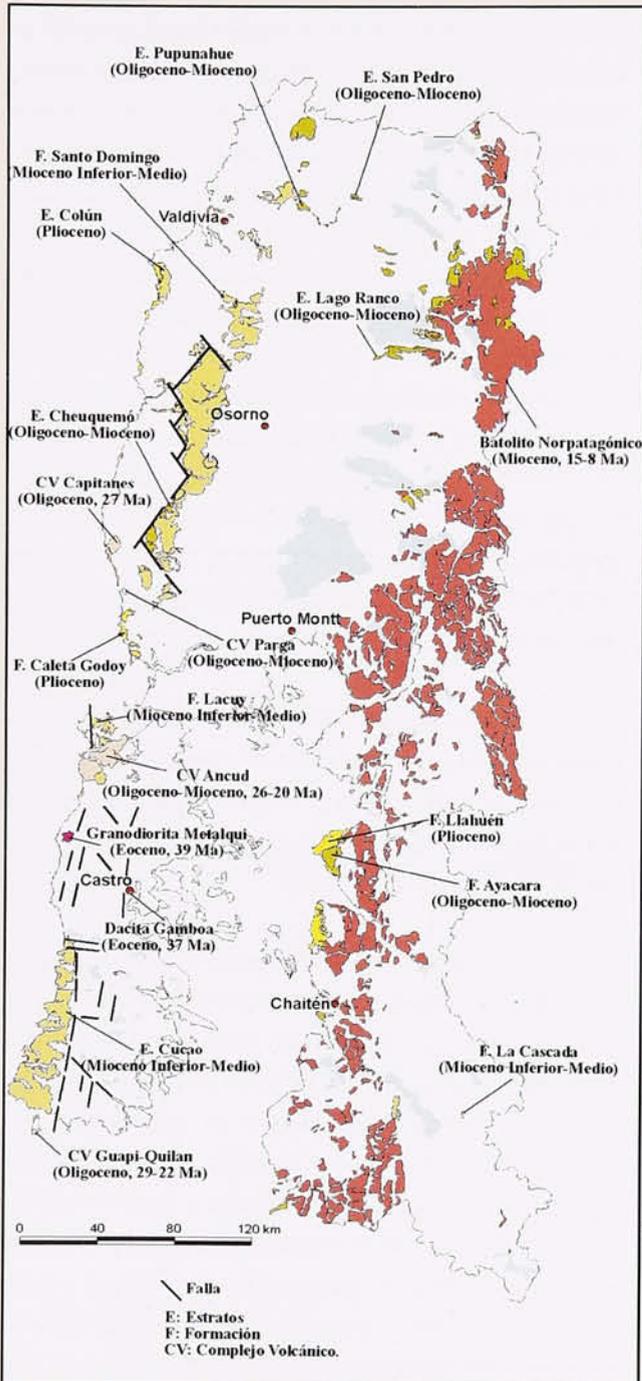


Fig. 3. Distribución de las principales unidades geológicas del Eoceno, Oligoceno Superior - Mioceno Medio y Plioceno.

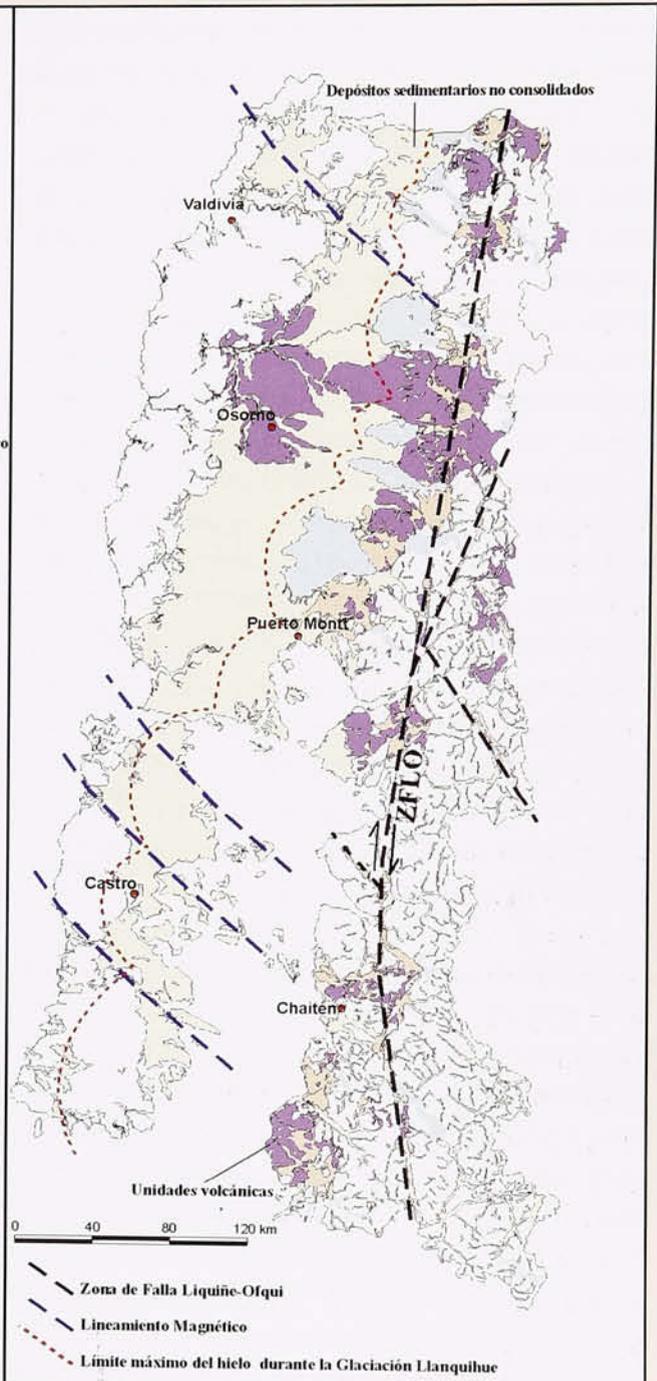


Fig. 4. Distribución de las principales unidades geológicas del Pleistoceno - Holoceno.

lo largo del contacto de la placa continental y la placa oceánica, que luego fueron tectónicamente emplazados al borde continental, en conjunto con porciones de corteza oceánica. Así, gran parte de las rocas de los complejos metamórficos de la región (CMBM, CMCP, CML y CMT) constituyen asociaciones petrotectónicas de prisma de acreción asociados a subducción. Las rocas plutónicas del Batolito Futrono-Riñihue representan el arco magmático del Carbonífero-Pérmico y son, en parte, resultantes de fusión cortical y/o contaminación cortical de magmas generados en la astenósfera.

Al inicio del Triásico Medio, la subducción habría cesado, dando paso, en el Triásico Superior, a la generación de cuencas sedimentarias de orientación noroeste. El aporte sedimentario a estas cuencas provendría, principalmente, de la erosión de rocas del CMBM, lo cual implica que la construcción del prisma acrecionario había concluido y, al menos, una parte se encontraba emergido. Esto último es consistente con las edades de enfriamiento disponibles para este complejo (220 millones de años). La génesis de estas cuencas se asocia con esfuerzos extensionales que afectaron la corteza continental al inicio de la fragmentación del supercontinente Gondwana y presentan una geometría similar a otras cuencas de mejor desarrollo en Sudamérica.

A partir del Jurásico (200 millones de años) se inicia el denominado Ciclo Andino y se instaura un régimen de subducción prolongado, que originó una intensa actividad magmática, con la consecuente generación de rocas volcánicas y plutónicas, así como de cuencas de depositación sincrónicas o diacrónicas con el magmatismo. El primer registro de la actividad magmática ligada a este reinicio de la subducción lo constituyen algunos plutones del Jurásico Medio-Superior. Las rocas volcánicas del Jurásico Superior sugieren, de acuerdo a sus características petroquímicas, la instauración de un arco volcánico en un contexto tectónico extensivo bajo un régimen de subducción, tal como ocurrió en parte importante de la actual Cordillera Patagónica (Fig. 5). Esta tectónica condición tectónica extensional generó, además, cuencas sedimentarias marinas de intra y tras-

arco. Estas habrían sido receptoras de sedimentos entre el Titoniano y el Aptiano (150 a 120 millones de años), lapso en el cual la actividad volcánica habría disminuido (Fig. 5). Las rocas plutónicas del Batolito Norpatagónico evidencian la instauración de un nuevo arco magmático en la actual Cordillera Principal durante el Aptiano-Albiano (120-100 millones de años), asociado a subducción activa (Fig. 5). Este magmatismo también se manifiesta en secuencias volcanosedimentarias de finales del Albiano.

Los escasos antecedentes geocronológicos en rocas plutónicas, sugieren la existencia local de actividad magmática durante el Cretácico Superior en la actual Cordillera Principal. La ocurrencia de rocas plutónicas de similar edad en la actual Cordillera de la Costa y hacia la Depresión Central, ha sido recientemente documentada, lo cual sugiere un probable ensanchamiento del arco magmático (Fig. 5), cuya actividad se expandió al oeste de la posición previa ocupada durante el Jurásico Superior-Cretácico Inferior.

La identificación reciente de rocas plutónicas e hipabisales del Eoceno en la actual Cordillera de la Costa y en la Cordillera Principal, sugiere, al igual que para el Cretácico Superior, la probable existencia de un arco magmático expandido (Fig. 5).

En el lapso Oligoceno Superior-Mioceno Inferior, se confirma el ensanchamiento del arco magmático que fuera sugerido para el Cretácico Superior y Eoceno, con actividad volcánica simultánea en los ámbitos de la actual Cordillera Principal, Depresión Central y Cordillera de la Costa, en asociación con un episodio regional de extensión cortical que adelgazó la corteza y generó además, cuencas sedimentarias de ante-arco, intra-arco y tras-arco, que fueron colmatadas durante el Mioceno Inferior-Medio (Fig. 5). Lo anterior habría ocurrido en respuesta a una reorganización de placas en el Pacífico sur-oriental que resultó en un aumento significativo de la velocidad de convergencia. Durante el Mioceno Medio, cambios en la dinámica de la deformación serían responsables de la inversión de las cuencas.

En el lapso Mioceno Medio-Superior (15-8 millones de años) ha sido registrada una intensa actividad magmática en la actual Cordillera Principal. Así, el periodo de extensión cortical habría finalizado en el Mioceno Medio, con la consecuente contracción del ancho del arco y la reubicación del eje magmático a una posición cercana a la actual (Fig. 5). La estrecha relación espacial existente entre el plutonismo del Mioceno con la Zona de Falla Liquiñe-Ofqui, sugiere que una parte significativa del magmatismo asociado a subducción, puede haber sido emplazado en estructuras favorables a lo largo de esta falla.

Durante el Plioceno continuó el desarrollo de cuencas marinas de ante-arco (Fig. 5), mientras que cambios climáticos globales ocurridos durante el Pleistoceno, determinaron la existencia de al menos cuatro ciclos glaciales, cuyo desarrollo entre el Pleistoceno Medio y Superior favoreció la intensa denudación de la Cordillera Principal, aportando gran volumen de sedimentos glaci-génicos hacia la Depresión Central. La evolución del arco magmático, en conjunto con estructuras frágiles de la Zona de Falla Liquiñe-Ofqui, permitió, en el Pleistoceno-Holoceno la configuración de un arco volcánico complejo (Fig. 5). Este presentó un frente volcánico de orientación nortesur y cordones transversales de orientación noroeste y noreste, controlado por fallas oblicuas de la Zona de Falla Liquiñe-Ofqui ■

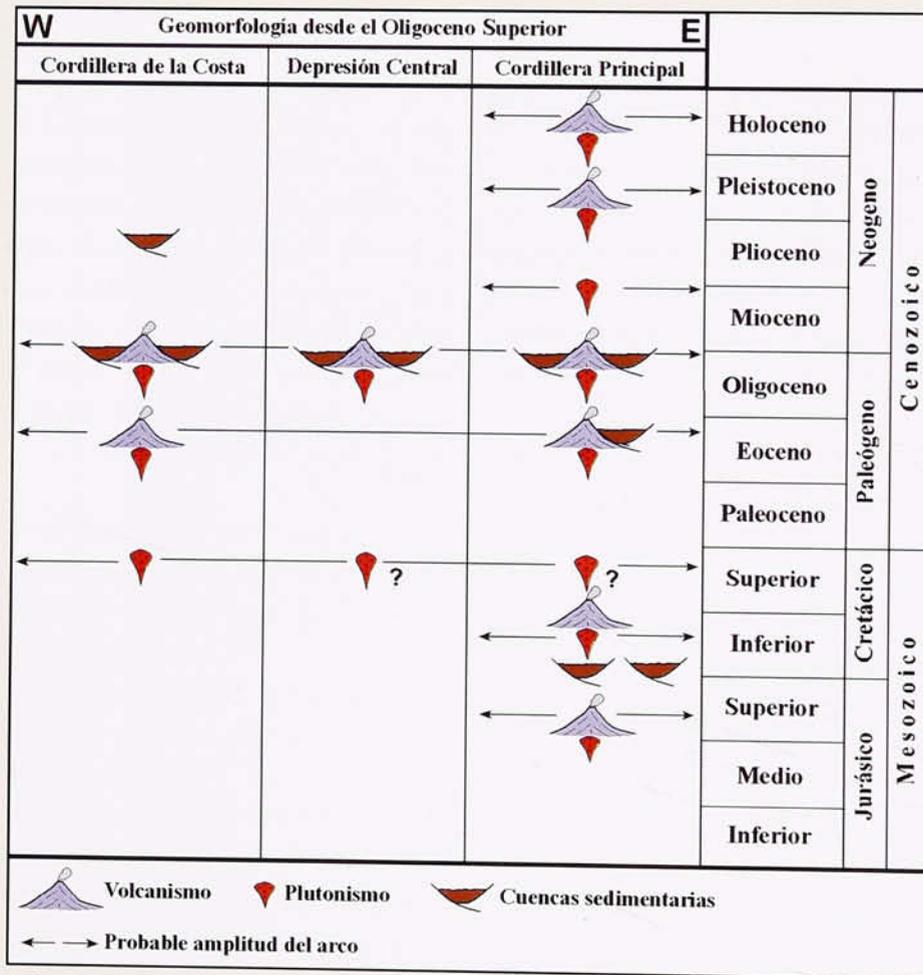


Fig. 5: Esquema evolutivo del magmatismo y generación de cuencas sedimentarias durante el Ciclo Andino en la Región de Los Lagos.

El agua subterránea



Rosa Troncoso Vásquez

Geóloga

Oficina Técnica Puerto Varas

Los primeros trabajos hidrogeológicos llevados a cabo por el Sernageomin en la Región de Los Lagos se enmarcaron en estudios geológicos para el ordenamiento territorial, que comenzaron en el año 1997 con la cooperación del Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales (BGR) de Alemania, lo que permitió establecer una metodología de trabajo y capacitar profesionales chilenos en el tema de las aguas subterráneas. Los estudios realizados han sido publicados en forma de Boletín o Carta Geológica de Chile, Serie Geología Ambiental. Estos estudios incluyen cartografía (escala 1:100.000) sobre recursos de agua subterránea (o hidrogeológicos) y vulnerabilidad de acuíferos, cuyo objetivo fundamental es presentar, en forma sintética y simple, las principales características hidrogeológicas de las áreas estudiadas, para que puedan ser utilizados como herramienta de apoyo a la gestión territorial y ambiental.

En los mapas de recursos de agua subterránea se destaca la distribución e importancia de los acuíferos, sus principales características, incluyendo parámetros hidráulicos e hidroquímicos; se definen las principales divisorias de agua, y se indican las direcciones de flujo mediante el trazado de curvas de isopiezas, es decir, curvas que unen puntos de igual altura sobre el nivel medio del mar de

la superficie del agua subterránea (nivel piezométrico). Para el cálculo de la vulnerabilidad a la contaminación, indicada en los mapas de vulnerabilidad de acuíferos, se ha utilizado principalmente el método GOD, que considera el espesor de la zona no saturada sobre el acuífero, el tipo de acuífero y las características y composición de los estratos que lo cubren. Además, se muestra la profundidad del agua subterránea, las potenciales fuentes de contaminación de los acuíferos y se hacen recomendaciones para prevenir su contaminación.

Como consecuencia de la buena aceptación de estos estudios y la creciente necesidad de información hidrogeológica en la región, el año 2005 el Sernageomin firmó un convenio con el Gobierno Regional de Los Lagos para desarrollar el estudio "Levantamiento Hidrogeológico y Potencial de Agua Subterránea del Valle Central de la Región de Los Lagos". Dicho estudio, financiado mediante el Fondo de Desarrollo Regional, tiene como objetivo fundamental evaluar los recursos de agua subterránea de una parte importante de la región. Con ello se dispondrá de cartografía hidrogeológica a escala 1:250.000, que estará disponible para las autoridades gubernamentales encargadas de la planificación y gestión del uso del territorio y para todos los interesados en esta temática.

El conocimiento hidrogeológico regional y la experiencia profesional adquirida durante el desarrollo de estos estudios, ha servido también para fortalecer la labor institucional como parte del Comité Técnico de la Comisión Regional de Medio Ambiente, contribuyendo a la protección de los recursos de agua subterránea en la región.

ESTUDIOS REALIZADOS

Los estudios realizados abarcaron las áreas de mayor densidad poblacional en la región, las que se centran en las capitales provinciales de Puerto Montt, Osorno y Valdivia.

Puerto Montt. Incluye las ciudades de Frutillar, Llanquihue, Puerto Varas y Puerto Montt (**Fig. 1**). El acuífero principal corresponde a depósitos de gravas y arenas de la última glaciación, que se distribuyen en forma casi continua, al oeste del lago Llanquihue, entre los cordones morrénicos de las dos últimas glaciaciones. Constituye un acuífero libre, de alto potencial para la extracción de agua potable, tanto por su extensión como por la buena calidad del agua, como lo indica su bajo contenido total de sólidos disueltos y conductividad. Sin embargo, por la falta de capas protectoras impermeables y por tener un nivel freático relativamente somero, este acuífero presenta una alta a media vulnerabilidad a la contaminación. En el sector de Alerce, entre Puerto Montt y Puerto Varas, los depósitos glaciofluviales que constituyen el acuífero principal, se encuentran cubiertos por depósitos piroclásticos,

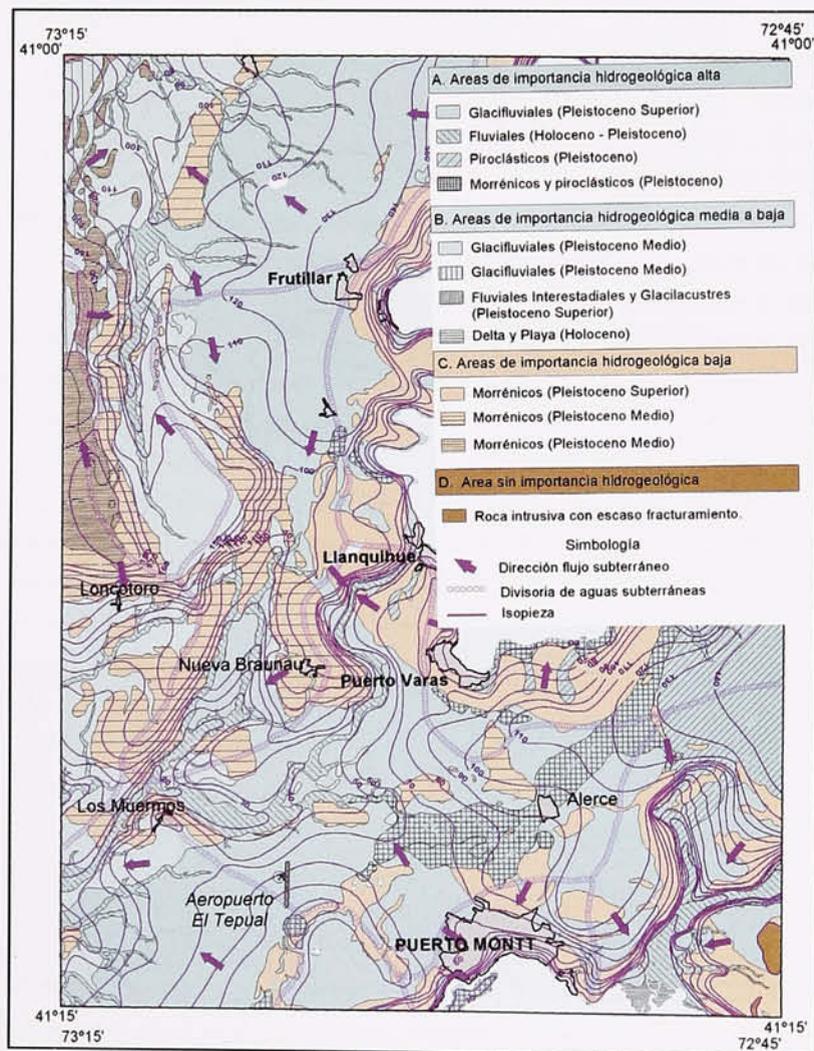


Fig. 1. Recursos hidrogeológicos del área de Puerto Montt - Frutillar.

macizos y bien cementados, cuya presencia se relaciona con altos valores de hierro en el agua subterránea, que alcanza hasta 10 mg/l, y que supera los valores establecidos en la norma chilena para agua potable.

Los depósitos fluviales del Holoceno-Pleistoceno, constituidos principalmente por gravas, y los depósitos piroclásticos del Pleistoceno, compuestos por material volcánico no cementado, también constituyen acuíferos de alta importancia hidrogeológica, pero con mayor variabilidad local y una distribución más restringida, mientras que los depósitos glaciofluviales más antiguos, fluviales interestadiales, deltaicos y de playa, constituyen acuíferos de media a baja importancia, por su menor permeabilidad, debido a la presencia de óxidos de hierro y manganeso, mayor grado de meteorización y reducida extensión dentro del área.

Osorno. Incluye las zonas urbanas de La Unión, Río Bueno, Crucero, San Pablo y Osorno. El acuífero principal, por su alta producción y gran extensión, corresponde a un acuífero confinado en depósitos glaciofluviales de la penúltima glaciación, que se encuentran cubiertos, en la mayor parte del área, por depósitos piroclástico-epiclásticos del Pleistoceno Superior, de baja permeabilidad, por lo que presenta una baja vulnerabilidad a la contaminación (**Fig. 2**).

Al noreste de Río Bueno, la cubierta confinante del acuífero principal fue erosionada, dejándolo libre y con una vulnerabilidad alta a media. En el sector al sureste de Osorno, además del acuífero principal, cuyos niveles estáticos se encuentran entre 10 y 20 m de profundidad, existe un acuífero libre, sobreyacente, de media importancia hidrogeológica, y que corresponde a depósitos fluviales y glaciofluviales de la última glaciación, con niveles freáticos entre 1 y 5 m de profundidad, por lo que presenta alta vulnerabilidad a la contaminación. En general, la calidad de las aguas de estos acuíferos es buena, ya que los contenidos de la mayoría de los elementos cumplen con los requerimientos establecidos por la norma chilena para agua potable, excepto para el hierro y manganeso, lo que limitaría su aprovechamiento en algunas sectores.

En el sector al oeste de La Unión, donde se encuentran los mayores problemas de abastecimiento de agua, existe un acuífero en rocas fisuradas sedimentarias del Mioceno, de media a baja importancia hidrogeológica, que varía de libre a libre cubierto y que presenta vulnerabilidad alta a baja, donde el agua percola a través de fracturas y es captada por vertientes o norias para el abastecimiento domiciliario.

Valdivia. Incluye la ciudad de Valdivia y las localidades de Corral, Niebla y Pelchuquín. Los depósitos glaciofluviales de la penúltima glaciación y fluvio-estuarinos del último período interglacial constituyen el sistema de acuíferos de mayor importancia en el área, que se localiza, en forma discontinua, en las cuencas de San José de la Mariquina y Valdivia. Este sistema se compone de dos acuíferos confinados: un acuífero superior en depósitos fluvio-estuarinos del último período interglacial y un acuífero inferior en depósitos glaciofluviales de la penúltima glaciación, separados por estratos de arcillas impermeables de 6 a 30 m de espesor, pertenecientes a los depósitos fluvio-estuarinos (**Fig. 3**). La vulnerabilidad para tales acuíferos es baja a muy baja, dependiendo del espesor de la cobertura, aunque, tanto en Valdivia como en el sector de San José de la Mariquina, suelen presentarse acuíferos colgados, en la zona no saturada del sistema principal de acuíferos y que corresponden a estratos de arenas bien consolidadas (cancagua) y fisuradas, explotados mediante norias. La calidad de las aguas subterráneas del sistema principal de acuíferos es, en términos generales, apta para consumo como agua potable, excepto por el hierro, manganeso y amonio, cuyos elevados contenidos afectan el sabor, olor y/o color del agua y elevan los costos de tratamiento para su potabilización. Sin embargo, los acuíferos colgados en depósitos de "cancagua" presentan buena calidad del agua, constituyendo una fuente alternativa de abastecimiento, aunque sus caudales máximos de explotación son bajos.

Por su gran extensión, el potencial hidrogeológico del acuífero en rocas fisuradas metamórficas del Paleozoico, que generalmente constituye un acuífero libre, de media importancia hidrogeológica y vulnerabilidad moderada, merece ser evaluado en detalle.

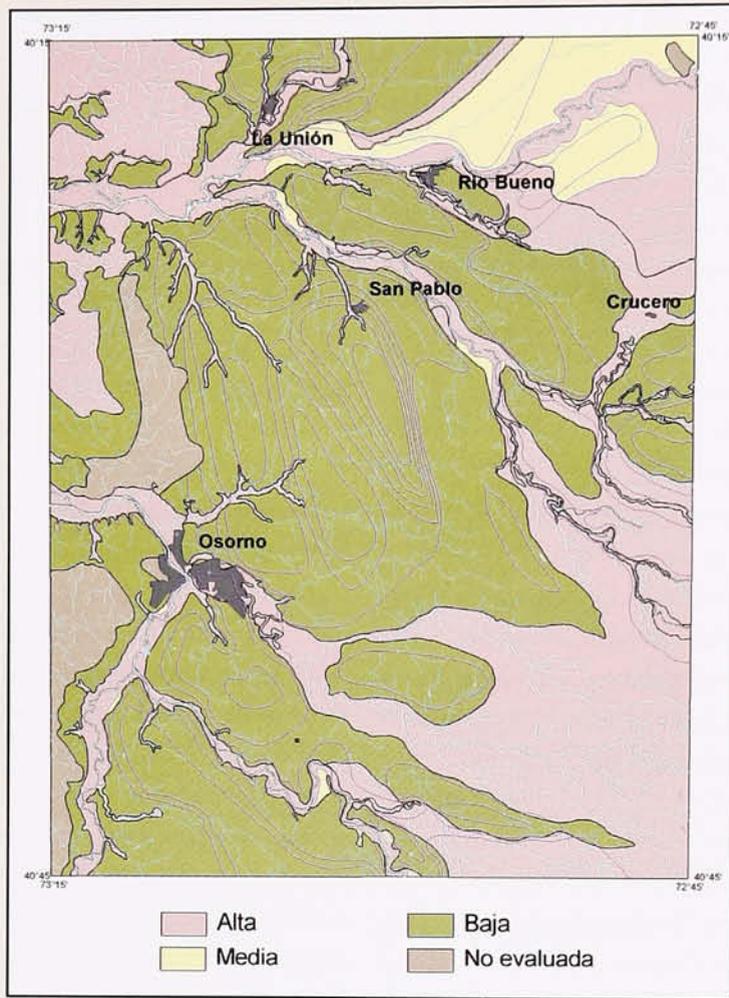


Fig. 2. Vulnerabilidad de acuíferos del área de Osorno.

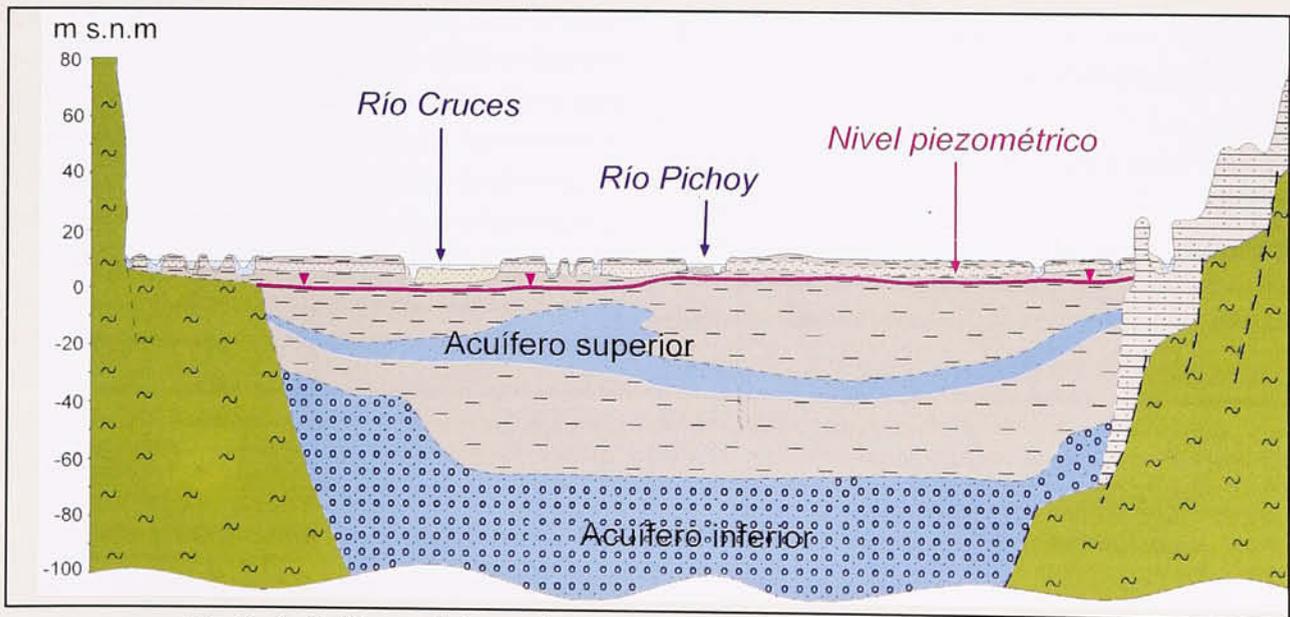


Fig. 3. Perfil hidrogeológico en el área de Valdivia, cuenca San José de la Mariquina.

ESTUDIOS EN DESARROLLO

En el marco del convenio con el Gobierno Regional de Los Lagos, se encuentran en desarrollo los estudios hidrogeológicos de las hojas Valdivia y Osorno (escala 1:250.000). En este contexto, se ha realizado la compilación de la cartografía geológica disponible a escala 1:100.000, se ha recolectado la información sobre captaciones de agua subterránea en la Dirección General de Aguas y en otros organismos públicos y privados y se ha avanzado con gran parte del trabajo de terreno destinado principalmente a la medición de niveles estáticos, determinación de parámetros físico-químicos *in situ* (pH, conductividad, oxígeno disuelto, fosfato y amonio) y toma de muestras para análisis en laboratorio de iones mayoritarios y elementos traza. Toda esta información está siendo ingresada en una base de datos que se confeccionó especialmente para la integración de datos requeridos en estudios geológicos aplicados, que incluye un módulo de hidrogeología.

Próximamente, se iniciarán los trabajos en las hojas Puerto Montt y Castro, lo que permitirá contar con cartografía hidrogeológica a escala regional de toda la Depresión Central de la región, donde se concentran las principales áreas urbanas y que presenta el mayor potencial de explotación para las aguas subterráneas.

DESAFIOS FUTUROS

Una vez completada la cartografía hidrogeológica regional, será necesario avanzar en la caracterización de los acuíferos principales de la región, con el fin de precisar, entre otras propiedades, sus parámetros hidráulicos, tiempos de tránsito y áreas de recarga, mediante la aplicación de técnicas como pruebas de bombeo, ensayos con trazadores, métodos geofísicos y técnicas isotópicas.

El establecimiento de redes de monitoreo, químico y de niveles piezométricos, permitirá determinar variaciones, naturales y antropogénicas, de la calidad y direcciones de flujo de las aguas. Esto último es de particular importancia para el estudio de las conexiones hidráulicas entre aguas superficiales y subterráneas. La información colectada podría constituir la base para la aplicación de modelos hidrogeológicos, de gran importancia para el establecimiento de zonas de protección de captaciones de agua y en la realización de balances hídricos.

La aplicación de tales metodologías planteará nuevos requerimientos de laboratorio, tales como, análisis de compuestos específicos para estudios de contaminación, técnicas isotópicas para estudios de recarga y capacidad de análisis rápida y amplia, como lo demanda el establecimiento de redes de monitoreo y la estandarización y acreditación requerida por las nuevas normativas ambientales en desarrollo. Gran parte de estos requerimientos deberán ser implementados por el Sernageomin. Además, el desarrollo de nuevas áreas de trabajo, tales como técnicas de terreno, laboratorio, tratamiento, interpretación y presentación de datos, requieren necesariamente de continua capacitación y preparación de profesionales y personal de apoyo.

Sin duda, el desafío más importante, es la creación de mecanismos de comunicación efectivos y de instancias de trabajo conjuntas, con organismos públicos, universidades, comunidades y todos aquellos que participan en la planificación y gestión de los recursos hídricos o que son usuarios de éstos. Fuera del ámbito regional, es una tarea pendiente la comunicación dentro de la propia institución, de las experiencias y metodologías adquiridas, aplicadas a la planificación y gestión del territorio y los recursos hídricos, de modo que puedan ser reproducidas en otras regiones del país ■

Metalogénesis y perspectivas de exploración minera

Paul Duhart

Geólogo,
Oficina Técnica
Puerto Varas - Sernageomin



La explotación de depósitos metalíferos y de recursos energéticos en la Región de Los Lagos, históricamente ha incluido yacimientos de oro, cobre-plata y depósitos de carbón. Los yacimientos auríferos son del tipo placer y se han explotado de manera esporádica y artesanal desde épocas prehispánicas. Vetas de cobre-plata, en el sector costero de Valdivia, se explotaron artesanalmente, hasta poco después del terremoto del 60. La explotación industrial de carbón en localidades cercanas a La Unión y Los Lagos ha alcanzado niveles históricos, cercanos al 15% de la producción total del país.

La exploración minera sistemática de gran parte de la Cordillera de la Costa fue realizada por el Estado por intermedio de la Compañía Minera del Pacífico, en conjunto con el Instituto de Investigaciones Geológicas, en las décadas del 60 y 70. En la década del 70, la Empresa Nacional del Petróleo efectuó una exploración sistemática de hidrocarburos en el ámbito de la Depresión Central y costa afuera cuyos resultados indicaron la presencia de gas natural en un sondaje exploratorio perforado en la plataforma continental, al oeste de Valdivia. Compañías mineras privadas han explorado depósitos metalíferos definiendo algunos prospectos mineros que permanecen en una etapa preliminar de exploración.

Trabajos recientes de cartografía regional y exploración geológica básica (Sernageomin-Brgm, 1995; Sernageomin, 1998), resultaron en el descubrimiento de numerosas ocurrencias metalíferas y anomalías

mayo de 2006

geoquímicas en sedimentos de drenajes, que orientaron la exploración hacia la definición de blancos de interés. Las características genéticas, espaciales y temporales de tales ocurrencias, han permitido establecer los principales rasgos metalogénicos para la Región de Los Lagos (Crignola 2000; Crignola y Ordoñez, 2003; Duhart et al., 2000, 2003, 2005, 2006).

RESEÑA GEOLÓGICA

Uno de los aspectos fundamentales que explica la evolución geológica de la parte centro-sur de Chile es el fenómeno de subducción, mediante el cual la placa oceánica se sumerge bajo la placa continental, situación común, aunque con particularidades, de gran parte del borde continental sudamericano (Figs.1 y 2). Este proceso

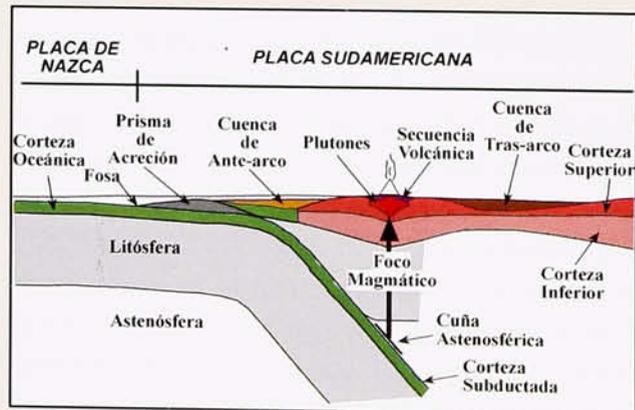


Fig. 1. Perfil esquemático que muestra el proceso de subducción de una placa oceánica (Nazca) bajo una placa continental (Sudamericana) y la zona de generación de magmas.

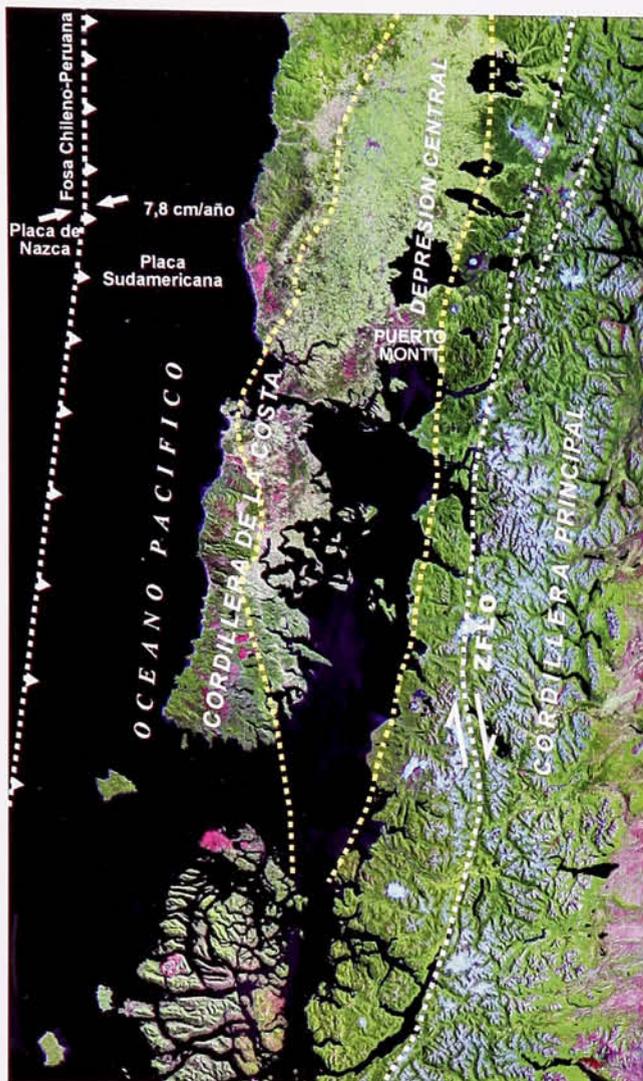


Fig. 2. Aspectos tectónicos de la Región de Los Lagos, mostrando los principales rasgos estructurales y las placas tectónicas interactuantes.

fue responsable de la acreción de materiales oceánicos al borde continental durante el Carbonífero-Triásico (320 – 220 millones de años), al cual se asocian depósitos volcánicos-exhalativos y complejos máficos a ultramáficos con mineralización en la Cordillera de la Costa. A partir del Jurásico (200 millones de años), este mismo mecanismo es responsable de la actividad magmática que originó diversos tipos de rocas volcánicas e intrusivas y de la génesis de depósitos metalíferos. La generación de cuencas sedimentarias con aporte continental durante el Oligoceno-Mioceno (30 - 20 millones de años) permitió una acumulación suficiente de materia orgánica para la generación de mantos de carbón, mientras que la sedimentación marina ocurrida durante el Mioceno (20 - 10

millones de años), con microorganismos asociados, originó rocas con un potencial generador de hidrocarburos.

El rasgo estructural más destacado en la región es la megaestructura geológica denominada Zona de Falla Liquiñe-Ofqui (ZFLO, **Fig. 2**). Consiste en un conjunto de fallas cuya traza principal es de rumbo dextral, al menos para el Cenozoico Superior, de tendencia NNE y cercanamente vertical. La coincidencia espacial de la traza principal y de algunas ramas laterales oblicuas, con el plutonismo del Mioceno y con la ubicación de parte de la actual cadena volcánica, refleja probablemente que el emplazamiento de magmas ocurrió preferentemente a través de esta estructura, lo que tiene una implicancia metalogénica directa. Asimismo, gran parte de las manifestaciones de aguas termales ocurren en torno a esta estructura.

METALOGÉNESIS

El patrón zonado de las ocurrencias de mineralización metálica, en conjunto con la distribución de unidades geológicas ha permitido definir tres provincias metalogénicas, de orientación norte-sur (**Fig. 3**), las cuales son coincidentes con rasgos tectónicos de expresión geomorfológica (**Fig. 4**). Ellas son las provincias metalogénicas de la Cordillera de la Costa (PMCC), de la Depresión Central (PMDC) y de la Cordillera Principal de Los Andes (PMCP), cada una con épocas y franjas metalogénicas particulares y características.

Provincia de la Cordillera de la Costa

Incluye, principalmente, rocas metamórficas del Paleozoico-Triásico y cuerpos intrusivos del Cretácico y Eoceno. En ella se reconocen dos épocas metalogénicas de carácter polimetálico. La Época Metalogénica del Paleozoico-Triásico incluye ocurrencias de Cr, Mn y Cu-(Zn) y anomalías de Cr-Ni, Cu-Zn-(Pb), Au-Cu-Zn, Au-Co-Cr y Cu (**Fig. 3**). Las ocurrencias de Mn y Cu-(Zn) se relacionan con volcanismo basáltico submarino y son comparables con yacimientos del tipo sulfuros macizos, mientras que las de Cr se asocian a rocas máficas y ultramáficas serpentinizadas.

das. La Época Metalogénica del Cretácico-Eoceno, incluye vetas hidrotermales de Cu-(Ag) y Au-As-Sb, alojadas en rocas metamórficas y relacionadas con rocas intrusivas, y anomalías de Au-As, Au-(Pb), Cu-Pb-Zn-(Au-Co) y Au (Fig. 3).

La PMCC incluye mantos de carbón intercalados en secuencias sedimentarias continentales del Oligoceno-Mioceno, los cuales han sido explotados industrialmente. Esta provincia contiene, además, placeres auríferos

ubicados cerca de Valdivia, Osorno, al oeste de Puerto Montt y en el sector costero occidental de la Isla Grande de Chiloé (Fig. 3). La mayor parte de ellos se asocian con sedimentos cuaternarios de origen glaciofluvial, mientras que otros, presentan retrabajo, constituyendo placeres auríferos litorales.

Provincia de la Depresión Central

La PMDC comprende sedimentos cuaternarios mayoritariamente de origen glacial, portadores de partículas de oro detrítico. El oro se ha concentrado en placeres fluviales y glaciofluviales (Fig. 3). Estudios morfoscópicos de partículas de oro evidencian prolongados transportes (Ordoñez, 1998; 2000). La fuente primaria del oro correspondería, principalmente, a mineralizaciones hidrotermales localizadas en la Cordillera Principal de Los Andes. Así, el oro habría sido transportado hacia el oeste por agentes glaciares, después de haber sido liberado por la acción de los hielos durante las glaciaciones del Pleistoceno. Sin embargo, el estudio de partículas de oro de los placeres auríferos de Madre de Dios, localizados al norte de Los Lagos, donde la Depresión Central tiende a desaparecer como expresión geomorfológica notable, sugiere una proveniencia local.

Provincia de la Cordillera Principal

Incluye, mayoritariamente, rocas graníticas y volcánicas del arco magmático Meso-Cenozoico. En la PMCP se individualiza una franja aurífera y otra polimetálica, limitadas por la traza principal de la ZFLO (Figs. 3 y 4). La Franja Aurífera, localizada al oeste de la ZFLO, contiene depósitos meso a epitermales de Au-(As) como vetas y 'stockwork' (Fig. 3), hospedados en rocas volcánicas jurásicas e intrusivos terciarios. Contienen, además, mineralización de Cu-Mo, cuya génesis se asociaría al magmatismo del Mioceno. La Franja Polimetálica, localizada al este de la ZFLO, incluye mineralización de Cu-Mo y Cu-Pb-Zn (Au-Ag) en forma de vetas y vetillas, brechas, 'stockwork' y disseminaciones (Fig. 3), hospedada en rocas intrusivas, volcánicas y sedimentarias mesozoicas. Estas se asociarían con depósitos de tipo skarn, vetas hidrotermales y,

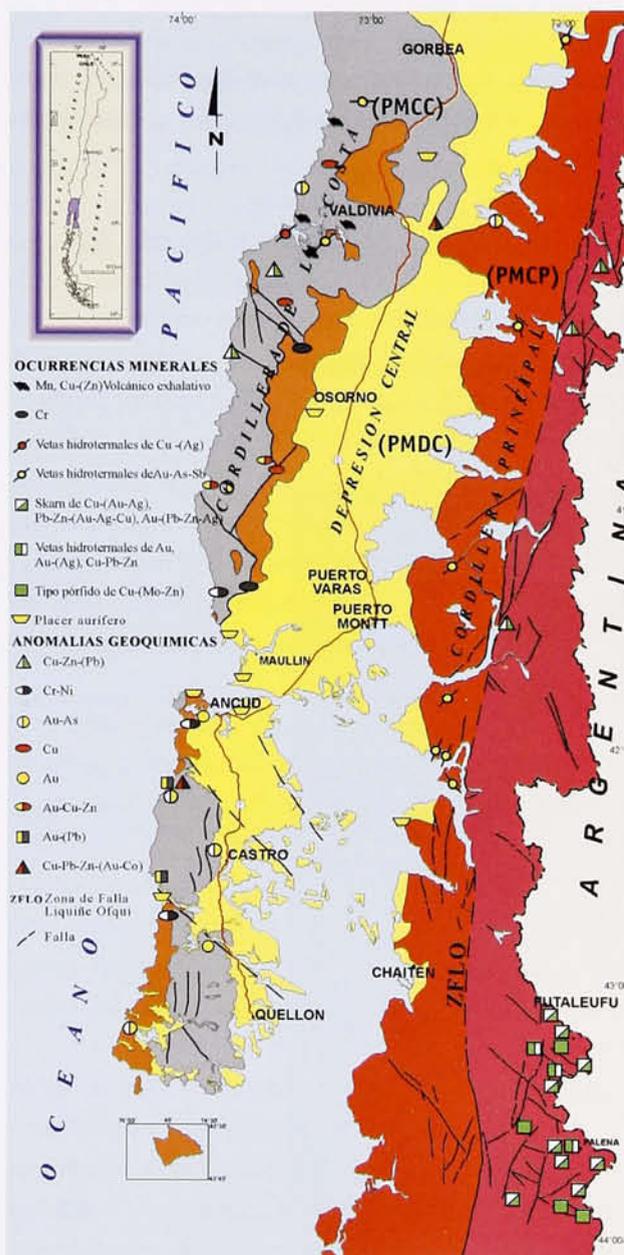


Fig. 3. Provincias Metalogénicas y sus ocurrencias minerales y anomalías geoquímicas en la Región de Los Lagos.

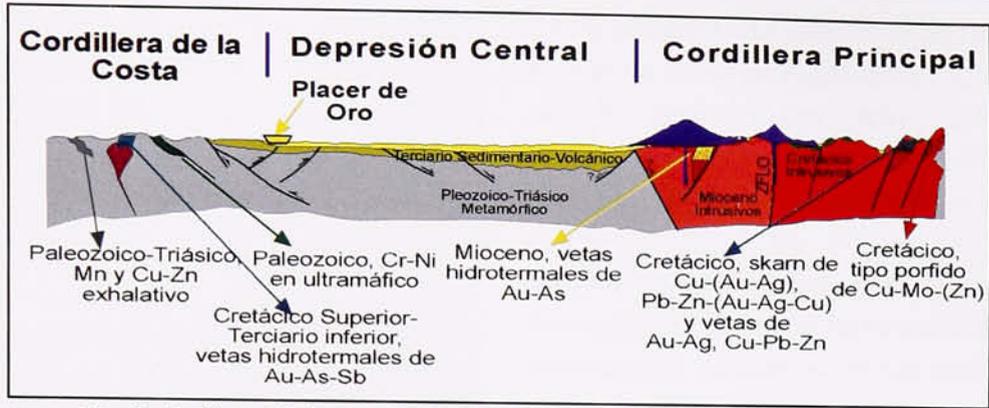


Fig. 4. Perfil geológico esquemático indicando las Provincias Metalogénicas con sus ocurrencias minerales y su relación tectónico-morfológico.

probablemente, de tipo pórfido cuprífero, relacionadas genéticamente con el magmatismo del Cretácico.

PERSPECTIVAS DE EXPLORACIÓN

En la X Región de Los Lagos se han identificado ocurrencias y depósitos minerales de pequeño a mediano tamaño en comparación con Los Andes del centro-norte de Chile, aunque el ambiente de subducción con procesos de magmatismo y deformación asociados son favorables para la formación de depósitos minerales. Los estudios detallados de tales ocurrencias y depósitos permitirán entender la razón de tal característica y pueden contribuir, además, a la generación de nuevos conceptos metalogénicos y modelos exploratorios.

El análisis de la información metalogénica disponible indica que en la PMCC existe un limitado potencial para la exploración de depósitos de Cr, Mn y Cu-(Zn) debido, principalmente, a las pequeñas dimensiones y baja ley de las ocurrencias hasta ahora descubiertas. Mas atractiva parece ser la prospección de vetas hidrotermales en las proximidades de los intrusivos del Cretácico y/o Eoceno, donde análisis geoquímicos en roca entregan valores anómalos de Au, As y Sb. La puesta en evidencia en los últimos años de la existencia de volcanismo intermedio a ácido del Oligoceno-Mioceno en la Cordillera de la Costa y en el borde occidental de la Depresión Central, con diferentes niveles de exposición, genera importantes expectativas para la exploración de depósitos epitermales de oro. La exploración de carbón, aunque limitada, aún continúa abierta en algunas áreas de esta provincia y un

yacimiento, con reservas de más de 25 millones de toneladas, mantiene fuertes expectativas para su explotación industrial.

La existencia de abundantes placeres auríferos, principalmente en la PMCC y en la PMDC, y el conocimiento de su extracción desde épocas pre-hispánicas, ha incentivado su exploración y continúa siendo un proyecto interesante, aunque los volúmenes involucrados permiten solo su explotación artesanal a semi-industrial. Además, la exploración se ha orientado a la detección de las rocas fuentes. La exploración de hidrocarburos en las cuencas de Valdivia y Osorno-Llanquihue, no han tenido resultados positivos, con la sola excepción, ya mencionada, del hallazgo de gas natural costa afuera de Valdivia.

La PMCP presenta el mayor interés exploratorio en la Región de Los Lagos. La existencia de rocas intrusivas con mineralización de Cu-Mo, en las dos franjas metalogénicas definidas en esta provincia, muestran, probablemente, la parte basal de los sistemas mineralizados, estando gran parte de los niveles superiores, que albergaron depósitos minerales, erosionados por acción glaciaria. Por ello, aquellas áreas próximas a los intrusivos, que preservan una cobertura metamórfica, volcánica y/o sedimentaria son de interés exploratorio. Así, la región costera de esta provincia metalogénica presenta un buen potencial aurífero, aunque la exploración se ve enormemente dificultada por la falta de accesos y por la extensa cubierta vegetal. La región más oriental de esta provincia tiene interés exploratorio para metales base (Cu-Pb-Zn) y preciosos (Au-Ag), sobre todo aquellas áreas en que se

preserva la cobertura volcánica y/o sedimentaria del Jurásico-Cretácico Inferior, esto es, en las áreas limítrofes y en territorio Argentino. En esta provincia existen también depósitos de azufre asociados a fumarolas en centros volcánicos cuaternarios y manifestaciones de aguas termales, con géisers y solfataras, constituyendo blancos para la exploración de energía geotérmica.

Estudios isotópicos recientes (Duhart et al., 2005, 2006), en particular geocronología Re-Os en molibdenitas y U-Pb SHRIMP en circones, demuestran la estrecha relación temporal existente entre magmatismo y mineralización en el ámbito de la PMCP. Estudios adicionales en curso permitirán progresar en el conocimiento de la evolución metalogénica de esta parte del territorio nacional y, así responder de mejor manera al tema de la escasa identificación de recursos minerales en esta región

y del bajo volumen de los depósitos minerales hasta ahora descubiertos y, eventualmente, proponer áreas particulares favorables para la exploración mineral.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece los comentarios y sugerencias aportadas por Jorge Muñoz y Aníbal Gajardo al presente artículo y el trabajo de diagramación de figuras efectuado por Jorge Parra y Eduardo Córdova. Esta contribución representa una síntesis de los trabajos del grupo de profesionales de la Oficina Técnica Puerto Varas de la Subdirección Nacional de Geología del Sernageomin.

Nota: Todos las referencias citadas en este artículo están disponibles en los archivos de la Oficina Técnica Puerto Varas del Sernageomin ■





PREMIAN A COMPAÑIA MINERA ZALDIVAR POR SU GESTION AMBIENTAL

Compañía Minera Zaldívar fue recientemente distinguida con el premio RECYCLA/OCTANTIS 2005 por su contribución y cuidado al Medio Ambiente a través de apoyo e iniciativas que fomentan el reciclaje electrónico en Chile.

Con el objetivo de generar interés en el tratamiento de residuos electrónicos y motivar la preocupación, discusión y difusión de temas concernientes al cuidado del medio ambiente en materias relacionadas con el reciclaje electrónico, la Universidad Adolfo Ibáñez, Octantis y Recycla premiaron a empresas, diversos medios de comunicación, instituciones y personas que se destacaron en esta materia durante el año 2005.

Como un ejemplo para la sociedad, se destacó a diversas empresas, entre ellas a Compañía Minera Zaldívar, que han utilizado el reciclaje electrónico como solución a la problemática de la basura electrónica en Chile.

El reciclaje de desechos electrónico considera, por ejemplo, a las cámaras de video, TV, sistemas de audio, reproductores de CD, teléfonos celulares, comunicadores inalámbricos, calculadoras, computadores personales, juegos de video, impresoras, scanners, fax, fotocopias, etc.

Cabe señalar que importantes organismos nacionales y extranjeros patrocinaron esta iniciativa, como CORFO, ProChile, País Digital, AmCham, Innovation Institute of Sweden, Subsecretaría de Telecomunicaciones y Acti, lo que sin duda posiciona a esta iniciativa pionera como líder en el tema del reciclaje electrónico.

La información geocientífica en la evaluación de **riesgos geológicos**

Hugo Moreno Roa

*Geólogo-Volcanólogo
Observatorio Volcanológico
Andes del Sur-OVDAS,
Sernageomin*



Jorge Muñoz Bravo

*PhD-Geólogo
Jefe Oficina Técnica Puerto Varas
Jefe Observatorio Volcanológico
Andes del Sur-OVDAS,
Sernageomin*

Una permanente y adecuada comunicación de la información geocientífica resulta fundamental durante el proceso de análisis y evaluación de riesgos naturales, orientado a la prevención de desastres. En este contexto, uno de los retos más exigentes es lograr que los productos geocientíficos sean considerados en la evaluación del riesgo, de modo que sustenten acciones concretas que reduzcan el impacto negativo de las amenazas geológicas y, así, contribuyan a mejorar la calidad de vida de las personas (**Fig. 1 y 2**). Producir y diseminar documentos geocientíficos es sólo una parte de la cadena necesaria para lograr impactos positivos y tangibles en las comunidades expuestas a peligros geológicos. Aún más, frecuentemente los productos geocientíficos terminan olvidados en bibliotecas y escritorios, por lo que la información que contiene un mapa no llega a su destinatario final, interrumpiéndose de este modo el proceso comunicacional necesario para ser definido como un producto terminado, impidiendo así que la información se transforme en acción de prevención y/o mitigación.

Durante la última década, el Sernageomin ha adquirido una creciente experiencia y capacidad técnica

en la generación de información geocientífica aplicada para la gestión de riesgos y, por lo tanto, aplicada a la mitigación de efectos de potenciales eventos geológicos peligrosos (sismos, erupciones volcánicas, inundaciones y remociones en masa). En la Región de Los Lagos, el Programa de Riesgo Volcánico de Sernageomin coordina y desarrolla proyectos y actividades tendientes a evaluar y mitigar efectos de erupciones volcánicas, produciendo mapas de peligros volcánicos, documentos sobre cronología y comportamiento eruptivo histórico e implementando monitoreo sistemático en los volcanes más peligrosos, además de asesorar a autoridades regionales, provinciales y comunales. También, coordina y desarrolla proyectos y actividades relacionadas con geología para la planificación territorial, contaminación de aguas subterráneas, áreas aptas para ubicación de vertederos, aptitud de los suelos de fundación y áreas expuestas a remociones en masa (aluviones, deslizamientos, desprendimientos). Además, la institución está desarrollando un programa, iniciado recientemente en la ciudad de Concepción, tendiente a microzonificar sísmicamente los terrenos donde se emplazan las grandes ciudades del país.

ANÁLISIS DE RIESGO	Identificación de Factores de Riesgos		EVALUACION DE RIESGO
	Peligro	Vulnerabilidad/ Capacidad	
Determinar la ubicación geográfica, la intensidad y la probabilidad	Determinar la susceptibilidad y capacidad		
Estimación del nivel de Riesgo			
Evaluación de Riesgos			
	Análisis socio-económico, costo/beneficio, establecer prioridades y nivel riesgo aceptable, elaboración de escenarios y planes		

Fig. 1. Esquema de análisis y evaluación de riesgos.
Basado en *Viviendo con Riesgo*, ONU 2002.



Fig. 2. Geociencias y gestión de riesgos.
Cortesía de proyecto MAP:GAC.

En la Región de Los Lagos y en el ámbito de la comunicación de la información geocientífica, especialistas de la Institución han realizado cursos, charlas y talleres de capacitación sobre peligros geológicos, especialmente volcánicos, remociones en masa y sísmicos, en los cuales han participado representantes de medios de comunicación, ministerios (MINVU, MOPTT), CONAMA, CONAF, Defensa Civil, Cruz Roja, Fuerzas Armadas y Carabineros, OREMI, universidades locales. Por otra parte, se han efectuado asesorías técnicas a autoridades municipales y regionales en materias de prevención de crisis volcánicas y remociones en masa, junto con participar activamente en reuniones, comités técnicos, exposiciones y ferias informativas regionales.

Sin embargo, la opinión pública, las comunidades y autoridades regionales y locales todavía no dimensionan adecuadamente la importancia esencial y estratégica del conocimiento geocientífico en la gestión de riesgos.

EL CASO DE LAS CASCADAS, VOLCÁN OSORNO

En el marco del proyecto multinacional PMA:GCA, Geociencias para las Comunidades Andinas, desarrollado por Canadá, en cooperación con los Servicios Geológicos de todos los países andinos, el caso de los peligros volcánicos en el área de Las Cascadas, ubicada a los pies del volcán Osorno, fue seleccionado por Chile como un caso estudio de comunicación de la información geocientífica a la comunidad. El objetivo ha sido colaborar con la comunidad y autoridades locales y regionales para lograr reducir la vulnerabilidad de sus habitantes y así mitigar los efectos de una eventual erupción del volcán Osorno (Fig. 3). Por su parte, las autoridades comunales se han preocupado del desarrollo económico y social de la localidad, lo que se evidencia también en el actual proceso de evaluación de una nueva propuesta de plan regulador y de un plan de prevención civil para los habitantes de Las Cascadas.



Figura 3. Diagrama de responsabilidades en el análisis y evaluación del riesgo volcánico.

En la actualidad, ya han sido constituidos, grupos de trabajo social y técnico con participación de representantes de la comunidad (Comité Operativo Local de Protección Civil, Juntas de Vecinos, Bomberos, Carabineros y Profesores), Municipalidad de Puerto Octay, organizaciones gubernamentales (MINVU, MOPTT, CONAMA, Gobierno Regional, OREMI, CONAF, Bienes Nacionales y Sernageomin, entre otros) y de la Universidad de Los Lagos. La misión de los grupos es generar nueva información y proponer e implementar medidas de mitigación de los eventuales efectos de un evento eruptivo futuro del volcán Osorno. Así como también actualizar el plan de contingencia preliminar, ya preparado y practicado por la comunidad y los escolares de la localidad, y, al mismo tiempo, se trabaja en la edición de material de difusión, sistemas de alertas tempranas, acciones de educación y capacitación de su población y estudiantes, como también en la preparación de proyectos que consideren la mitigación de efectos mediante obras civiles.

El proceso de comunicación de la información geocientífica realizado a la fecha y su utilización en el análisis y evaluación de riesgos volcánicos, ha permitido que la Comunidad de Las Cascadas sea la mejor preparada en el país para enfrentar los peligros volcánicos.

RESULTADOS LOGRADOS

Como resultado de lo ya expuesto, se ha logrado cierto grado de conciencia, comprensión y conocimiento, de la importancia de la información geocientífica para el análisis y evaluación de riesgos geológicos por algunas comunidades y autoridades. Por otra parte, la información generada ha sido de creciente utilidad en la planificación del uso del territorio y en la prevención y mitigación de

riesgos geológicos, especialmente en el ámbito comunal e intercomunal. Dicha información, está siendo utilizada de manera progresiva por la Corporación Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), las Oficinas Nacional y Regional de Emergencia (ONEMI y OREMI), las municipalidades y variados organismos y empresas estatales y privadas interesadas en la materia. Sin Embargo, esta información no tiene carácter normativo y el Sernageomin sólo establece relaciones de cooperación con organismos responsables de los planes de desarrollo comunales, intercomunales o regionales (Municipalidades, MINVU, MOPTT) y del análisis y evaluación riesgos (ONEMI, Oficinas Regionales de Emergencia, Comités Comunales de Emergencia y otros organismos del Estado).

DESAFÍOS FUTUROS

En este contexto, el Sernageomin ha adquirido una serie de compromisos y desafíos tendientes a aumentar su capacidad institucional, para lograr que la información generada sea efectivamente útil y realmente aplicada en la prevención y mitigación de los efectos de procesos geológicos peligrosos. Esto implica que la información geocientífica sea incorporada durante el análisis y evaluación de riesgos, transformándose en un verdadero aporte para la mitigación de efectos de procesos geológicos peligrosos. Al mismo tiempo, el Sernageomin ha adquirido el compromiso de comunicar sistemáticamente la información sobre peligros geológicos, de tal manera que su divulgación se realice antes, durante y después de la realización de cualquier proyecto que involucre una componente de riesgo en este ámbito, actuando en conjunto con los planificadores, las comunidades y los encargados de la evaluación del riesgo ■

GEOVITA S.A.

GMS

**Excelencia y
Máxima Seguridad**
en las operaciones y ejecución de las obras.

GEOVITA S.A.

- Preocupación por el medio ambiente.
- Experiencia y confiabilidad.

Especialista en: TUNELES - RAMPAS - PIQUES - EXPLOTACIONES DE MINAS - OBRAS CIVILES - MONTAJES INDUSTRIALES

Baron de Juras Reales N° 5296, Conchalí - Santiago · Fono:(2) 369-9775 Fax:(2) 369-9786
www.geovitta.cl

MINERA EL TESORO

Las Personas Son Nuestro Tesoro

MINERA EL TESORO

ISO 14.001 ✓  OHSAS 18.001 ✓

Area Minera

Eficiencia de un purificador oxicatalítico

Santiago Pinilla

*Ingeniero del Departamento
de Seguridad
Sernageomin*



La utilización de equipo diesel en minería subterránea trae consigo el problema de los gases tóxicos producidos por los motores, principalmente el monóxido de carbono (CO), que es un gas venenoso porque, al respirarlo, produce un complejo estable con la hemoglobina de la sangre.

El monóxido de carbono se elimina oxidándolo a anhídrido carbónico (CO₂) el cual forma parte del aire y en concentraciones bajas no es tóxico, pudiendo ser controlada su concentración en el aire de la mina por medio de la ventilación. En este artículo se estudia la producción de CO en función de las revoluciones de un motor, y la eficiencia de un purificador de óxido catalítico en función de la temperatura de los gases de escape. Se concluye que para lograr una buena conversión de CO a CO₂, se debe trabajar con temperaturas de gases de escape superiores a 145° C.

En la actualidad, hasta las minas de la pequeña minería utilizan equipos diesel en sus explotaciones subterráneas. Esto trae consigo el problema de los gases tóxicos o irritantes que producen los motores diesel, principalmente SO₂, NO_x, HC y CO.

La producción de SO₂ depende de la concentración de azufre en el petróleo. Por esa razón, el "Reglamento de Seguridad Minera" establece que el diesel usado debe tener una baja concentración de azufre. Los óxidos nitrosos provienen de la presencia de ellos en los combustibles fósiles como el petróleo y cuando los motores son de alta temperatura, del nitrógeno del aire. El HC es producto de una mala combustión, en cambio, la presencia de CO se debe a una combustión incompleta, por falta de oxígeno, de los hidrocarburos del petróleo. Los convertidores catalíticos aceleran las reacciones de CO a CO₂, de HC

a H₂O y CO₂ y NO_x a N₂ más oxígeno elemental. Los convertidores catalíticos son hechos a base de Platino o Paladio o Iridio o Radio, elementos que son catalizadores de las reacciones anteriores.

Los elementos catalíticos aumentan la cinética de la reacción, sin participar en ella, y permiten que reacciones que se demorarían mucho en realizarse, se hagan en un tiempo muy corto. Al no gastarse el elemento catalizador, permite usar materiales bañados en ellos, y manteniéndolos limpios, usarse prácticamente en forma permanente, hasta que se rompa la carcasa que los protege. La temperatura también aumenta la cinética de una reacción, pero al no existir un catalizador, a temperaturas normales una reacción puede demorarse años.

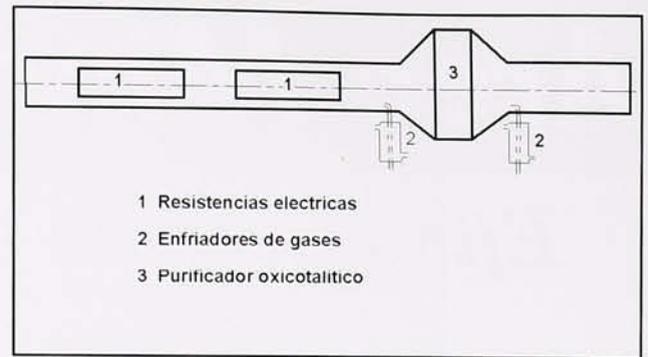
ESTUDIO REALIZADO

El estudio que este artículo comenta usó un purificador catalítico de platino de tipo monolítico. Existen 2 tipos de purificadores, uno formados por bolitas de aluminio revestidas en platino, paladio, iridio o radio, de 6 mm de espesor y otros de tipo monolítico, que tienen la forma de un panal de abejas de aluminio cubierto con un baño de catalizador. Ambos sistemas tienen por objeto proporcionar una mayor superficie de contacto entre los gases y el catalizador.

En la experiencia sólo se analizó la oxidación del CO a CO₂, por tener limitación de equipos de medición de gases y por ser el CO el principal contaminante.

Se diseñó un equipo para variar la temperatura de los gases a diferentes revoluciones del motor. Consistió en un tubo de 10 cm de diámetro y 90 cm de largo el cual se colocó después del escape y antes del purificador (ver esquema).

En el interior del tubo se pusieron resistencias eléctricas que permitían alcanzar, sin flujo de gases,



temperaturas de hasta 1.300° C. Por el exterior se colocó un serpentín para poder bajar la temperatura y medir las concentraciones de los gases. Se revistió todo el tubo con asbesto, para evitar transferencias de calor en el medio. Se instaló, además, una termocupla y un tubo pitot para medir temperatura y velocidad de los gases, respectivamente.

La medición de la concentración de los gases se hizo mediante un medidor "Drager" (tubos colorímetros), antes y después que los gases pasaran por el catalizador. El motor utilizado fue un Caterpillar de aspiración natural de 6.98 litros de cilindrada y el purificador usado era de tipo monolítico, diseñado para motores de 6.5 a 8.2 litros de cilindrada.

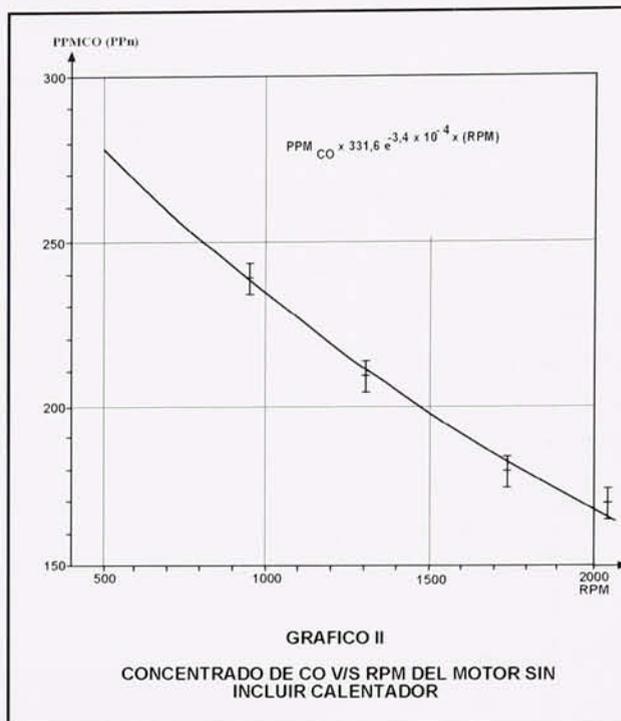
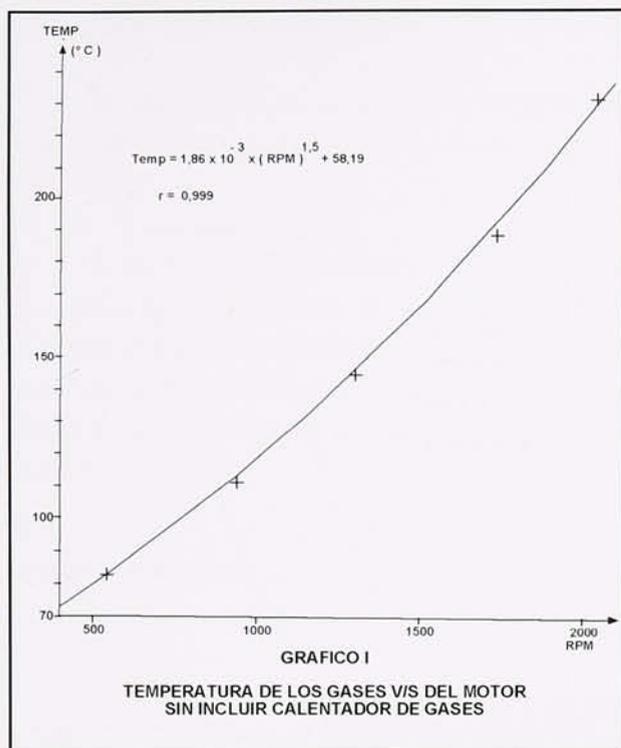
Para determinar la eficiencia del purificador se varió la temperatura para distintos regímenes del motor: en ralentí (540 RPM), estados intermedios y a plena carga (2.040 RPM). La eficiencia del purificador se determinó según la siguiente relación:

$$\text{Eficiencia (\%)} = \frac{C_1 + C_2}{C_1} \times 100$$

Donde:

C₁ = Concentración de CO antes del catalizador.

C₂ = Concentración de CO después del catalizador.



Para el motor y purificador utilizados, los resultados fueron los siguientes:

- La temperatura de los gases de escape aumentó con el número de revoluciones del motor, de acuerdo a la siguiente relación:

$$Temp (°C) = 1.86 \times 10^{-3} \times (RPM)^{1.5} + 58.19$$

El coeficiente de correlación $r = 0.999$ (ver gráfico I)

El coeficiente de correlación puede variar entre 0 y 1, por lo tanto un valor como el anterior, indica que la correlación es excelente.

- La producción de monóxido de carbono disminuye a medida que aumentan las revoluciones por minuto del motor de acuerdo a la siguiente expresión:

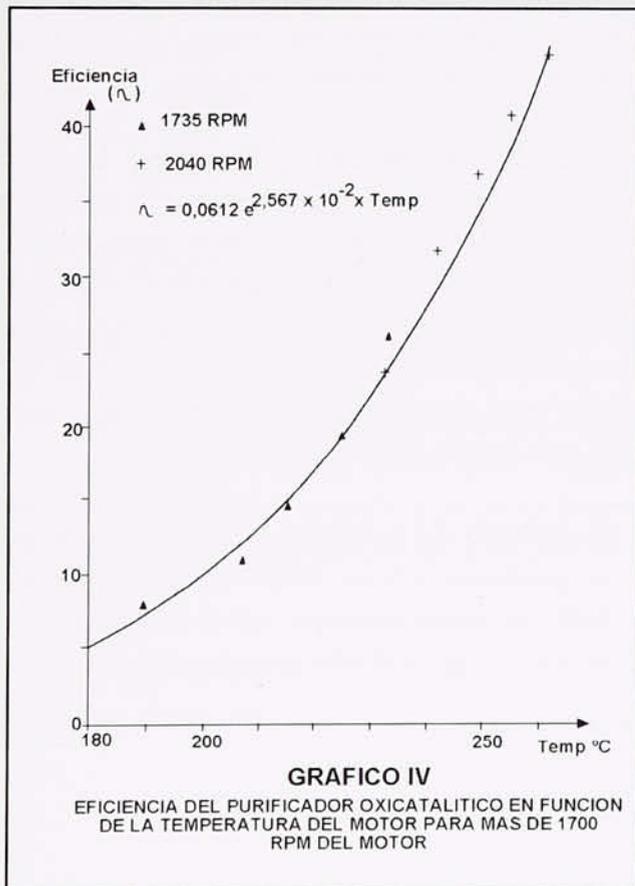
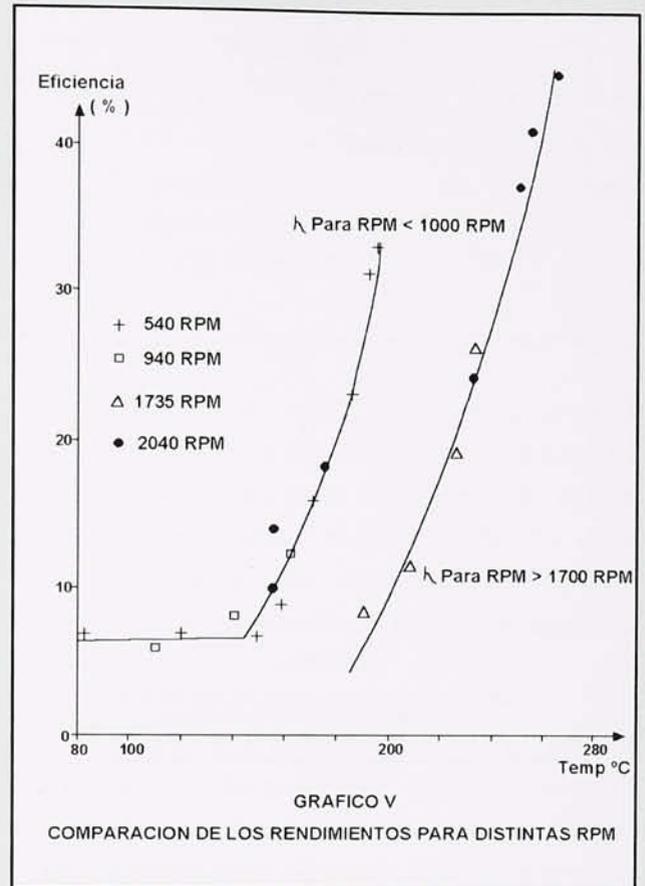
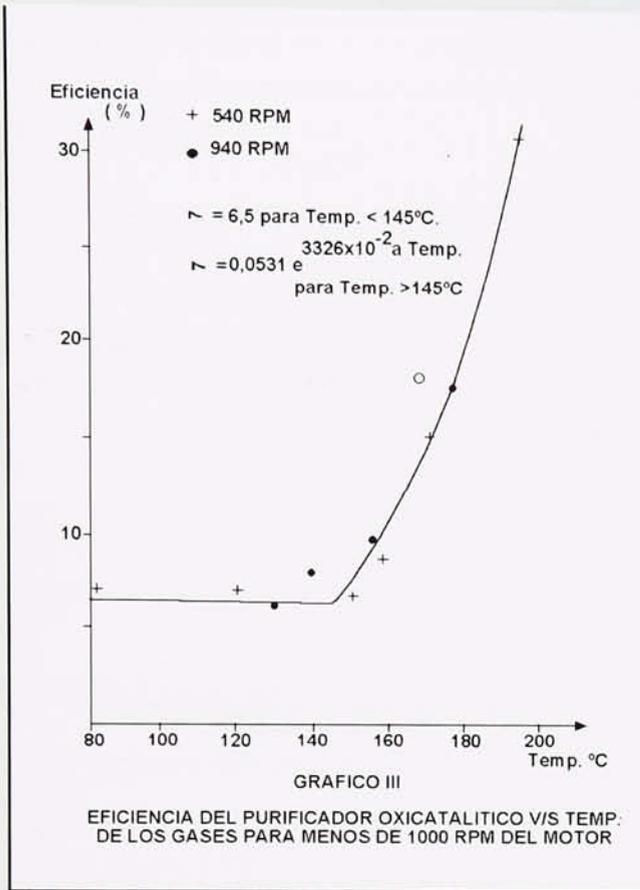
$$PPM_{CO} = 331,6 e^{-3,4 \times (RPM) / 10,000}$$

El coeficiente de correlación $r = 0.995$ (ver gráfico II).

Lo anterior se debe al aumento de la temperatura, que mejora la cinética de la reacción, y que la relación aire combustible también es más cercana a la ideal; esto mejora aún más en los motores con turbo.

Lo anterior contradice la afirmación de algunos, que creen que al trabajar un motor a menos de su potencia, la necesidad de aire de ventilación es menor. Por esa razón, el "Reglamento de Seguridad Minera" establece como valor mínimo una cantidad de aire de ventilación para los Hp efectivos al freno del motor, que son los Hp medidos en su eje, sin ningún tipo de restricción, y que cubre toda la gama de RPM que pueda dar.

- La eficiencia del purificador catalítico depende de la temperatura y de las revoluciones por minuto del motor. Se pueden distinguir 3 curvas principales: dos para menos de 1.000 RPM, cuyas expresiones son:



para temperaturas menores a 145° C. Eficiencia (%) = 6.5 y para temperaturas superiores a 145° C.

$$\text{Eficiencia} = 0.0531 e^{3.32 \times \text{Temp.} \times 100}$$

El coeficiente de correlación $r = 0.982$ (ver gráfico III).

- La otra curva es para 1.700 RPM o más, y su expresión es:

$$\text{Eficiencia} = 0.0621 e^{2.557 \times \text{Temp.}/100}$$

El coeficiente de correlación es $r = 0.993$ (ver gráfico IV).

Faltaría estudiar el rango entre 1.000 RPM y 1.700 RPM, pero la curva debe ser similar y estar entre las otras dos (ver gráfico V).

ANÁLISIS Y CONCLUSIONES

En ralentí, aumenta la producción de CO y, además, el purificador oxicatalítico tiene una eficiencia muy baja.

La disminución de la eficiencia del purificador con el aumento de las revoluciones del motor, se debe a que al aumentar la cantidad de gases, disminuye el contacto con el elemento catalítico. Para evitar lo anterior, se han diseñado nuevos catalíticos con mayores superficies de contacto.

Para evitar que se deteriore la acción del catalizador, se debe hacer una buena mantención a los sistemas de inyección y se debe proveer de aire suficiente para la combustión, evitando así la carbonización que cubriría la substancia catalizadora; además, cada cierto tiempo debe lavarse el catalizador.

Para mejorar su eficiencia, se debe disponer de un sistema de calentamiento de los gases de escape, a la salida del múltiple ■

Orica Mining Services
Transformando Ciencia en Soluciones

www.oricaminingservices.com

ORICA
MINING SERVICES

Orica lidera el mundo de la minería, construcciones y obras civiles, con sus exitosos servicios y sistemas. Esto lo ha logrado integrando personas, productos, equipos y recursos técnicos en el mundo. Orica Mining services, entregando valor más allá de la tronadura...

MINERA COBRENORTE LTDA.
MINERA CAPACHO VIEJO LTDA.
MINERA TESORONORTE LTDA.



*Presentes en el Desarrollo
Regional Minero de la II Región*



Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi SCM
**Presente en el desarrollo económico y
tecnológico de la Primera Región del País**



Modelos predictivos de filtraciones y medidas de control en tranques de relaves

Franco Marzolo

Ingeniero Civil

*Trabajo de memoria realizado en el
Departamento de Seguridad Minera,*

Sernageomin

francomarzolo@gmail.com



La industria minera chilena, actividad económica históricamente relevante tanto a nivel nacional como regional, se caracteriza por generar amplios beneficios. Sin embargo, se pueden producir diversos efectos en el medio ambiente en forma de externalidades, en cada fase de los proyectos: durante la exploración, extracción, beneficio, almacenamiento y transporte, por medio de impactos sobre el agua, aire y suelos.

Entre las tecnologías y obras asociadas a esta actividad, los depósitos de relaves suelen ser considerados tradicionalmente como uno de los de mayor impacto ambiental. Sus posibles filtraciones entregan el mecanismo más cuestionado de contaminación, por sus efectos no sólo locales, sino que potencialmente de largo alcance físico. Si bien en el caso de obras civiles, los modelos de infiltración y/o "ruteo" de contaminantes son de uso más o menos común, en la minería aún no se han utilizado con la misma extensión. Por ello, es de vital importancia analizar estas filtraciones y constatar su importancia para tomar las medidas adecuadas de control.

El trabajo fue enfocado principalmente a estudiar las filtraciones que se producen desde los depósitos de relaves, más específicamente, a modelar una serie de éstos y diversas medidas de control de este fenómeno. Sernageomin con el fin de aplicar técnicas más modernas en el estudio de proyectos, aceptó el desarrollo de este tema dentro de su Departamento de Seguridad Minera.

El procedimiento general comenzó con una revisión de modelos especializados en filtraciones y luego se seleccionó uno en particular para modelar una serie de estos depósitos. Luego de las consiguientes evaluaciones, se propuso una pauta para el uso de los modelos en la predicción de filtraciones, y se realizó un planteamiento de medidas de control de éstas.

El Software elegido para la realización de las modelaciones fue SEEP/W, versión 4.23, desarrollado por GEO-Slope Internacional. Su principal ventaja es la gran capacidad que tiene para caracterizar cada unidad hidrogeológica. Además de ser un programa de elemen-

tos finitos, éste puede complementarse con otros para determinar la estabilidad de taludes y las deformaciones sufridas ante un evento sísmico.

El procedimiento general para realizar cada modelación de las filtraciones producidas desde un depósito de relaves, fue el siguiente:

- Recopilar la información referente a la geometría del depósito y topografía del lugar de emplazamiento de éste, características de las distintas unidades hidrogeológicas (conductividad del suelo saturado, coeficientes de porosidad y curvas granulométricas), niveles freáticos medidos en sondajes antes de la construcción del tranque y análisis granulométricos de las arenas del relave. Para realizar las modelaciones se revisó literatura especializada, informes provenientes de la empresa y aportes del manual del software utilizado.

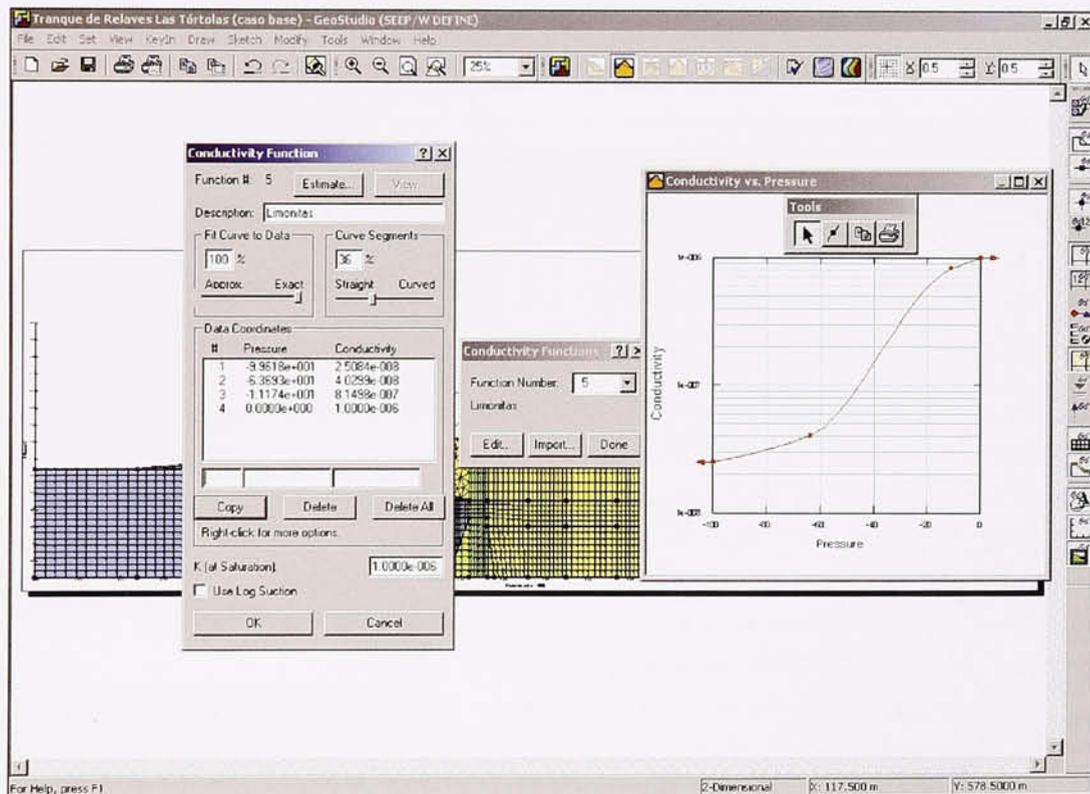
- Ingresar la geometría del depósito y de las unidades hidrogeológicas.

- Definir la función de conductividad hidráulica de cada uno de los materiales, incluyendo al relave. Para esto es importante tener un panorama general de la conductividad hidráulica del suelo saturado y algunos análisis granulométricos representativos de cada unidad, además del índice de porosidad.

- Realizar una adecuada discretización de cada una de las unidades definidas anteriormente.

- Establecer las condiciones de borde que mejor representen la situación observada en terreno.

- Resolver el modelo y contrastar los resultados con los valores entregados por los sondajes.



- Calibrar el modelo ajustando las conductividades hidráulicas de cada región.
- Agregar el muro de partida, el muro de arena del tranque y las lamas de los relaves.
- Realizar un análisis de sensibilidad con las distintas medidas de control adoptadas.

Los cuatro aspectos fundamentales para realizar estas modelaciones mediante el software son: la especificación de las propiedades de los materiales, las condiciones de borde adoptadas, la discretización y la calibración del modelo.

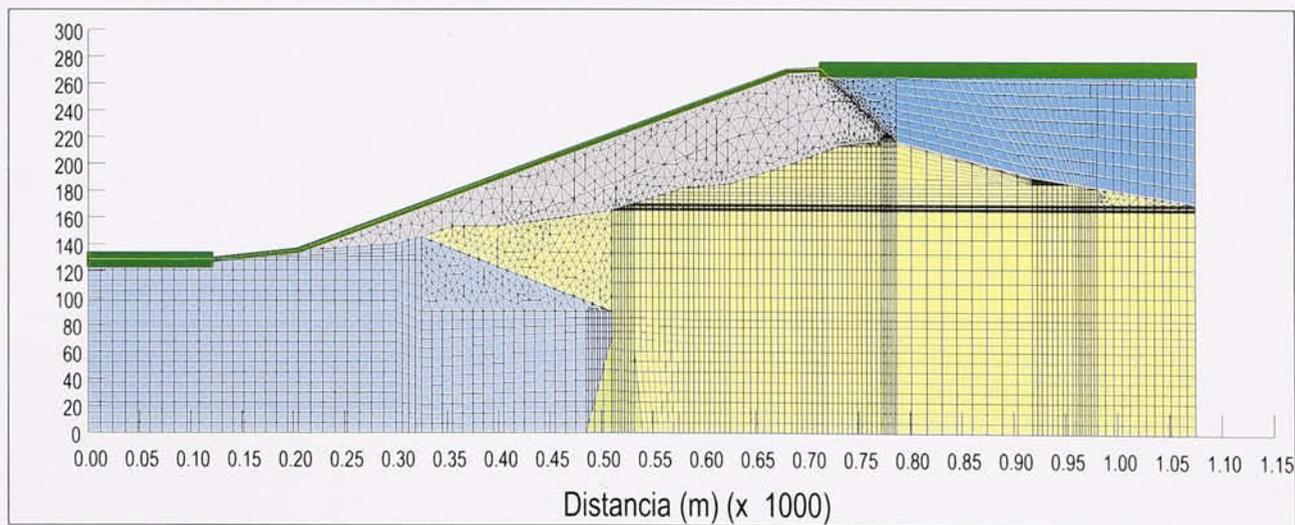
En el trabajo se describieron cada una de las propiedades hidráulicas necesarias para la resolución de la ecuación diferencial que describe la filtración en un medio poroso. Es de suma importancia tener un claro entendimiento de lo que significa cada una de estas propiedades y qué influencia tienen éstas en el tipo de resultado generado. Por ejemplo, para la descripción de la función de conductividad hidráulica de cada unidad

hidrogeológica es fundamental entender la relación existente entre la presión de poro y su contenido de agua (ver figura página 52).

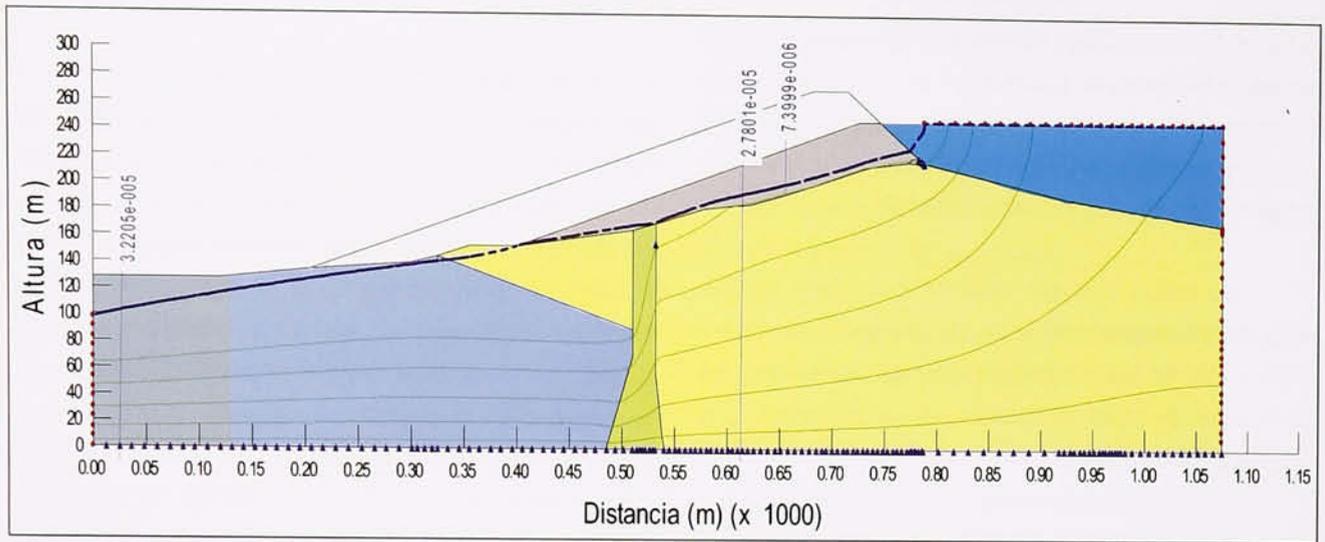
Las soluciones de los problemas numéricos son una respuesta directa de las condiciones de borde, de forma que sin éstas sería imposible obtener un resultado. En otras palabras, la solución se encuentra dentro del dominio del problema para las condiciones de borde especificadas. Además, las condiciones de borde pueden cambiar con el tiempo en un análisis transiente, sumando complejidad al problema. Especificar las condiciones de borde y poder controlarlas, transforma la modelación en una herramienta poderosa.

La calibración del modelo debe realizarse a partir del ajuste de las curvas de conductividad hidráulica hasta poder reproducir de la forma más precisa posible las condiciones observadas en terreno antes del comienzo de entrada en operación del depósito de relave.

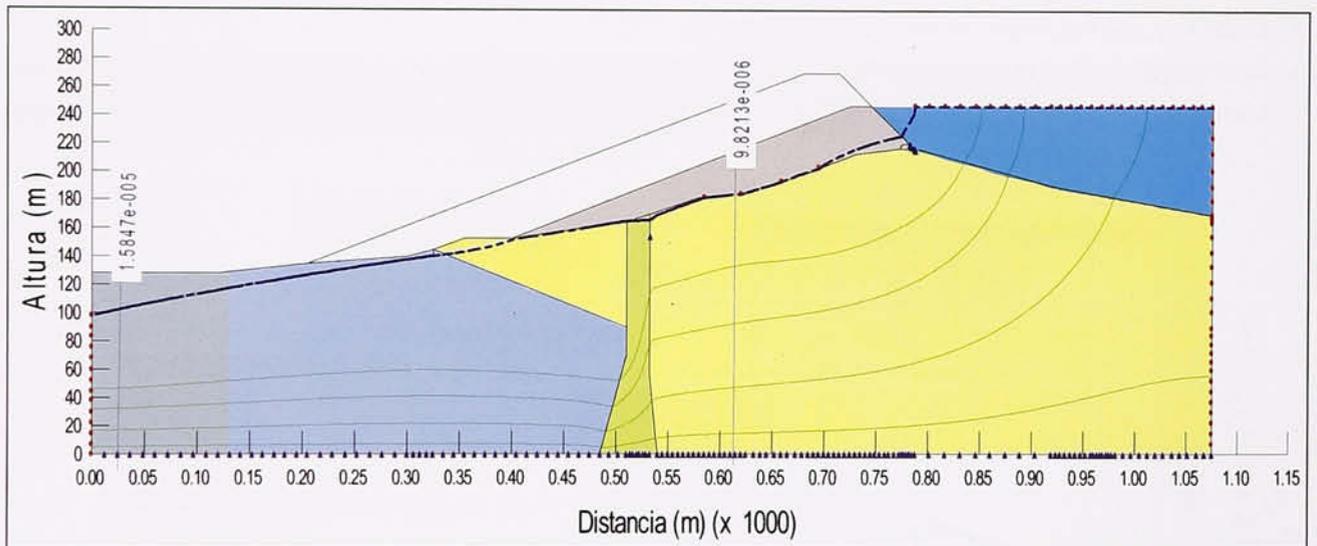
A continuación se puede apreciar una modelación realizada a un depósito de relaves actualmente en operación en Chile.



En la siguiente figura se aprecian las filtraciones a través del muro y fundación, sin considerar un sistema de drenaje basal (mitad de la operación).



Ahora vemos como la superficie freática se deprime y las filtraciones disminuyen considerablemente al agregar en la modelación un dren basal.



De los resultados obtenidos de las modelaciones realizadas se pudo concluir lo siguiente:

La posibilidad de evaluar la construcción de una cortina de inyecciones en una zona donde la roca presenta importantes fracturamientos, puede disminuir de manera considerable las filtraciones producidas. Por ejemplo, para uno de los depósitos analizados, éstas disminuirían en aproximadamente un 40%, dependiendo de su profundidad.

Por otra parte, realizar una estimación del porcentaje del caudal infiltrado hacia la fundación del muro, que no será captado por el sistema de drenaje, permite concebir un mejor diseño del depósito. Este podría contener otros sistemas de control de filtraciones, tales como: un muro de partida de mayor tamaño y/o una impermeabilización del muro aguas arriba del depósito, además de un adecuado sistema de recolección de las filtraciones captadas por el sistema de drenes basales.

El uso de un software en la modelación de las medidas de control de las filtraciones en un depósito de relave, permite obtener grandes beneficios tanto para el medio ambiente como para los costos del proyecto. Sernageomin ha incorporado el uso de este tipo de software en la revisión de proyectos de depósitos masivos mineros.

Por último, es importante señalar que el uso de esta herramienta está al alcance de la pequeña y mediana minería mediante de consultoras y expertos independientes ■



Soluciones en Minería Pregunte a Golder

Consultores en Ingeniería, Geociencias y Medioambiente

- ▶ Geología - Hidrogeología - Geotecnia
- ▶ Minería Subterránea y Rajo Abierto
- ▶ Manejo de Aguas Mina
- ▶ Drenaje Acido y Geoquímica
- ▶ Disposición de Residuos Mineros
- ▶ Relaves Espesados y en Pasta
- ▶ Evaluación de Reservas - Auditorías Mineras
- ▶ Estudios Ambientales, Remediación
- ▶ Planes de Cierre



Av. 11 de Septiembre 2353
Piso 2 Providencia, Santiago-Chile
Fono 56-2-5942000
Fax 56-2-5942001
info@golder.cl / www.golder.com

EDELNOR ELECTROANDINA DISTRINOR

PRODUCCION Y COMERCIALIZACION DE ENERGIA ELECTRICA, PARA LA MINERIA E INDUSTRIA DEL NORTE GRANDE





ANTOFAGASTA, ORELLA 679 FONDO: 55 - 280 500 FAX: 55 - 281203

SANTIAGO, AV. EL BOSQUE NORTE 500 OFICINA 902 FONDO: 02 - 353 3200 FAX: 02 - 353 3210

Exploración, prospección y medio ambiente



Roberto Ponce

*Ingeniero Civil de Minas
Magíster en Gestión
Ambiental
Sernageomin*

Para satisfacer la demanda de materias primas que la humanidad requiere para su desarrollo y bienestar, la industria minera mantiene una permanente búsqueda de nuevos recursos mineros de calidad, lo que le permite ir reponiendo el agotamiento progresivo de los yacimientos en explotación.

La exploración y prospección minera, como fases preliminares de búsqueda y evaluación de estos recursos, son procesos secuenciales de inversión, que permiten obtener información geológica, partiendo desde un estado inicial caracterizado por la incertidumbre de que un descubrimiento pueda finalmente traducirse en un proyecto minero factible de ser explotado, desde el punto de vista técnico, financiero y ambiental.

El inversionista ante el riesgo que asume, adopta la estrategia de focalizar sus esfuerzos en blancos de exploración que presenten un ambiente geológico atractivo, y privilegia aquellos países que otorguen garantías a las inversiones y en lo posible las incentive.

Chile al poseer estas características, se mantiene como un país con un sector minero pujante, diversificado y exportador de materias primas, con un claro liderazgo de relevancia mundial en cobre, molibdeno, oro, plata, hierro, yodo, nitratos y litio. En el plano interno, esto se traduce en que el sector es determinante en la economía nacional, con exportaciones que se sitúan en la actualidad por sobre el 50% del total del país.

MARCO NORMATIVO

Los cambios introducidos en los últimos 25 años al marco normativo del país han influido notablemente en el desarrollo de la minería, posibilitando la incorporación paulatinamente de la variable ambiental en sus operaciones, el incremento de las actividades de exploración, que en la actualidad cubren con Concesiones de Exploración una superficie de 9.912.800 hectáreas, 9,5% mayor en relación a 2004 y, por último, permitiendo el desarrollo de una minería privada de capitales extranjeros, cuya producción de cobre en el año el 2004 representó el 68 % de las 5.412,5 millones de toneladas producidas en el país.



Para conocer la evolución y cambios registrados en la legislación con respecto de la exploración y prospección minera, a continuación se extracta un resumen de la legislación chilena en lo pertinente.

Constitución Política de la República de Chile de 1980

Desde el punto de vista ambiental, la Constitución de 1980 consagra y garantiza, en su artículo 19 N° 8, "El derecho a vivir en un ambiente libre de contaminación, teniendo el Estado el deber de velar por lo que este derecho no se vea afectado".

La referencia que hace este texto a la exploración minera está contenida en su artículo 19, N° 24, inc.7°: "El Estado tiene el dominio absoluto, exclusivo, inalienable e imprescriptible de todas las minas, comprendiéndose en éstas las covaderas, las arenas metalíferas, los salares, los depósitos de carbón e hidrocarburos y las demás sustancias fósiles, con excepción de las arcillas superficiales, no obstante la propiedad de las personas naturales o jurídicas sobre los terrenos en cuyas entrañas estuvieren situadas. Los predios superficiales estarán sujetos a la obligación y limitaciones que la ley señale para facilitar la exploración, la explotación y el beneficio de dichas minas".

Ley N° 18.097/82 Orgánica Constitucional sobre Concesiones Mineras

En su artículo 7° establece que "Todo concesionario minero tiene la facultad exclusiva de catar y cavar

en tierras de cualquier dominio con fines mineros dentro de los límites de la extensión territorial de su concesión. Si no está amparado por concesión, se entiende que el interesado ejerce la facultad de investigar, lo cual puede hacer cualquier persona, sin preferencia".

Por otra parte, en el artículo 10 establece que "El concesionario de exploración tiene derecho exclusivo a hacer libremente calicatas y otras labores de exploración minera, salvo la observancia de los reglamentos de policía y seguridad y lo dispuesto en los artículos 7° y 8°".

Ley N° 18.248/83 Código de Minería

Se establece en el Art. 14 que "Toda persona tiene la facultad de catar y cavar en tierras de cualquier dominio, salvo en aquellas comprendidas en los límites de una concesión minera ajena, con el objeto de buscar sustancias minerales".

Los perjuicios que se causen con motivo del ejercicio de esta facultad deberán indemnizarse. El juicio respectivo se tramitará conforme a lo dispuesto en el artículo 233.

La facultad de catar y cavar queda precisada en los artículos siguientes, el 15, 16 y 17, destacando en este último, por ejemplo, lo establecido en el N° 2°, que se requerirá permiso del Intendente respectivo para ejecutar labores mineras en lugares declarados parques naturales, reservas nacionales o monumentos nacionales.



D.S. N° 72/85 Reglamento de Seguridad Minera, Ministerio de Minería

Este reglamento que fue actualizado por D.S. N° 132/02, contiene las siguientes definiciones básicas en el artículo 6:

Exploración, como el conjunto de acciones y trabajos que permiten identificar, mediante la aplicación de una o más técnicas de reconocimientos geológicos, zonas de características favorables para la presencia de acumulaciones de minerales y yacimientos.

Prospección, como el trabajo geológico minero conducente a examinar o evaluar el potencial de recursos mineros

Ley de Bases del Medio Ambiente (N° 19.300/94)

Introduce el concepto de protección ambiental que establece la Constitución, para ello en el artículo 8° expresa que “Los proyectos o actividades señaladas en el artículo 10 sólo podrán ejecutarse o modificarse previa evaluación de su impacto ambiental, de acuerdo a esta ley”.

En el mencionado artículo 10 se establece que “Los proyectos o actividades susceptibles de causar impacto ambiental, en cualquiera de sus fases, que deberán someterse al Sistema de Evaluación Impacto Ambiental,

están entre otros los contenidos en letra i), “Proyectos de Desarrollo Minero, incluidos los de carbón, petróleo y gas, comprendiendo las prospecciones, explotaciones, plantas procesadoras y disposición de residuos y estériles, así como la extracción industrial de áridos, turba o greda”.

Como puede apreciarse la Ley 19.300 emplea el término prospecciones, sin entrar a definirlo, lo que dio lugar a diversas interpretaciones tanto en el sector minero como en los organismos públicos.

Reglamento del Sistema de Evaluación Ambiental (SEIA) D.S. N° 30/97

En este reglamento se mantuvo en sus primeros años sin definir el término prospecciones. Sin embargo, en la modificación introducida a este reglamento mediante el D.S. N° 95/01, en su artículo 3, que trata sobre los proyectos o actividades susceptibles de causar impacto ambiental, en cualquiera de sus fases, que deberán someterse al SEIA, lo aborda como sigue:

Letra i) Proyectos de desarrollo minero, incluidos los del carbón, petróleo y gas, comprendiendo las prospecciones, explotaciones, plantas procesadoras y disposición de residuos y estériles.

“Se entenderá por proyectos de desarrollo minero aquellas acciones u obras cuyo fin es la extracción o beneficio de uno o más yacimientos mineros, y cuya capacidad de extracción de mineral es superior a cinco mil toneladas (5.000 t) mensuales”.

“Se entenderá por exploraciones al conjunto de obras y acciones conducentes al descubrimiento, caracterización, delimitación y estimación del potencial de una concentración de sustancias minerales, que eventualmente pudieran dar origen a un proyecto de desarrollo minero”.

Se puede interpretar con esta definición que las exploraciones no requieren ser sometidas al SEIA, en razón que es una etapa anterior a la prospección.



“Se entenderá por prospecciones al conjunto de obras y acciones a desarrollarse con posterioridad a las exploraciones mineras, conducentes a minimizar las incertidumbres geológicas, asociadas a las concentraciones de sustancias minerales de un proyecto de desarrollo minero, necesarias para la caracterización requerida y con el fin de establecer los planes mineros, en los cuales se basa la explotación programada de un yacimiento”.

Tratado Argentina-Chile Integración y Complementación Minera (29.12.97)

Pese a no ser una norma interna, el tratado contempla para los países miembros definiciones acerca de estas materias, sin embargo, con significado opuesto. Para Chile las definiciones son armónicas a las contenidas en el Reglamento de Seguridad Minera, mientras que Argentina adopta las inversas.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA EXPLORACIÓN MINERA

La experiencia indica que la minería impacta el medio ambiente desde las fases más tempranas como son la exploración y la prospección, pero la legislación vigente exige la evaluación ambiental de sus impactos solamente a la segunda de ellas. Con ello el legislador asumió que la exploración, por ser previa a la prospección, es menos “invasiva” y provoca impactos menores del territorio.

Para recordar la naturaleza y características de las actividades y trabajos comprendidas en la exploración minera, tomaremos como referencia la publicación de SONAMI “Manual de Prácticas ambientales, Exploración Minera” (1999). La importancia de este Manual radica en que es fruto del Taller realizado por SONAMI en el año 1997, en el que participaron los encargados ambientales

de empresas de exploración minera que operaban en el país y de empresas que prestan servicios complementarios a la minería. En este taller la definición de exploración minera considerada es la contemplada en el Reglamento del SEIA.

Las actividades involucradas en la exploración pueden dividirse en tres categorías:

- a) Caminos y Transporte
- b) Labores de Exploración
- c) Infraestructura de Apoyo

a) Caminos y Transporte (caminos y huellas)

- Vías de acceso al área de exploración
- Construcción y/o habilitación de vías de acceso a puntos de interés con tránsito ocasional (camionetas 4x4, jeep)
- Tránsito de vehículos de carga, de pasajeros y maquinaria pesada.

b) Labores de Exploración

- Reconocimiento geofísico (magnetometría, sísmica, gravimetría, polarización inducida, etc.)
- Chips – canaletas (excavación manual o mecánica en afloramientos, tipo chips, para toma de muestra y posterior análisis geoquímico).
- Pozos de muestreos (excavación manual o mecánica de poca profundidad, para toma de muestras y posterior análisis geoquímico).
- Zanjas/Trincheras (excavación lineal, manual o mecánica para el reconocimiento de la mineralización, geología, alteración y toma de muestra de roca no expuesta al interperismo).

- Catas o pozos (excavación manual de relativa profundidad, para reconocimiento y toma de muestras de niveles subsuperficiales de rocas y/o suelo).
- Sondajes y plataformas (perforaciones mecánica de diámetro y profundidad variables que permite el reconocimiento de la litología, mineralización, estructura y alteración en profundidad, mediante la obtención fragmentada, polvo o continua de rocas o suelos).
- Areas de acopios de muestras (Superficie destinada al acopio de materiales de muestreo y excedentes, incluye muestras de suelo, roca, sondajes de polvo y testigos).
- Labores subterráneas de exploración (Excavación mecánica o mediante el uso de explosivos para el reconocimiento de la geología, estructura y mineralización de rocas favorables para la obtener minerales de interés económico).

c) Infraestructura de Apoyo

- Campamento móvil
- Campamento semipermanente
- Baños químicos / fosas sépticas
- Disposición de desechos domésticos e industriales no peligrosos
- Insumos agua, energía y combustibles.

PROPUESTA AMBIENTAL PARA LA REGULACIÓN DE LA EXPLORACIÓN

Como es dable concluir, las definiciones de exploración que figuran en las distintas normas que regulan la materia no son unívocas, e incluso, en su alcance, difieren notoriamente.

A ese respecto, la definición de exploración contenida en el Reglamento de Seguridad Minera es conceptualmente correcta y recoge acertadamente la diferencia con el de prospección, pero es insuficiente desde el punto de vista ambiental. Ante el marco regulatorio del ordenamiento vigente, la propuesta es que el Servicio Nacional de Geología y Minería promueva que la definición de exploración, explicita criterios ambientales, para lo cual debiera necesariamente establecer una definición de exploración básica, detallando las actividades y trabajos que minimizan los impactos al medio ambiente y que, por tal motivo no requerirían evaluación ambiental, diferenciándola de una exploración avanzada, la que sí debiera someterse al SEIA, junto a la prospección.

Para tal efecto, basado en el listado que hemos extraído del manual de la Sociedad Nacional de Minería,

dentro de la exploración básica se incluirían las siguientes actividades y trabajos: reconocimiento geofísico, chips-canaletas, pozos de muestreo, zanjas/trincheras, catas o pozos y toda la infraestructura que sea necesaria para estos fines.

Desde este punto de vista, la realización de sondajes y labores mineras son actividades de fuerte impacto, por toda la infraestructura que se requiere, los servicios de apoyo involucrados y los residuos y riles que se generan, razón de sobra para que sean evaluados ambientalmente. A lo anterior, se debe agregar que detrás de la exploración y prospección se encuentran generalmente empresas transnacionales, que cuentan con políticas ambientales para propender a un desarrollo sustentable, por lo que sus niveles de actuación son exigentes en el manejo responsable de sus actividades económicas ■

SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA EL ABRA



**JUNTOS CONSTRUYENDO
NUESTRO FUTURO**



La Excelencia Operacional, la Protección del Medio Ambiente y la Responsabilidad Social, constituyen los ejes para el desarrollo de las actividades de Sociedad Contractual Minera El Abra. Así, la empresa se ha convertido en un instrumento de colaboración efectivo para el desarrollo, especialmente de la Provincia de El Loa, al establecer un compromiso de crecimiento junto a sus trabajadores, la Provincia, la II Región de Antofagasta y el país.

Un equipo comprometido con la seguridad, la calidad, el medio ambiente y la responsabilidad social.



BUCYRUS INTERNATIONAL (CHILE) LTDA.

VISIÓN

Productos Bucyrus en todas las minas de cielo abierto de nuestro país.

MISIÓN

Sustentar en el largo plazo la existencia y adquisición de productos Bucyrus en el ámbito minero, proporcionando una asesoría técnica especializada, un servicio de mantenimiento y reparación de alta calidad y el suministro oportuno de repuestos, que en conjunto respondan a las necesidades del cliente. Todo ello en un ambiente de trabajo que favorezca el desarrollo profesional y personal de nuestros colaboradores, el uso responsable de nuestros recursos y el cuidado al medio ambiente, unidos a un compromiso social con la comunidad.



"TECNO CONSERVI LTDA" .. Presta un servicio de excelencia en los requerimientos de la **"Industria Minera"**, en Chile y países vecinos, integrando en sus procedimientos Calidad, Seguridad y Sistema Ambiental. Empresa regional que toma como control del riesgo y máxima prioridad sus **Recurso Humano**.

Contando para un buen servicio en el ámbito minero con personal técnico altamente calificado, lo cual cuenta para ello con sistemas e implementación de tipo mecánica, eléctrica, metalmecánica, óleo-hidráulica, instrumentación u obras civiles.

Capacidad y solvencia estructural y económica para cubrir las necesidades del momento y futuro.

Tecno Conservi Ltda... Comprometida e involucrada con la seguridad de su gente.

Desde Regiones

Recursos hídricos: el costo de producir en el desierto

Anton Hraste

Ingeniero Civil de Minas – USACH

Director III Región

Sernageomin



La minería es por excelencia una actividad empresarial que ha beneficiado fuertemente a nuestro país, no sólo en lo económico, sino también en imagen internacional y en otros variados aspectos. En su larga historia de crecimiento y desarrollo, la minería ha debido sortear numerosos contratiempos y una constante preocupación por optimizar los recursos financieros, debido a largos períodos de bajos precios de los minerales en los Mercados Internacionales. Hoy la situación es distinta, dado el sustancial mejoramiento de estos precios. Precisamente por esto, es decir, por el afán lógico de aprovechar esta bonanza económica, es que se ha incrementado el número de faenas mineras en operaciones, y lo que es más importante, muchas faenas que estaban en operaciones antes de este explosivo aumento de los precios han incrementado fuertemente su producción. Esto, si bien es muy positivo para las empresas y para el país, ha evidenciado un problema que antes no se percibía, o que aunque producía cierta inquietud, no llegaba a ser más que otro detalle en los cálculos de ingeniería, se trata específicamente del problema de la limitación de los recursos hídricos.

En las regiones del norte de nuestro país, que es precisamente donde se realiza la mayor actividad minera, regiones que por sus características climáticas constituyen la zona desértica de Chile, el tema del agua para uso industrial y productivo ha llegado a generar una situación de gran preocupación. Además del incremento en la actividad minera, se debe sumar el gran aumento en el cultivo de frutas de exportación, como es el caso de la Región de Atacama, y de otras actividades productivas, incluidas el turismo, en que se analizan grandes proyectos sin contar con la limitación del recurso hídrico que es cada vez más notoria. Se necesitan estudios específicos para un conocimiento cabal que permita validar las decisiones de inversión que se asuman al respecto.

En este nuevo escenario, en que el requerimiento de recursos hídricos ha aumentado considerablemente, se ha generado un descenso sostenido de los niveles freáticos, lo que obliga al Estado a realizar o complementar los estudios de las cuencas hidrográficas de los valles y acuíferos de las regiones de Tarapacá a Coquimbo. Los



Tranque Lautaro, cuenca del río Copiapó.

caudales que se han concesionado, sumados, al parecer pueden sobrepasar al caudal aportado por la naturaleza, lo que estaría reflejado en el descenso de los niveles de las aguas subterráneas.

Basados en esta nueva realidad o esta nueva limitación, es importante considerar la incorporación de agua de mar, previamente desalinizada, en los procesos minero-metalúrgicos de proyectos que están en estudio, e incluso en algunos proyectos que están en operación y que son grandes consumidores de este elemento. Esta condición del agua de mar puede ser obtenida a través de osmosis inversa u otro proceso que entregue el mismo resultado bajo parámetros económicos semejantes, pero que permita abastecer las plantas de procesamiento de minerales de este líquido elemento. De otro modo, es muy posible que los resultados de estudios hidrogeológicos que se hagan en las cuencas respectivas, indiquen que es necesario, o peor aún imprescindible, disminuir la extracción de agua, con los inconvenientes económicos imaginables.

Esta situación de escasez de agua se evidencia en algunos sectores del norte de Chile, por el constante descenso del nivel freático en algunas cuencas. En la cuenca del río Copiapó, el descenso supera en algunos sectores los 5 metros anuales, sin que haya habido años particularmente secos, ya que las precipitaciones han sido normales y, además, la nieve caída en la cordillera ha sido, en algunos de los últimos años, incluso superior a la normal.

A este respecto, Sernageomin, en conjunto con la BGR, realizó en el año 1996 un estudio en la cuenca del río Copiapó que sólo comprende un tercio de la longitud de ella, pero que a pesar de no abarcar la cuenca en su totalidad, indicaba claramente que al ritmo de extracción de ese tiempo, en un futuro cercano, se presentarían graves problemas con el suministro. Al parecer, se estaba extrayendo más agua de la que la naturaleza proveía. Desde ese tiempo hasta hoy, la extracción ha aumentado considerablemente, lo que indica que la situación se hace

cada día más compleja y peligrosa para esta cuenca y sus habitantes. Motivado por esta situación, el Gobierno Regional, al igual que otras organizaciones de esta provincia, ha solicitado al Servicio que amplíe dicho estudio hasta abarcar la cuenca en toda su longitud, trabajo que se espera se inicie este año y que tiene una duración de tres años.

Del mismo modo, y producto de la misma inquietud, se ha encargado al Servicio que realice también un estudio semejante para la cuenca del río Huasco, dado el fuerte incremento de proyectos agrícolas, mineros y turísticos que están en carpeta y que posiblemente se materialicen, para lo cual se debe contar con un conocimiento acabado respecto al potencial hídrico de dicha cuenca, a fin de no extraer más de lo que la naturaleza provee y generar de este modo un daño ecológico irreversible.

Producto de esta situación, se hace necesario contar con la posibilidad de hacer minería utilizando agua de mar, situación que también afecta a otras áreas productivas, pero para esto se necesita empezar desde ya a considerar seriamente la situación y realizar los estudios de costo y de viabilidad necesarios. Es muy posible que en el futuro, que puede ser más cercano de lo deseado, sea imprescindible trabajar con este elemento marino.

El recurso hídrico, al igual que muchos otros recursos naturales, no son ilimitados como se pensaba antiguamente, sino que, muy por el contrario, algunos son mucho más reducidos de lo deseado. De acuerdo con la información que se conoce, el agua en este territorio desértico es bastante más escasa de lo conveniente, de hecho la Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi ya ha debido restringir la extracción de agua desde el Salar de Coposa a solicitud de la COREMA de Tarapacá.

Empresas mineras ya están considerando utilizar agua de mar en sus procesos, como es el caso de Minera Escondida en su proyecto de Lixiviación de Sulfuros, en el que contempla la construcción de una Planta Desalinizadora en el sector de Puerto Coloso, Minera Candelaria en Atacama, que también ha evaluado el costo de procesar sus minerales con este elemento. Estos son un par de ejemplos de esta nueva modalidad que, al parecer, y todo así lo indica, será necesario imitar dadas las circunstancias impuestas por la naturaleza. Finalmente, no se puede dejar de considerar que el más importante uso del agua dulce es el consumo humano, cuyo abastecimiento, en cantidad y calidad, jamás y por ninguna circunstancia debería estar en riesgo ■



Tranque Lautaro



Puente Planta Ojanco, río Copiapó



MINERA SAN ESTEBAN



Cía. Minera San Esteban Primera S.A.
Fono: (56-52) 224 816 / 221 655 · Fax : (56-52) 221 655 · Copiapó

ECITECNO
EDICIONES CIENTIFICAS Y TECNOLOGICAS LTDA.

DISEÑO GRAFICO

PUBLICIDAD

IMPRENTA

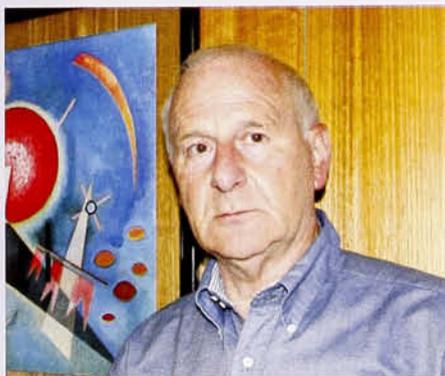
TEXTOS TECNICOS

PUBLICACIONES PERIODICAS ESPECIALIZADAS

MARCOLETA 328 OF. 71 · SANTIAGO / FONO (02)2229528 - 2229668 · E-MAIL: ECITEC@GMAIL.COM

Geotermia: una alternativa energética para CHILE

Arturo Hauser
Geólogo
Sernageomin



ANTECEDENTES

La energía geotérmica es aquella que proviene del calor natural interno de la Tierra y que puede ser recuperada y utilizada a partir del agua, gases y vapores calientes o mediante fluidos inyectados artificialmente para este fin, (tecnología de HDR, Hot Dry Rock).

Constituye un recurso natural limpio, no contaminante, renovable, (denominado "energía verde"), que no depende de factores externos, como los montos anuales de precipitaciones en un lugar, ni de las variaciones en el precio del petróleo en los mercados internacionales.

La explotación de los recursos geotérmicos emite bajos niveles de óxido de nitrógeno y bióxido de azufre, causantes del fenómeno denominado "lluvia ácida", que produce la acidificación del suelo, la corrosión de algunos metales y el desgaste de estructuras y patrimonio histórico y provoca graves daños a la población y a la vegetación. Además, dicha explotación es amigable con el medio ambiente, ya que convive en perfecta armonía

con el entorno en el cual se encuentra y el ecosistema que lo compone, sin alterar la fauna ni la flora, del lugar. No requiere ocupar o intervenir grandes extensiones de tierra, ya que la superficie utilizada para la instalación de una planta geotérmica es muy reducida.

Se ha calculado que la energía geotérmica emite 0.14 kg de dióxido de carbono, CO₂, por Mw / hora de electricidad generada, lo que la convierte en una de las mas atractivas fuentes limpias de energía del mundo. Por cada watt / hora de energía fósil que se reemplace por energía geotérmica, se reduce en un 95% la contribución al "efecto invernadero", causante de grandes inundaciones y dañinas sequías de alcance hemisférico.

La geotermia corresponde a una fuente de energía renovable o regenerativa, genéticamente vinculada con los centros volcánicos, géiseres, aguas termales y ambientes tectónicos geológicamente recientes, es decir, con actividad en la corteza terrestre manifestada muy principalmente durante los últimos 1.8 a 2.0 millones de años.

Un catastro efectuado por el Servicio Nacional de Geología y Minería, señala la existencia en Chile de aproximadamente 300 fuentes termales, **(Hauser, 1997 y 2000)**. Las manifestaciones han sido documentadas a lo largo de todo nuestro territorio, centradas en torno a ambientes volcánicos del Terciario Superior – Cuaternario, en directa relación con la presencia de activos centros eruptivos, de diverso tipo, morfología, nivel de actividad y quimismo.

A nivel mundial, la actual capacidad instalada (·) en plantas de energía geotérmica para la generación de energía eléctrica es de aproximadamente 8.930 Mw, con producción en 24 países, **(Bertani, 2005)**. Durante el año 2000, 19 países desarrollaron activas campañas de exploración, totalizando 307 pozos profundos. **(Bertani, op cit)**. Los mayores productores corresponden a: EE.UU, (2.564 Mw) y Filipinas (1.930 Mw), junto a México, Islandia, Nueva Zelandia, Italia e Indonesia. Los mayores aumentos corresponden a Francia, mediante la reciente puesta en operación de una planta de 10 Mw en la isla caribeña de Guadalupe. En 1997, la capacidad total de generación geotérmica de México era de 743 Mw **(Hiriart, 1997)**.

Hacia el año 1998, a nivel mundial, la contribución de la energía hidráulica era de 92% del total de la producción mediante recursos renovables; sólo el 1.6% correspondía a la energía geotérmica. Los costos mas bajos correspondían a estos dos recursos, seguidos por biomasa y viento.

A la fecha se dispone de 80 reservorios geotermales que se explotan mediante 250 plantas geotérmicas, atendiendo las demandas de aproximadamente 60 a 65 millones de habitantes. **(Soffia y Ramírez, 2002)**. En la actualidad, en Sudamérica, sólo en un sector fronterizo con Chile, una compañía boliviana ("Sol de Mañana"), aprovecha el recurso geotérmico para producir ácido bórico.

Lahsen (1979), sitúa en 16.000 Mw el potencial de energía geotérmica (fluidos a 240 a 260 °C) de Chile para 50 años.

Fridleifsson (2003), estima que hacia el año 2100, a nivel mundial, el aprovechamiento de energías renovables, incluida la geotermia, debería aumentar entre un 30 y 80%, respecto de los valores actuales.

La fuente de calor que produce la energía geotérmica, se encuentra naturalmente al interior de la Tierra. De manera muy simplificada, se puede decir que su estructura se compone de tres partes: núcleo, manto y corteza, de acuerdo a la siguiente caracterización:

- a) Núcleo, con un espesor de aproximadamente de 3.400 km, formado fundamentalmente por hierro fundido; su temperatura superaría los 4.000° C,
- b) Manto correspondiente a la zona intermedia, de aproximadamente 2.900 km de espesor, formado principalmente por hierro y magnesio, con una temperatura que varía entre los 800 y 1.000° C, en su parte superior, y 4.000° C en la zona de contacto con el núcleo, y
- c) Corteza, con un espesor que varía entre 5 km, bajo los océanos, y 30 a 65 Km en la parte continental. Está constituida, fundamentalmente, por silicatos de aluminio, en las zonas continentes y por una gran variedad de otros silicatos, bajo los océanos. Su temperatura varía de 15 a 20° C, en la superficie hasta los 600° a 800° C, en torno al contacto con el manto.

A nivel mundial, el mayor potencial de energía geotérmica se asocia a una discontinua cadena de centros volcánicos activos de edad pliocena – cuaternaria, que forman parte del denominado Círculo o Cinturón de Fuego del Pacífico que en términos geográficos, se inicia en torno a Indonesia y Filipinas, y se extiende hacia el noreste a

(·). Hace referencia al valor de la potencia de planta, puesta en operación por el fabricante, cuando ella opera en las condiciones de diseño.

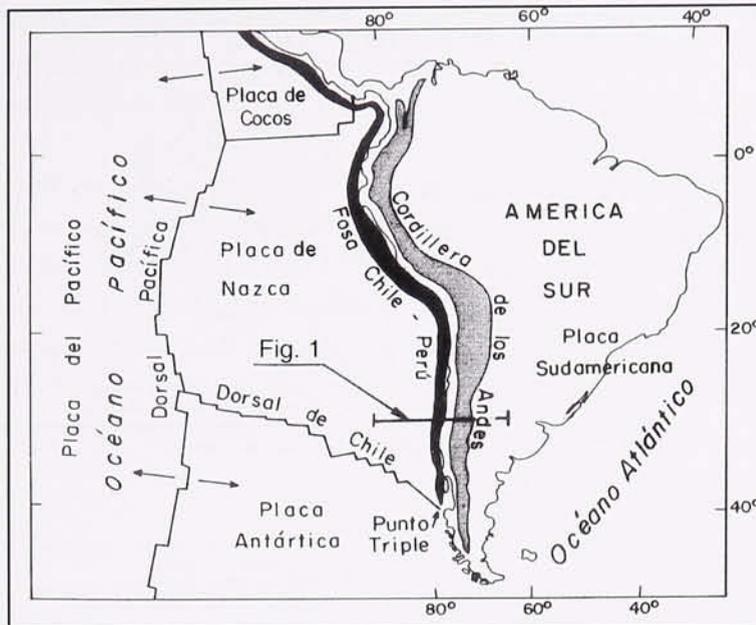


Fig. 1: Tectónica de placas en el sector sureste de la región circumpacífica.

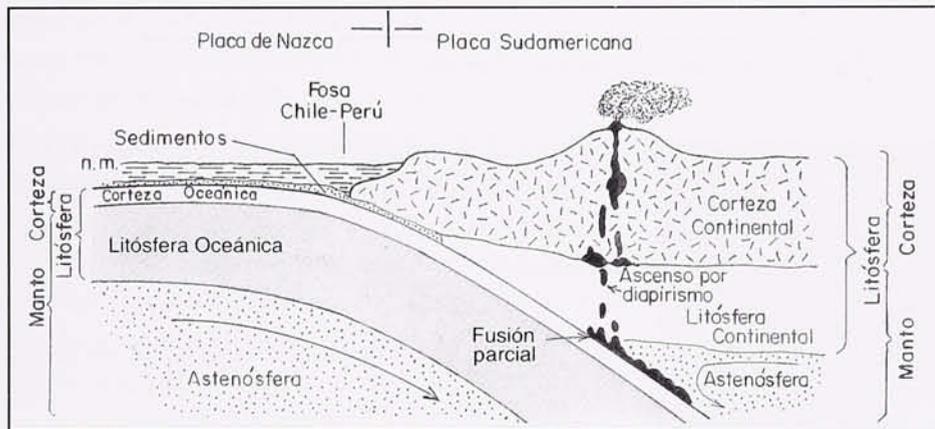


Fig. 2: Perfil generalizado de la zona de colisión o subducción entre las placas de Nazca y Sudamérica (Latitud 30°).

Japón, las islas Aleutianas, extremo norte del continente americano: Alaska, Canadá, EE.UU, centro América y todo el borde pacífico del continente sudamericano: Colombia, Ecuador, Perú y Chile, (Fig. 1).

En el caso de Chile, la actividad geotérmica está directamente relacionada con una franja de 4.200 km de largo, coincidente con una zona de activos márgenes convergentes entre las placas de Nazca y Antártida y la placa Sudamericana, (Fig 1). A lo largo de esta estructura, la subducción de la litósfera oceánica del Pacífico ha controlado la evolución geológica del territorio desde el Paleozóico hasta la actualidad, originando complejos procesos magmáticos y tectónicos, directamente relacionados con el desarrollo de ambientes geotérmicos, (Fig. 2).

El calor proveniente del interior de la tierra, se propaga hacia la corteza terrestre, donde existen amplias zonas tectónicamente estables con determinadas gradientes geotérmicas, entendidas como el sostenido aumento de la temperatura con la profundidad, con un promedio de 1° C por cada 33 metros de profundidad. Sin embargo, en torno a las zonas volcánicas, debido a fenómenos geológicos relacionados con la tectónica de placas, el flujo calórico alcanza valores muy superiores, esto es, gradientes geotérmicas que pueden superar los 10 a 20° C por cada 100 m de profundidad, (Fig. 3).

En la mayor parte de los casos, la fuente calórica de los campos geotérmicos la constituyen las cámaras magmáticas cercanas a la superficie, o los cuerpos intrusivos en proceso de enfriamiento. El respectivo sistema

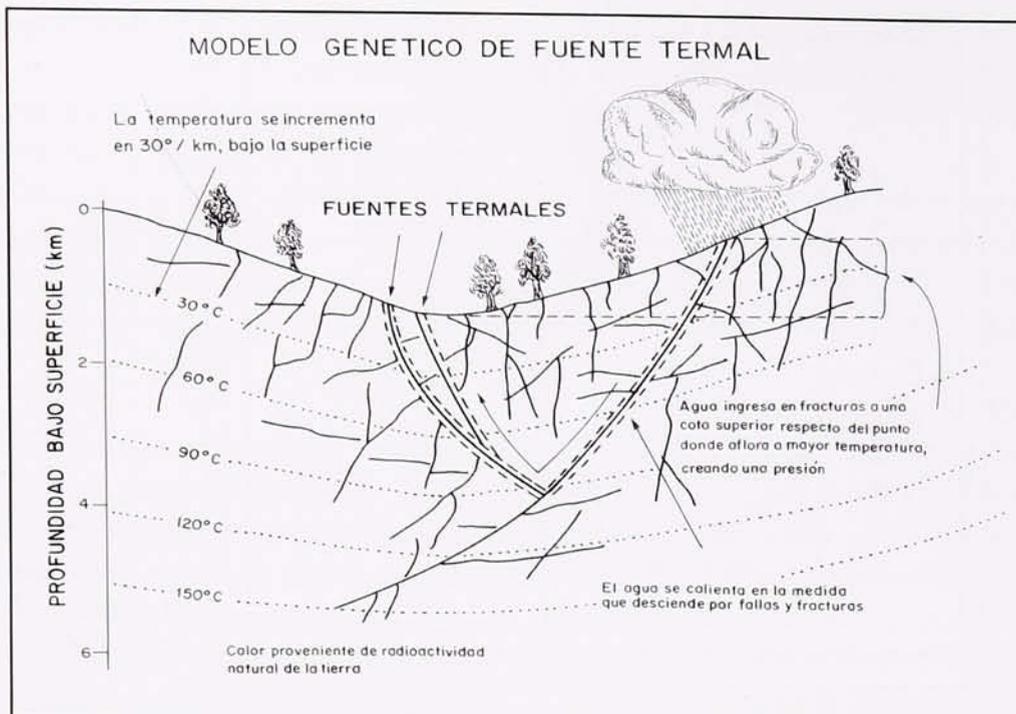


Fig. 3: Modelo genético de fuente termal.

estructural y las propiedades geomecánicas de los macizos rocosos, controlan los patrones de circulación del agua sobrecalentada. Al respecto, las estructuras más significativas corresponden a fallas y fracturas, contactos entre unidades y presencia de filones o diques. El grado de interconexión entre las fracturas de un macizo rocoso, determina su conductividad hidráulica; la densidad (número de fracturas por unidad de volumen), junto a la abertura, determinan la permeabilidad, mientras que la orientación espacial de las discontinuidades controlan la dirección y/o trayectoria más favorable para que el agua de escurrimiento superficial se infiltre y se movilice al interior de los macizos rocosos.

En determinadas zonas, el calor acumulado en el interior de la tierra, puede alcanzar terrenos permeables de la corteza terrestre albergando gran contenido hídrico; ello crea ambientes muy favorables para producir transferencias calóricas hacia la masa de agua, dando origen a reservorios naturales o yacimientos geotérmicos de vapor o agua caliente. Recurriendo a determinadas modalidades de diseño, construcción y operación, es posible materializar eficientes aprovechamientos comerciales de este tipo de energía calórica.

Un yacimiento geotérmico es, fundamentalmente, un sistema natural que permite la extracción y aprovechamiento, para diverso destino, de un fluido a alta temperatura.

Los elementos que controlan su desarrollo son:

- Presencia de una fuente de calor;
- Existencia de formaciones geológicas permeables, en situación de favorecer el desarrollo de reservorios;
- La existencia de una zona de efectiva recarga hídrica, vía infiltración de aguas meteóricas: pluviales, nivales o mixtas.
- Presencia de unidades o estructuras geológicas que actúen de cubierta impermeable y cierren el sistema, en situación de provocar la concentración del calor.

Tal y como se encuentra en la Tierra, el recurso geotérmico no es factible de ser utilizado directamente

por el Hombre. Para hacerlo, es necesario convertirlo en un tipo de energía utilizable, en función de las respectivas características termodinámicas del recurso.

El primer paso en esta conversión, consiste en localizar el recurso en la corteza terrestre, generalmente ubicado a profundidades medias de 1 a 2 Km. El acceso del recurso a la superficie, (agua caliente o vapores), se materializa mediante sondeos o perforaciones, utilizando equipos especiales. Normalmente, la temperatura del reservorio está directamente relacionada con la profundidad del pozo.

Desde el punto de vista de la energía interna del Planeta, las fuentes de baja temperatura, o **baja entalpía** ($T < 100^{\circ}\text{C}$), adquieren, cuantitativamente, gran importancia. Esta singularidad se vincula al hecho que está presente en numerosas zonas, inclusive, en aquellas exentas de actividad volcánica actual. Los aprovechamientos se vinculan con plantas de secado de madera o ladrillos; floricultura; deshidratación de frutas; calefacción domiciliaria, control de nieve / hielo en carreteras, cultivos hortícolas, viveros forestales, acuicultura, cultivo de hongos, almacenamiento de frío, producción de aire acondicionado, balneología, industria de celulosa y secado de alfalfa.

Se estima que el total de energía almacenada solamente en la capa superficial del planeta, (primeros 10 km de la corteza), en situación de ser utilizada a partir de temperaturas superiores a los 125°C , sería de aproximadamente 1.000 billones de Mv, (Bromley, 1997).

SITUACIÓN EN CHILE

Numerosas fuentes termales asociadas a manifestaciones superficiales, son objeto de aprovechamiento en establecimientos balneológicos, con fines terapéuticos. Un reciente catastro de fuentes termales chilenas, ha permitido detectar la presencia de aproximadamente 300 fuentes; de ellas, aproximadamente 23, cuentan con

establecimientos de hotelería de diversas categorías, incluyendo al menos cinco con elevados estándares por accesibilidad, nivel de sus instalaciones de hotelería, calidad de la gastronomía, disponibilidad de espacios recreacionales, servicios con tecnología de punta: hidroterapia, lodaterapia, cinesiterapia.

Además, cinco fuentes termales comparten el recurso geotérmico entre actividades balneológicas y el envasado de aguas minerales: Chusmiza - Mamiña - Socos - Chillán y Puyehue.

A nivel mundial, Chile puede ser catalogado como pionero en la exploración de energía geotérmica. Hacia el año 1908, en la ciudad de Antofagasta, se creó la primera sociedad anónima destinada a realizar estudios tendientes a determinar el uso de la energía geotérmica en la zona de El Tatio, Segunda Región, (Fig. 4 y 5). El



FIG. 4: Columna de vapor en géiseres del Tatio.



FIG. 5: Géiseres del Tatío.

año 1931 se perforaron en este sector dos pozos de 60 m de profundidad cada uno; uno de ellos estuvo activo, con flujo de vapor, por aproximadamente 30 años.

La presencia en el territorio de aproximadamente 500 volcanes, 50 de ellos considerados activos, constituye un ambiente muy favorable para determinar la presencia de atractivos campos geotérmicos, actualmente inaprovechados.



El territorio nacional, estrechamente vinculado tanto a una activa zona de tectonismo en torno a todo su borde litoral, (colisión entre placas), como a importante actividad volcánica en la zona andina, constituye un ambiente particularmente favorable para la presencia y el desarrollo de atractivos recursos geotérmicos. Sin embargo, una serie de factores, entre ellos la carencia de una efectiva legislación, la complejidad y riesgo de las

actividades de exploración y el elevado costo final del recurso, han frenado las inversiones asociadas al aprovechamiento de la energía geotérmica.

Por otro lado, la diversidad climática y geográfica de Chile, favorecería el aprovechamiento de algunos tipos de energías no convencionales, como la solar en el norte y la eólica en el sur. Entre los años 1969 y 1974, el denominado Proyecto Geotérmico, a cargo de la Corporación de Fomento de la Producción, (CORFO), con asesoría internacional, Naciones Unidas, desarrolló una serie de prospecciones geotérmicas al interior de las actuales regiones I y II, concentradas en las zonas de Puchuldiza y El Tatío, respectivamente. Entre los años 1969 y 1972 se perforaron 6 pozos de exploración con un promedio de 600 m de profundidad, en los cuales se registró una temperatura media de 240 °C. Las actividades continuaron entre los años 1973 y 1974, con la perforación de 7 pozos de desarrollo con profundidades entre 863 y 1.821 m, destinados a identificar y caracterizar la presencia del recurso geotérmico. En 4 de ellos no se detectó la presencia de fluidos, mientras que en los 3 restantes se controlaron temperaturas de 250 a 260 °C, en niveles ubicados entre los 750 y 900 m de profundidad. El año 1974, con la asistencia técnica del Reino Unido, se instaló en la zona de El Tatío una planta desalinizadora de agua, con un rendimiento de 0,25 l/s, estimado como aceptable. En 1975, la firma consultora italiana Electroconsult realizó un estudio de factibilidad para la instalación de una planta de generación eléctrica. El potencial es-

tablecido de sólo 15 Mw, fue considerado poco atractivo para materializar el proyecto.

Posteriormente, entre los años 1974 y 1977, las actividades exploratorias se extendieron hacia Puchuldiza, Pampa Lirima y Surire, al interior de la I Región. En el primer sector se perforaron 6 pozos de exploración, con profundidades de 600 a 900 m, en los cuales se registraron temperaturas de 170 °C, evaluadas como insuficientes para la generación de energía eléctrica.

En el año 1980, con fondos regionales y el apoyo de JICA (Japan International Cooperation Agency), en el campo de Puchuldiza, se perforó un pozo de 1.150 m de profundidad, con un registro de temperatura media de 200 °C.

La última actividad de exploración mediante pozos fue realizada por la Empresa Nacional del Petróleo, (ENAP). Entre el 21 de enero y 30 de abril de 1995, se perforó un pozo de 278 m de profundidad, en torno a las actuales instalaciones balneológicas de las Termas de Chillán. Permitió detectar la existencia de una gradiente geotérmica de 15 °C por cada 100 m de profundidad; la presión inicial de pozo fue de 142 libras por pulgada cuadrada con un máximo de 490 libras por pulgada cuadrada en el fondo. Para una temperatura cercana a los 200 °C se calculó un potencial de generación eléctrica de aproximadamente 2,4 Mw. En su oportunidad, los recursos geotérmicos detectados no despertaron mayor interés entre los inversionistas; varios factores coadyuvaron en este sentido: inadecuado conocimiento del recurso; grandes inversiones iniciales con elevado riesgo; suministro de energía por modalidades convencionales (hidráulica, carbón, gas y petróleo) y, carencia de un adecuado y confiable margen legal destinado a garantizar el derecho de propiedad del recurso.

Entre 1982 y 2000, el interés por desarrollar actividades vinculadas con el eventual aprovechamiento de la energía geotérmica, para diversos destinos en Chile, entró en una fase de receso. Este comportamiento de los

agentes inversores ha sido atribuido a una efectiva oferta de energía eléctrica a partir del petróleo, carbón o gas natural, basado en los bajos precios internacionales del petróleo, y en el gas natural proveniente de la República Argentina. Se estima que un factor de decisiva importancia en este comportamiento, habría sido la carencia de efectivas regulaciones y normativas administrativas y legales, relacionadas con la instauración de necesarias garantías para la adjudicación de concesiones de exploración y explotación de energía geotérmica.

LEY GEOTÉRMICA: CONCESIONES DE EXPLORACIÓN Y EXPLOTACIÓN

Los importantes avances tecnológicos en el campo del aprovechamiento de la energía geotérmica a nivel mundial, en los últimos años han contribuido a revertir la situación precedentemente descrita. De acuerdo a ello, el Estado chileno se ha encargado de generar y de lograr la aprobación del Parlamento de las necesarias bases legales, técnicas y administrativas, (leyes, decretos, reglamentos), destinadas a otorgar respaldo a las diversas modalidades involucradas en el derecho de propiedad, respecto de las concesiones de exploración y explotación.

Se ha establecido que la energía geotérmica, cualesquiera sea el lugar, forma o condiciones en que se manifieste o exista en el territorio nacional, constituye un bien del Estado.

La energía geotérmica es susceptible de ser explorada y explotada, previo otorgamiento de una concesión.

Lo anterior se funda en el hecho que si el Estado es dueño de toda la energía geotérmica, alguien debe explorarla, evaluarla y explotarla comercialmente. El mecanismo para acceder a ello es vía concesión. Consiste en el acto mediante el cual el Estado otorga derechos a favor de un particular para explorar o explotar la energía geotérmica.

La Ley N° 19.657 sobre Concesiones de Energía Geotérmica, publicada en el Diario Oficial el 7 de enero de 2000, establece básicamente las condiciones reglamentarias para la participación de empresas privadas en las actividades de exploración y explotación de fuentes de energía geotérmica.

El cuerpo legal que identifica las fuentes probables de energía geotérmica es el Decreto N° 142, del 28 de abril de 2000, del Ministerio de Minería.

La concesión de energía geotérmica es un derecho real inmueble, distinto e independiente del dominio del predio superficial, aunque tenga un mismo dueño, oponible al Estado y a cualquier persona, transferible y transmisible, susceptible de todo acto o contrato. Se otorga por decreto del Ministerio de Minería. No se pueden superponer concesiones de energía geotérmica.

La Ley excluye expresamente de su aplicación, a las aguas termales que se utilicen para fines sanitarios, turísticos o de esparcimiento.

Se define como energía geotérmica, aquella que proviene del calor natural de la Tierra, que puede ser extraída del vapor, agua, gases, excluidos los hidrocarburos, o a través de fluidos inyectados artificialmente para este fin.

La concesión de energía geotérmica puede ser de exploración o explotación.

La concesión de exploración tiene las siguientes características:

- Superficie máxima del área de concesión: 100,000 hectáreas.
- Duración: Dos años, prorrogables por dos años más a solicitud del concesionario.
- Amparo de la concesión: No tiene.

- Causas de extinción de la concesión: Caducidad del período de vigencia y/o renuncia a la concesión.

La concesión de explotación tiene las siguientes características:

- Superficie máxima del área de concesión: 20,000 hectáreas.
- Duración: Indefinida.
- Amparo de la concesión: Pago de patente anual = 1/10 UTM/Ha y el cumplimiento de las obligaciones establecidas en el respectivo Decreto.

El Juez de Letras, en cuyo territorio jurisdiccional esté ubicada la concesión de energía geotérmica, o cualquiera de ellos, si fueren varios, será competente para declarar extinguida la concesión de explotación, a solicitud del Ministerio de Minería, si el concesionario, aun habiendo pagado patente, no desarrollare las actividades de explotación de su concesión, pudiendo hacerlo en condiciones razonables de rentabilidad, con el fin de obtener utilidades o ventajas adicionales mediante la explotación de otras fuentes energéticas" (Artículo 40).

Se puede acceder a una concesión de energía geotérmica mediante asignación directa o licitación. La asignación directa se produce cuando existe un solo interesado en obtener la concesión en cierto territorio que no posea "fuentes probables" de energía geotérmica. Se realizará una licitación cuando se presentan dos o más interesados por obtener la concesión. Además, las concesiones de energía geotérmica que recaigan sobre una "fuente probable" siempre deben ser otorgadas mediante una licitación pública.

Para los efectos de la Ley, son "fuentes probables" de energía geotérmica, los afloramientos espontáneos de aguas que contengan calor del interior de la Tierra y el área geográfica circundante, que no exceda de las superficies indicadas en el Inciso 4, del Artículo 7, para una concesión de exploración u explotación geotérmica.

Sin perjuicio de lo anterior, el Ministerio de Minería podrá, en cualquier tiempo, convocar a licitación para el otorgamiento de una o más concesiones de energía geotérmica de fuente "no probable".

El titular de una concesión de exploración tendrá derecho exclusivo a que el Estado le otorgue la concesión de explotación sobre la respectiva área de exploración. Este derecho podrá ejercerse durante la vigencia de la concesión de exploración y hasta dos años después de vencida.

Toda persona natural chilena y toda persona jurídica constituida en conformidad con las leyes chilenas, tendrá derecho a solicitar una concesión al Ministerio de Minería y a participar en una licitación pública para el otorgamiento de tal concesión. Las personas naturales o jurídicas que deseen participar en las licitaciones para el otorgamiento de una concesión de energía geotérmica, deberán contar con un patrimonio de a lo menos cinco mil unidades de fomento, en el caso de personas naturales, o un capital mínimo de diez mil unidades de fomento, en el caso de personas jurídicas.

Al Ministerio de Minería le corresponde la aplicación, control y cumplimiento de la Ley y su Reglamento, así como la fiscalización y supervisión del cumplimiento de las normas de esta Ley, de los Reglamentos que se dicten y de las obligaciones de los concesionarios que se estipulen en el Decreto de Concesión. Lo anterior, sin perjuicio de las atribuciones conferidas a la Comisión Nacional de Energía (CDE), y demás organismos señalados específicamente en sus disposiciones.

A la Comisión Nacional de Energía le corresponde informar al Ministerio de Minería, para que éste se pronuncie sobre una solicitud de concesión o resolver la licitación convocada, según corresponda.

mayo de 2006

El Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile, deberá llevar un catastro de las concesiones otorgadas y sus ubicaciones geográficas, determinadas en coordenadas U.T.M.

Además, se modifica la Ley Orgánica de la Empresa Nacional del Petróleo para que pueda participar (a través de sociedades en que tenga una participación inferior al



50% del capital social) en actividades relacionadas con la energía geotérmica, pudiendo, para esos efectos, formular solicitudes de concesión, participar en licitaciones, prestar toda clase de servicios a los concesionarios para la ejecución de las labores de exploración y de explotación de energía geotérmica, y, en general,

desarrollar todas las actividades industriales y comerciales que tengan relación con la exploración y la explotación de esa energía.

Finalmente, se establece que la producción, el transporte, la distribución, el régimen de concesiones y de tarifas de la energía eléctrica derivada de la energía geotérmica, y las funciones del Estado relacionadas con ella, se regirán, en lo que fuere pertinente, por las normas contenidas en el Decreto con Fuerza de Ley N° 1, del Ministerio de Minería, del 22 de junio de 1982.

IMPACTO DE LA LEY GEOTÉRMICA

La entrada en vigencia de la Ley Geotérmica, se ha expresado en un importante factor de impulso, al escaso interés previo por desarrollar inversiones en el campo de la exploración geotérmica en Chile.

Con relación a la aplicación del Reglamento, el Decreto Supremo N° 32 del Ministerio de Minería, publicado el 28 de octubre del 2005, asigna al Servicio Nacional de Geología y Minería la responsabilidad de crear y mantener

actualizado un Registro de Concesiones de Energía Geotérmica. El Libro de Concesiones Geotérmicas consigna;

- Fecha de otorgamiento de las concesiones de exploración o explotación,
- Nombre del titular,
- Coordenadas U.T.M. de sus respectivos vértices,
- Comuna, Provincia y Región de emplazamiento de las respectivas concesiones.

A la fecha, el Libro de Registro de Concesiones Geotérmicas del Sernageomin, incluye 29 solicitudes de concesiones geotérmicas de exploración, totalizando una superficie de 567.700 hectáreas. Una vez aprobadas, las empresas disponen de ciertos plazos para realizar diversas actividades exploratorias: catastro de fuentes (vapor, aguas); geología regional y de detalle; tectónica; hidrogeología; hidroquímica; geotermometría y geofísica.

Hasta ahora, dichas solicitudes han sido presentadas, entre otras, por las siguientes empresas: Geotérmica del Norte SA; Geotérmica del Pacífico Servicios de Ingeniería Ltda.; Santa Bárbara; Minera Copiapó; CORFO; Sociedad CGF Chile SA; Empresa Nacional del Petróleo, (ENAP); Universidad de Chile; Juan de Dios Bustos Vial.

Las principales actividades exploratorias se han concentrado en 4 zonas andinas: El Tatio en la Primera Región; Calabozos en la Séptima Región; Volcán Copahue, Novena Región y Complejo Volcánico Caulle – Puyehue, Décima Región. En ninguna de las concesiones se han realizado aún perforaciones de exploración; pero se estima que ellas estarían planificadas para ser iniciadas hacia el segundo semestre del 2006. Se espera que en algunos casos, sólo tras las evaluaciones de los resultados de los trabajos de campo, laboratorio, modelación de los eventuales yacimientos y completadas las campañas de perforaciones, hacia inicios del 2007 se inicien estudios de factibilidad destinados a poner en marcha proyectos de aprovechamiento del recurso geotérmico en Chile.

PROYECCIONES

No cabe dudas que la entrada en vigencia de la Ley Geotérmica, se ha constituido en un importante factor de apoyo para el efectivo impulso de las actividades destinadas a localizar, caracterizar y evaluar el potencial geotérmico chileno.

En el mediano plazo, se estima que en Chile, la geotermia podría convertirse en una atractiva fuente alternativa de energía. Los numerosos centros volcánicos activos, (por tanto con elevadas gradientes geotérmicas), existentes a lo largo de todo el territorio nacional, constituyen un ambiente muy favorable para identificar, delimitar, caracterizar y evaluar la presencia de este valioso recurso multipropósito. Contribuirían a esta singularidad o fortaleza, su carácter de “energía verde”, renovable, los sostenidos progresos en la aplicación de nuevas tecnologías de aprovechamiento, costos competitivos, permanentes incrementos en los precios de la energía fósil y, muy principalmente, la necesidad que nuestro país diversifique su actual matriz energética, sustentada, principalmente, en hidrocarburos, petróleo e hidroelectricidad.

No debe ser desatendido el hecho que la energía geotérmica es independiente del clima, en oposición a la energía hidráulica, solar o eólica. Normalmente, las plantas geotérmicas pueden ser operadas con un factor de capacidad superior al 90%, a partir de fuentes ubicadas a profundidades en torno a los 3.000 m, **(Fridleifsson, op cit).**

Las debilidades continuarán siendo aquellas asociadas a los elevados costos financieros de las actividades exploratorias a sus riesgos o incertidumbres, y a una histórica carencia de profesionales especializados en la materia. El actual estado del arte en geotermia aún no logra establecer efectivos procedimientos analíticos y matemáticos, para cuantificar el riesgo involucrado en las actividades de exploración. Para el caso de Chile, interesa consignar que nuestro mayor potencial geotérmico está

asociado a complejos sistemas volcánicos activos, cuyas aguas y gases suelen contener elevadas y adversas concentraciones de soluciones corrosivas que pueden incrementar los costos operacionales debido a mayores requerimientos de mantención y de especificaciones técnicas para algunas partes integrante de los sistemas operacionales: ductos - turbinas - instrumentos de control o monitoreo.

La identificación temprana de fluidos ácidos en los sistemas termales, junto al análisis de su origen magmático y distribución, y alto potencial de incrustaciones por carbonatos, se ha convertido en un creciente desafío en las etapas iniciales de los proyectos de desarrollo geotérmico, **(Sinclair Knight Merz, 2002)**.

La totalidad de los ambientes volcánicos del Terciario Superior - Cuaternario en Chile se ubican en zonas andinas, de difícil acceso, condicionando actividades estacionales que invariablemente, presentan elevados niveles de riesgo por actividad volcánica y/o sísmica.

A las limitaciones precedentemente consignadas, es posible adicionar factores de incertidumbre vinculados a eventuales reclamaciones de tierras indígenas, restricciones para realizar actividades de exploración en zonas de parques o reservas nacionales, así como a indefiniciones respecto de ciertas regulaciones ambientales.

La experiencia mundial ha demostrado que en países donde la geotermia ha alcanzado importantes niveles de desarrollo, el adverso factor riesgo asociado a las actividades de exploración, ha sido minimizado por la intervención estatal, vía: a) subsidios mediante el otorgamiento de créditos o regulaciones impositivas, y b) oportuna generación y divulgación de información geológica básica.

A este último respecto, importa señalar que en algunos países como Nueva Zelanda, donde la geotermia ha alcanzado gran desarrollo como fuente energética alternativa, el Estado, a su costo, genera y pone a disposición de los eventuales inversionistas en el rubro, valiosa información básica (geología, tectónica, hidrogeología,

hidroquímica, geotermometría, geofísica) sin excluir la realización de perforaciones profundas. Se considera que esta actividad, propia de un Servicio Geológico, ha contribuido a incentivar las inversiones en geotermia, vía disminución de riesgos financieros.

La creación de una efectiva y confiable plataforma de conocimientos geocientíficos respecto de la geotermia chilena, constituye un factor a considerar al instante de definir futuras y efectivas estrategias para incentivar el aprovechamiento de la energía geotérmica en Chile. La reducción en los costos de exploración, pasa por centrar las exploraciones en zonas con los mayores potenciales de geotérmicos.

CONCLUSIONES

Al momento, aproximadamente 13 empresas han presentado 29 solicitudes de concesiones de exploración geotérmica en el país, cubriendo una superficie de 567.700 hectáreas.

A nivel mundial, el actual incremento en el desarrollo de proyectos de exploración geotérmica se vincula a: a) importantes avances tecnológicos, b) alta volatilidad en los precios del petróleo; c) principales exportadores de crudo organizados en un cartel (OPEC), cuyo poder se estima crecerá sostenidamente en el futuro próximo, d) existencia de mercados especulativos. Además, condiciones climáticas adversas, conflictos limítrofes, actos terroristas e inestabilidades políticas, limitan las seguridades o garantías en los suministros de petróleo.

En Chile, en cambio, el interés demostrado con posterioridad a la inmediata entrada en vigencia del necesario marco regulatorio para efectuar exploraciones geotérmicas, tendría directa relación con: a) importantes y sostenidos incrementos en los precios internacionales del petróleo, b) dramático descenso en la producción chilena de petróleo, c) necesidad de diversificar nuestra actual matriz energética, d) carácter renovable de la geotermia frente a recursos energéticos fósiles.

En Chile, los campos geotérmicos que han despertado el mayor interés para desarrollar proyectos de inversión corresponden a: Puchuldiza, El Tatio, Calabozos, Nevados de Chillán, Copahue y Complejo Volcánico Caulle - Puyehue.

Interesa señalar que la actual matriz energética de Chile consigna una generación de 10.700 Mw. Al año 2005, se desglosaba en: Petróleo crudo: 38%; Gas natural 26%; Carbón 6%, Hidráulica 18%; Leña y otros 13%. Respecto de las dependencias por concepto de importaciones, el petróleo alcanza al 98%, el gas natural al 67% y el carbón al 87%.

Con respaldo en algunos interesantes resultados obtenidos durante la realización de campañas de exploración geotérmica en diversas zonas del país, se estima que sólo hacia el año 2011 a 2015, podría entrar en operación la primera planta de energía geotérmica, para la producción de electricidad. Con una potencia en el rango de los 250 a 300 mw, aprovecharía el potencial geotérmico ubicado en la zona andina de Chile central.

A nivel mundial la geotermia ha demostrado su eficiencia y confiabilidad como fuente alternativa en la generación de electricidad. Se estima que la futura competitividad económica del recurso geotérmico, unido a la confiabilidad operacional de las plantas de generación y al carácter ambientalmente "amigable" de esta energía, permitirá que se constituya en una efectiva alternativa para diversificar la actual matriz energética.

Los frutos de los trabajos de exploración geotérmica en actual ejecución en diversos sectores del país, sólo se conocerán en los próximos 2 a 3 años. En ese momento podrían comprometerse las necesarias inversiones destinadas a materializar eventuales atractivos proyectos de aprovechamiento del recurso geotérmico. Dichos proyectos determinarán, sin duda, el definitivo ingreso de Chile al ámbito de los países que aprovechan este valioso recurso renovable.

REFERENCIAS

- **Bertani, R.** 2000. World geothermal power generation in the period 2001 – 2005. *Geothermics*. N 34; p. 651 – 690.
- **Bromley, C.,** 1997. *Geothermal Energy Utilization – Some Recent Trends and Development Issues in New Zealand*. 1996 - 1997 APEC Energy R&D Technology Transfer Seminar; 6 p. Santiago.
- **Fridleifsson, I. B.,** 2003. Status of geothermal energy amongst the world energy resources. *Geothermics*. N° 32; p. 379 – 388.
- **Hauser, Y., A.** 1997. Catastro y caracterización de las fuentes de aguas minerales y termales chilenas. Servicio Nacional de Geología y Minería. Boletín N° 50; 77 p.
- **Hauser, Y., A.** 2000. Mapa de Fuentes termales chilenas. Servicio Nacional de Geología y Minería. Documento de Trabajo N° 16. Escala 1: 3.000.000. Santiago.
- **Hiriart, G.,** 1997. Current utilization and development plans for geothermal energy in Mexico. APEC Energy R&D Technological Transfer Seminar; 8 p. Santiago.
- **Lahsen, A., A.** 1979. Origen y potencial de la energía geotérmica en Los Andes de Chile. *Geología y Recursos Minerales de Chile*. Tomo I. Editorial Universidad de Concepción; p. 423 – 438.
- **SINCLAIR KNIGHT MERZ,** 2002. *Geothermal Workshop: A Practical Guide to the Application of Science in Geothermal Systems*. Module 06: The Chemistry of Geothermal Fluids. Unidad de Geotermia. Grupo Empresas ENAP; 6 a 8 de marzo 2002; 5 p. Santiago.
- **Soffia J., M. y Ramirez, C., F.,** 2004. Las actividades de ENAP, en el área de la geotermia. Foro Chileno – Alemán: Energía para el Futuro. Geotermia .- Bioenergía – Energía Eólica. Cámara Chileno – Alemana de Comercio e Industria, 4 p. Santiago ■

Ciencia y Cultura

Darwin en la Región de Valparaíso

Roberto Monardes

*Presidente Casa de la Cultura Quintero
Director del Museo de Historia y Arqueología de Quintero
Director Consejo Ecológico Quintero-Puchuncaví*



Corría el mes de julio del año 1834 y procedía a recalar en la bahía de Valparaíso el HMS BEAGLE, buque de la Armada Real inglesa que traía a bordo a un joven naturalista, de tan sólo 22 años de edad, llamado Charles Robert Darwin, que se había embarcado con la anuencia del Almirantazgo, impregnado de un juvenil espíritu científico y afán investigativo, y sin percibir remuneración alguna.

Al ir adentrándose en la “hermosa Bahía”, como él la describiera, observa a lo lejos dos grandes cumbres: en primer lugar el Monte Aconcagua (o volcán como el lo llamó) y al Cerro La Campana, de cuyas existencias ya tenía conocimiento.

Asimismo, a la banda de babor, costado izquierdo del Beagle, vio como se recortaban en el horizonte dos extensiones de dunas, la primera abarca en la actualidad desde Reñaca hasta Concón, con sus arenas amarillentas y, la segunda, al norte del río Aconcagua, que corresponde a las blancas arenas de la dunas de Ritoque, las que le parecieron de sumo interés para sus estudios ya que, inclusive, a alturas cercanas a los 400 m. s.n.m. encontró conchas fósiles en un lugar que podría corresponder al

cerro Mauco, que tiene 700 m.s.n.m y está muy cerca de la playa por la que él transitaba, y que, en aquellos tiempos, se usaba como camino de Quintero a Valparaíso o viceversa.

Es muy probable que también su compatriota escritora, pintora y aventurera, Mary Graham, haya utilizado este camino cuando se dirigió, en compañía de unos amigos, en el año 1822, desde Valparaíso hasta Quintero a conocer la hacienda de Lord Cochrane.

En la mañana del día 14 de Agosto de 1834, Charles Darwin, inició su viaje de exploración científica entre Valparaíso y Quillota, en compañía de su dibujante Mr. Conrad Martens y de su reciente contratación, el guía apodado el “Huaso González”, que poseía una particularidad muy especial para Darwin, éste era el único que hablaba inglés, lo guió hasta que se fue de Chile, con lo que se cimentó una buena amistad entre ellos.

Los expedicionarios se dirigieron a caballo desde el norte de Valparaíso, por la costa, hasta la localidad de Quintero, llegando al atardecer a pernoctar en la ex hacienda que fuera propiedad de su ilustre compatriota, Lord Thomas Cochrane.



Ingreso Fundo El grillo

En la mañana del 16 de agosto de 1834, reiniciaron su viaje hacia Quillota, atravesando los campos y riachuelos hasta los faldeos del cerro Chilicaquén, “subiendo hasta la cresta”, como lo señala Darwin, y bajando hacia Quillota por el sector de la Quebrada del Ají. Esta ruta era conocida como el Camino del Inca y, posteriormente, fue usada en la época de la Colonia. Estaba adornada de bellos Chaguales, Alstromelias de diferentes colores, grandes Bellotos del Norte (en extinción) de unos 30 o 40 m de altura, y dos m de diámetro, alguno de los cuales posiblemente vio pasar por allí al ilustre naturalista. Darwin escribía a su paso, “existen grandes árboles en las quebradas”.

Asombrado por la hermosa vista que tenía del valle de Quillota, desde el cordón transversal cordillerano, sector del actual Alto del Francés (900 m.s.n.m), se dirigió hasta la hacienda San Isidro, que la ocupa actualmente la Escuela de Caballería del Ejército de Chile. Desde allí procedió a ascender al cerro La Campana, los días 17 y

18 de agosto de 1834, y desde cuya cima observó como “se mecían los mástiles de las embarcaciones surtas en la Bahía de Valparaíso”.

Transcurridos 171 años de esta trascendental visita del creador de la Teoría de la Evolución, la que fue publicada el 23 de Noviembre de 1859, el Museo de Historia y Arqueología de Quintero dependiente de la Casa de la Cultura Quintero, tuvo la iniciativa de recrear la misma ruta que realizó Charles Darwin en 1834. Su objetivo fue realizar un análisis comparativo del medio natural tras 171 años. Y, al mismo tiempo, dar a conocer el legado de Darwin, abrir la ruta como turismo cultural ecológico, promover un acercamiento intercomunal y provincial (Quintero, Puchuncaví, Quillota), crear operadores turísticos rurales y favorecer la preservación y conservación del medio ambiente, en forma puntual de las Quebradas del Ají, por el lado de Quillota, y la del fundo Casas Viejas, por el lado de Puchuncaví.

Para llevarla a cabo se presentó la iniciativa a la Asociación de Museos de la Quinta Región y se invitó a participar de esta actividad al Museo Histórico y Arqueológico de Quillota y al Museo de la Escuela de Caballería Blindada de la misma ciudad. Esta actividad se realizó, también, como un homenaje a los 40 años de la fundación de la comuna de Quintero, el día 23 de Noviembre; a los 288 de la fundación de la comuna de Quillota, el día 11 de Noviembre; a los 102 años de la fundación de la Escuela de Caballería, el día 18 de Noviembre; y a los 147 años de la publicación del libro "El origen de las especies" de Charles Darwin, el día 23 de noviembre.

Debido a que este proyecto se basó en el rescate de nuestro Patrimonio Cultural Histórico, contó con el respaldo de profesionales de diferentes áreas del saber. De esta forma se invitó, entre otras personas, al Sr. Germán Pineda, Geólogo de Sernageomin, apodado por los expedicionarios cariñosamente como "Pirquinero"; al Sr. Sandro Bruzzone, Técnico Forestal de Conaf; al Antropólogo Sr. Héctor Santibañez; al Sr. Rodrigo García, Ingeniero Medioambiental; al Sr. Concejal de la I. Municipalidad de Quillota don Cristian Cerda; y se contó con el apoyo

fundamental, como guías, de cuatro funcionarios de la Escuela de Caballería del Ejército de Chile.

El espíritu Darwiniano florecía en cada recodo de la ruta, en una travesía que ocupó dos días, con los obstáculos naturales de los empinados cerros y quebradas. Fueron en total 18 horas a lomo de caballo o de macho, animal muy noble y que Darwin encontró más fiel e inteligente que el caballo, según lo describe en su libro "Viaje de un naturalista alrededor del mundo", que narra toda su travesía entre los años 1830 y 1836 en el Beagle alrededor del mundo. Gran parte de ese tiempo lo pasó en Chile.

Las codornices asustaban a los equinos con sus vuelos sorprendidos y bulliciosos, los zorros Chillas observaban a lo lejos curiosos y temerosos y algunos cóndores revoloteaban como esperando ser llamados a un festín.

La copiosa llovizna típica de la zona, responsable de la exuberante vegetación que la "cosecha", mojaba a los expedicionarios a tal punto que, a instantes, no se veía a más de 10 m de distancia.



El geólogo del Sernageomin, Germán Pineda, durante la expedición



Cumbre Lo Colorado



Bajando hacia fundo Casas Viejas

Luego de descender el cordón montañoso, cerca de las 19.00 horas, la caravana llegó al fundo El Alamo, de propiedad de un gran darwiniano, el Sr. José Antonio Fernández, donde se realizó una tertulia junto a agentes culturales de las comunas de Quintero, Quillota y Puchuncaví, que estaban esperando a los expedicionarios. Esta estuvo a cargo del darwiniano mayor de Chile, el Sr. David Yudilevich L., profesor de la Universidad de Chile y profesor emérito del King's College de la Universidad de Londres, autor de libros sobre Darwin y Humboldt, en compañía de su asistente Gabriela.

Luego de la tertulia, y de cenar un buen asado y de una animada sobremesa, los expedicionarios se dispusieron a dormir, aprovechando para ello, cualquier lugar cómodo que ofreciera el campo.

Con posterioridad a un copioso desayuno, servido a las 06.00 horas del día siguiente, consistente en leche de vaca, pan amasado y queso de cabra, la caravana continuó la marcha hacia su meta, la que fue alcanzada con pleno éxito y satisfacción, al haber logrado el propósito de recorrer la misma ruta por donde pasó el insigne científico.

La experiencia será volcada en una publicación que está preparada para ser impresa, y que será donada a las bibliotecas municipalizadas de las comunas de Quintero, Puchuncaví, Quillota y a la Biblioteca Severín de Valparaíso. Además, se efectuarán actividades de promoción, que consideran la exhibición en colegios de videos de la expedición y presentaciones en Power Point.

Al finalizar es importante mencionar las organizaciones, empresas e instituciones que hicieron posible llevar a cabo esta histórica aventura. En primer lugar, se agradece el auspicio de DyS (Supermercados LIDER),



Todos los expedicionarios

Refinerías Aconcagua, a la I. Municipalidad de Quillota y al Hotel Boston de esta ciudad, pues sin su colaboración no habría sido posible su realización.

Cabe en esta oportunidad destacar el gentil Patrocinio de Sernageomin, en la persona de su Director Regional, Sr. Pedro Almonacid, por su gestión y apoyo permanente. Asimismo, es imprescindible realizar un reconocimiento a Conama, Conaf, Sernatur, Intendencia de Valparaíso, Gobernación de Valparaíso, Gobernación de Quillota, a las Municipalidades de Quintero, Quillota, Puchuncaví, Quilpué y de la Asociación de Museos de la V Región. Igualmente, y en forma especial, un agradecimiento al indispensable apoyo logístico de la Escuela

de Caballería de Quillota, cuyas dependencias, incluso, fueron el lugar de alojamiento de los caballares de los expedicionarios.

Impregnados del espíritu Darwiniano. Durante septiembre del presente año se llevará a efecto una segunda Ruta de Darwin, la Ruta del Marga Marga, la que realizó el naturalista en el año 1835, cuando se dirigió al norte, siempre acompañado del Huaso González, antes de irse de Chile. Esta nueva expedición partirá desde Valparaíso dirigiéndose a Viña del Mar, Quilpué, Villa Alemana, Limache, Olmué, faldeo cerro La Campana, Quillota y terminará en la Plaza Pública de Puchuncaví, como un homenaje del aniversario de esta comuna ■

Ingeniería Ambiental y Servicios S.A.
 Licencia Wheelabrator Air Pollution Control
 A Siemens Company

**"AIRE LIMPIO
 PARA UNA
 CALIDAD
 DE VIDA
 MEJOR"**

Las Bellotas 199, Of. 114, Providencia - Santiago
 Fono: (56-2) 233 7485 / Fax: (56-2) 233 6588
 E-mail: ventas@ingenieriaambiental.cl
www.ingenieriaambiental.cl



bhpbilliton

EN SPENCE VIVIMOS EL
CERO DAÑO.
Hablamos en serio

MINERA SPENCE



2C *civiles*
consultores

***Ingenieros civiles, constructores y arquitectos
juntos para resolver todo tipo de proyectos para
la industria, vivienda o comercial.***

- *Diseño y Cálculo de Estructuras Industriales*
- *Diseño y Cálculo de Edificios*
- *Urbanizaciones*
- *Proyectos Arquitectónicos*
- *Proyectos Hidráulicos*
- *Inspecciones*

Av. Alemana 141, Pedro de Valdivia • Tel: 41-730546 • Fax: 41-795870 • 404-0384 Concepción
email: 2c@telsur.cl



Minera Spence alcanza importante logro en seguridad

Autoridad la distinguió como empresa destacada del año

Un importante reconocimiento que distingue el trabajo realizado en materia de Seguridad y Salud ocupacional entregó el Servicio Nacional de Geología y Minería (Sernageomin) de la Segunda Región, a Minera Spence S.A, empresa de BHP Billiton.

Según precisó el director regional de la entidad gubernamental, Jorge Guerra Casanova, este es un estímulo especial que se adjudica una vez al año a la empresa que presenta los mejores estándares materializados durante el 2005 en la región.

“Son cinco criterios que consideramos para entregar este premio, pero uno de los elementos más importantes es que Spence hizo partícipes a los contratistas y subcontratistas del plan de prevención implementado por la empresa. Esto es muy importante si se considera que son cerca de cinco mil personas las que están trabajando actualmente en el proyecto. Durante este año, en la Región de Antofagasta, Spence es la mejor empresa en seguridad con estándares definidos desde el inicio del proyecto y un alto compromiso de la Gerencia General en mantener y materializar estos estándares y políticas de la organización”, puntualizó la autoridad gubernamental.

Precisamente fue el Vicepresidente y Gerente General de Spence, Francisco Costabal el encargado de recibir el premio en el marco de la reunión mensual de Salud, Seguridad, Medio Ambiente y Comunidades (HSEC), realizada en la faena de Spence ubicada en la comuna de Sierra Gorda.

Al encuentro asistieron representantes de aproximadamente un centenar de empresas que desarrollan labores en Spence. Cada una de ellas debe cumplir con una

serie de requisitos legales y otros exigidos por la propia compañía, como parte del plan de gestión de seguridad de la empresa.

Francisco Costabal destacó la labor que han desarrollado los equipos liderados por los gerentes de HSEC operaciones, Héctor Loo y Jorge Santiago, de Proyecto, que han demostrado que “en Spence la seguridad no se transa”.

Por su parte el Gerente de Proyecto, Alan Pangbourne, sostuvo que este premio es para cada uno de los trabajadores que han mostrado un gran compromiso con la seguridad.

Sin ir más lejos a principios de diciembre pasado se logró el récord de un millón de Horas Hombre trabajadas sin tiempo perdido.

En el encuentro de seguridad también fueron distinguidas las empresas Salfa Montaje, MinePro y Montec, por su aporte para avanzar en el camino emprendido por Spence hacia el Cero Daño ■



El director regional de Sernageomin, Jorge Guerra, entrega el reconocimiento al VP y Gerente General de Spence, Francisco Costabal.

Catalizadores magnéticos de combustión para el aumento de la eficiencia energética

EXITOSA IMPLEMENTACIÓN EN COMPAÑÍA SIDERÚRGICA HUACHIPATO S. A.

Historia y Fundamento

Las referencias técnicas de aplicación de campos magnéticos para modificar las características de los fluidos no son nuevas. Se confunde la aplicación de imanes con la de campos magnéticos de muy alta sofisticación. La aplicación a mayor escala de la teoría de ruptura y activación de moléculas de hidrógeno por influencia de

un campo magnético potente y focalizado tuvo su gran impulso en la industria aeroespacial, en tanto que su uso industrial sólo se ha materializado recientemente, una vez logrado el desarrollo tecnológico que permite la producción de campos magnéticos de altísima precisión e intensidad para generar cambios considerables a nivel molecular y a costos atractivos para la industria.

Fundamentos: Efecto catalizador - Debilitamiento enlaces C-C y C-H, Disminuye demanda de energía de activación.

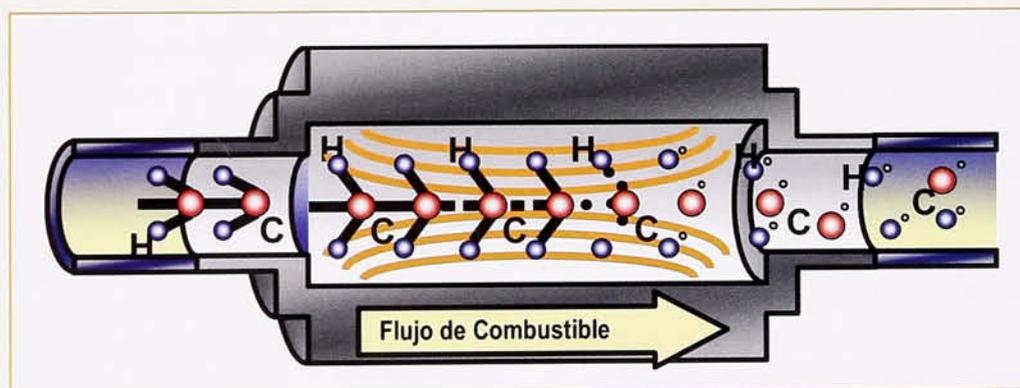


Fig. 1: Principio de operación del catalizador magnético

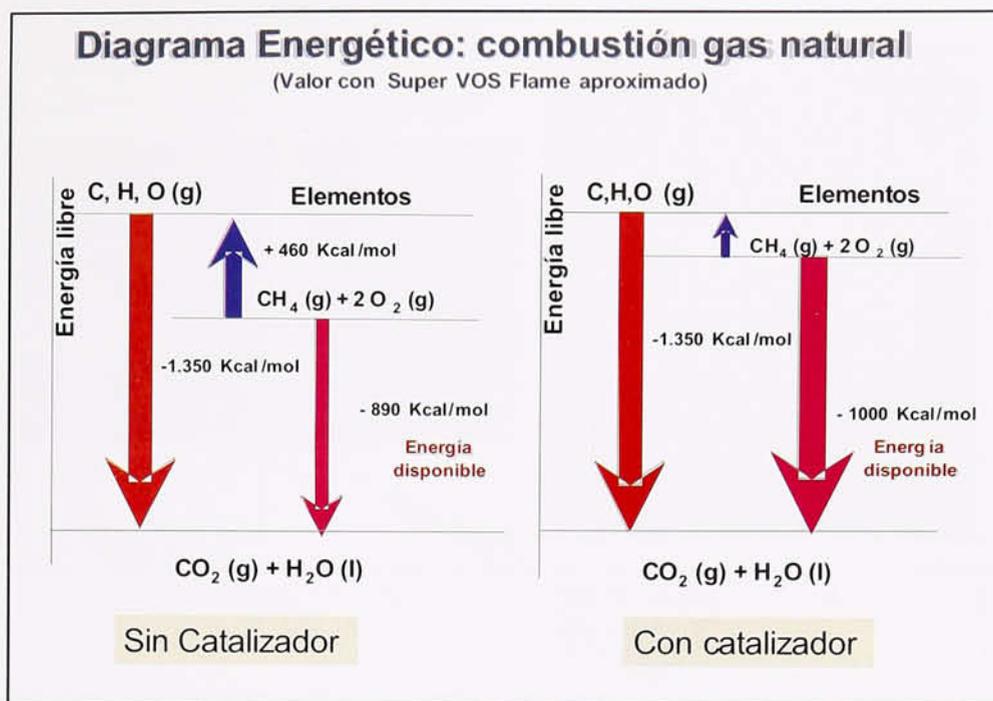


Fig. 2: Diagrama comparativo de energía disponible

EXPERIENCIAS EN COMPAÑÍA SIDERÚRGICA HUACHIPATO

En el curso del año 2004 se introduce en la Compañía Siderúrgica Huachipato la idea de efectuar pruebas utilizando una tecnología Italiana de ultima Generación denominada Catalizador Magnético VOSTECS, para mejorar la eficiencia energética en hornos y dispositivos de calentamiento de la planta siderúrgica. Con la colaboración y soporte técnico de Ecocap S.A. la empresa representante en Chile de la tecnología Vostecs se logró una mejor comprensión de los fundamentos y principios de funcionamiento de los catalizadores, así como de la sofisticación de la tecnología, y se dimensionó el gran potencial de ahorro de combustible y posible aumento de productividad asociado.

Para efectos de la experiencia, se seleccionaron dos tipos diferentes de equipos de calentamiento, de manera de evaluar los catalizadores en distintas condiciones y con diferentes combustibles, ya que la tecnología está diseñada específicamente para cada combustible (gas, petróleo pesado y petróleo livianos).

CALENTADOR DE CUCHARAS DE ACERO

Las instalaciones de Acería y Colada Continua cuentan con tres calentadores de cuchara de tipo horizontal que funcionan con gas natural a carga fija, cuya función es calentar las cucharas que retornan vacías desde las coladas y se preparan para recibir el acero sangrado del convertidor (**Fig. 3**)

Resulta vital lograr un calentamiento rápido y máxima temperatura del revestimiento refractario de las cucharas. Esto permite reducir la temperatura de sangrado del convertidor y mejorar su vida útil, prevenir la reversión de fósforo, evitar la formación de adherencias, preservar el tapón poroso y prevenir la contaminación con silicio en grados especiales de acero al facilitar la remoción de escoria residual con una mayor temperatura.

Teniendo presente el requisito operativo de calentamiento máximo para las cucharas, el desarrollo de la prueba consideró el ajuste necesario de la combustión con catalizador, de manera de obtener la mejor condición de calentamiento, con el 1% al 3% de oxígeno libre en



Fig. 3: Calentador de cucharas. Llamas sin y con catalizador.

los gases quemados y la mayor temperatura final de la cuchara. Similares ajustes se efectuaron en el equipo de referencia sin catalizador y el período de prueba se extendió por todo un mes de manera de contar con una buena base de comparación.

El Catalizador Vostecs utilizado correspondió a un modelo para calentamiento con Gas Natural, de 2.7 Gcal/hrde capacidad

El período de prueba se extendió desde el 3 de noviembre de 2004 hasta el 1 de diciembre de 2004 y entregó resultados muy superiores para el calentador de cuchara equipado con catalizador magnético:

- Notorio mejoramiento del aspecto de la llama, en su uniformidad, coloración y potencia (Fig. 3)
- Mayor temperatura final y mayor incremento respecto a la temperatura de la cuchara al inicio del calentamiento
- Menor consumo de gas natural del 8,27% para el período de prueba, cumpliendo a satisfacción con los requisitos operativos de la cuchara

PETRÓLEO PESADO

Con objeto de realizar la segunda prueba en un equipo que utiliza petróleo pesado como combustible, se seleccionó el Horno de Palanquillas del establecimiento de Rengo para este propósito.

Este Laminador se orienta a la producción de barras para hormigón. Completan su línea de producción las barras lisas para la fabricación de bolas de molienda y las barras helicoidales de 22 mm usadas como estabilizadores de roca en la minería. El proceso de transformación física se inicia con el calentamiento de la palanquilla a 1.250 °C y su posterior laminación a través de reducciones sucesivas, hasta obtener el producto final

El horno de calentamiento de las palanquillas (Fig. 4) cuenta con tres zonas de calentamiento: superior, inferior y empape, a través de las cuales se desplazan las palanquillas mediante un sistema de simple empuje. Con una capacidad de procesamiento de 35 t/hr y una temperatura de operación cercana a 1.300 °C, el horno utiliza como sistema de calentamiento el quemado directo de petróleo pesado (N° 6) atomizado con vapor. De los 11 quemadores de petróleo que posee el horno, hay 7

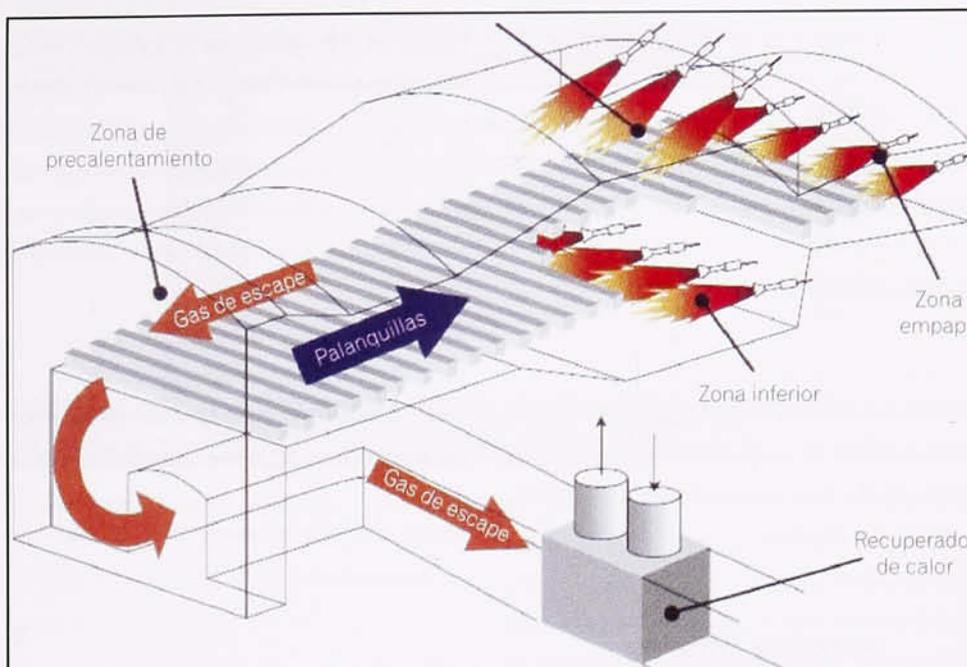


Fig. 4: Horno Laminador

unidades de mayor capacidad en la zona de calentamiento, distribuidos 3 en la superior y 4 en la inferior. Completan el cuadro cuatro quemadores de menor capacidad instalados en la zona de empape

Las pruebas se iniciaron el 5 de junio de 2005, con la instalación de 5 catalizadores Vostecs, de acuerdo a la siguiente distribución:

- **Zona Superior** 3 catalizadores de 100 galones/hr (uno por quemador).
- **Zona Inferior** 1 catalizador de 600 galones/hr, en línea común para 4 quemadores (Fig. 5)
- **Zona Empape** 1 catalizador de 100 galones/hr, en línea común para 4 quemadores

La prueba fue además estructurada como una experiencia formal, de acuerdo al procedimiento establecido

en el Sistema de Gestión de Calidad según Norma ISO 9001:2000 en que Huachipato se encuentra certificado.

En una primera fase, previo al inicio de las pruebas, se efectuaron las calibraciones y verificaciones de los instrumentos de control y medición existentes en el horno, incluyendo el transmisor de flujo de petróleo y la adecuación de la estrategia de control para permitir el funcionamiento en modo totalmente automático.

El período experimental restante se dividió en tres etapas, destinadas a evaluar el desempeño del calentamiento en las distintas condiciones de operación, con y sin catalizador.

A lo largo de cada etapa se registraron los parámetros y condiciones relevantes de la operación, con especial foco en el consumo específico de combustible y la productividad, al tiempo que se efectuaron observaciones sobre las condiciones de operación y marcha general del horno.

El análisis comparativo entrega resultados categóricos que demuestran el efecto de la tecnología:

- Mejoramiento de la eficiencia energética, con un porcentaje promedio de ahorro de combustible del 12,9% para la comparación global entre períodos. Al efectuar la comparación con consumos ajustados a un ritmo de referencia de 43 palanquillas/ hora, el ahorro alcanza al 11%. (Fig. 6)

- El uso de catalizador permitió sostener un mayor ritmo de laminación equivalente a un incremento del 5,3% en la productividad, efecto muy apreciado por tratarse de una instalación cuello de botella.

- En el período de operación del horno con catalizador, las observaciones permitieron ver de manera nítida todos los elementos al interior de la bóveda; contrastando con la condición de atmósfera brumosa que impidió apreciar detalles del interior del horno en la condición de operación sin catalizador. Este fenómeno fue corroborado por la notoria disminución de las emisiones visibles en la chimenea del horno

- Como beneficio adicional no cuantificado, se verificó una menor generación de laminilla en el interior del horno, lo que debiera permitir mejorar el rendimiento metálico.

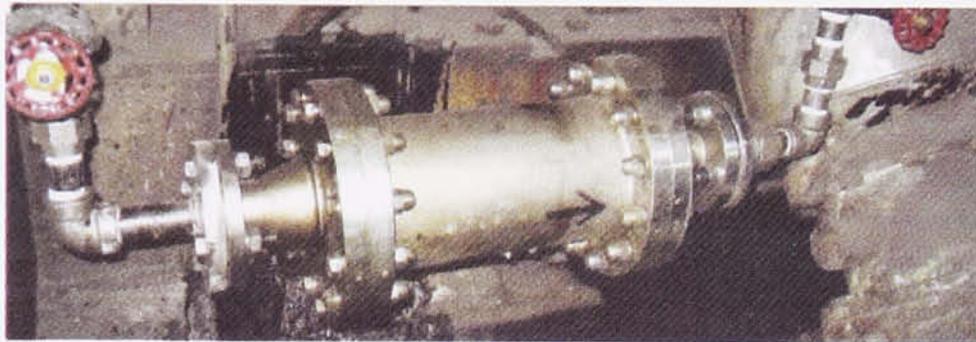


Fig. 5: Zona calentamiento inferior, 1 catalizador de 600 gal/hora.

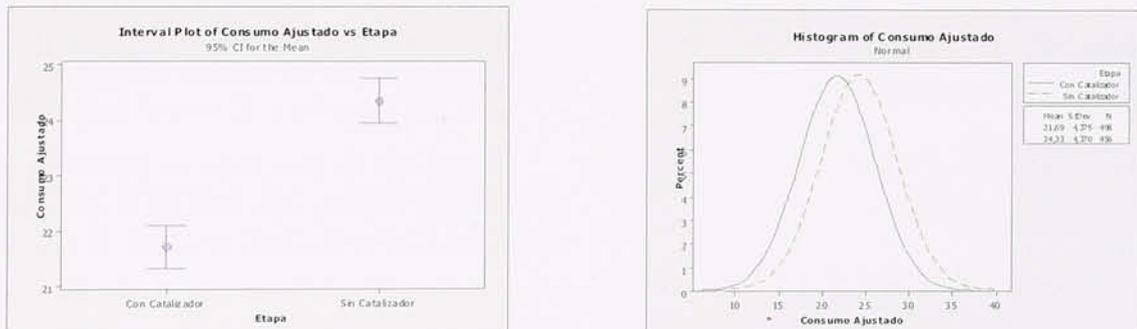


Fig. 6: Comparación de consumos con y sin catalizador.

ACCIONES TOMADAS

Sobre la base de los excelentes resultados obtenidos en las pruebas efectuadas con catalizadores magnéticos de combustión Vostecs y teniendo presente la alta rentabilidad y corto período de pago de la inversión requerida, se procedió a efectuar un levantamiento de todo el potencial de aplicación de estos dispositivos en las distintas unidades de la Planta Huachipato. Se especificaron los catalizadores de acuerdo al tipo de combustible y flujos y se emitieron las órdenes de compra correspondientes, otorgando máxima prioridad a su instalación al momento de la recepción.

Entre las unidades definidas para la instalación de catalizadores, destacan:

- Horno de vigas galopantes para el calentamiento de Planchones.
- Horno de calentamiento de Palanquillas de la Planta Talcahuano (**Fig. 7**)
- Hornos de solera rotativa para calcinación de caliza.
- Calentadores de Cuchara restantes.

- Hornos de Recocido Discontinuo para rollos laminados enfrió.

Doce catalizadores Vostecs de 2 MM Kcal c/u instalados en la zona de empape del horno de palanquillas en Huachipato

EFFECTO DE CATALIZADORES MAGNÉTICOS

Los resultados obtenidos en las pruebas industriales realizadas con los Catalizadores magnéticos de combustión demuestran el alto potencial de ahorro de combustible disminución de costos de operación y aumento de productividad que proporciona esta innovadora tecnología y hace recomendable extender su uso al máximo de las unidades de calentamiento existentes en la planta siderúrgica donde sea factible su instalación. La alta rentabilidad y corto período de pago de la inversión requerida, otorga máxima prioridad a la asignación de recursos para esta iniciativa

De manera especial destaca el beneficio adicional que representa la notoria disminución de emisiones visibles a través de la chimenea lograda en el curso de las pruebas. Esta contribución ambiental derivada del uso de los catalizadores Vostecs debe ser valorada como real ■



Doce catalizadores Vostecs de 2 MM Kcal c/u instalados en la zona de empape del horno de palanquillas en Huachipato

Respuestas claras, soluciones limpias para la minería y la industria

Una nueva apuesta en Ingeniería Ambiental



Pascual Veiga
Gerente General
Ingeniería Ambiental y
Servicios S.A.

“Aire limpio para una calidad de vida mejor”. Esa es la visión y propósito de la nueva administración de Ingeniería Ambiental y Servicios S.A., una remozada empresa del holding INSER que hoy busca no sólo inyectar más recursos y ampliar el área de negocios que ya tiene sino también, explorar en nuevos negocios pero siempre ligado al área de la minería.

Desde marzo de este año, Ingeniería Ambiental y Servicios tiene entre sus filas a Pascual Veiga como su gerente general. Este ingeniero naval mecánico de vasta y extensa trayectoria en la industria minera, aun ligado a MinePro Chile como consultor, está decidido a cambiar la cara del nuevo negocio que dirige.

Cuando el directorio de INSER lo llamó para hacerse cargo de este nuevo negocio en el que el grupo tiene un 85% de la propiedad, se propuso no descansar y disponer todas energías para modernizar esta firma, aumentar los

actuales proyectos y diversificar las áreas de trabajo e inversión.

“Por la relevancia que tiene la ingeniería ambiental, creo que se puede desarrollar una actividad interesante y productiva”, reconoció Veiga.

De acuerdo a la visión general de Ingeniería Ambiental y Servicios S.A., su ejecución contempla la entrega al mercado de respuestas claras y soluciones limpias, haciendo de esta frase el fin último de la labor que realizan todos los profesionales que se desempeñan en ella.

“Somos capaces de producir soluciones integrales de ingenierías. Desde el diseño, construcción, montaje y administración de cualquier tipo de proyectos que se relacionen con el control de emisión de gases y material particulado”, resume Veiga.



Codelco Chile - División El Salvador; Potrerillos, III Región de Chile.

Para realizarlo, cuentan con la licencia de grandes y reconocidas empresas norteamericanas en el rubro como Wheelabrator Air Pollution Control y Goyen Valve Corporation.

NO SÓLO GASES Y MATERIAL PARTICULADO

Parte de la nueva impronta de Ingeniería Ambiental y Servicios S.A. incluye, además de reforzar las actividades y proyectos que ya tienen en el área de aire limpio y control de gases y material particulado, ampliar su giro hacia nuevos productos y servicios.

Según explicó su gerente general, también ingresarán al manejo de residuos industriales líquidos y al de manejo y planes de cierres de los pasivos mineros.

Respecto de este último punto, Veiga indicó que ya iniciaron las gestiones para desarrollar una unidad encargada de crear planes de cierres de mina y administración de los mismos.

“El concepto, la idea, las ganas y el empeño de hacerlo está”, dijo Veiga. Como plazo último para la implementación de esta área Ingeniería Ambiental y Servicios S.A. estableció el segundo semestre de este año.

Trabajo adelantado ya llevan. Han sostenido reuniones con los encargados de esta materia en el país a nivel de gobierno y ya tienen identificados a tres profesio-

mayo de 2006

nales con experiencia en el cierre de pasivos ambientales no sólo en Chile sino también en el extranjero.

La idea es hacer crecer la empresa, indicó su gerente general. El año pasado se adjudicaron proyectos por un total de 7 millones de dólares y para el presente esperan aumentar considerablemente esa cifra.

GRANDES PROYECTOS

Los equipos y las soluciones que presta Ingeniería Ambiental y Servicios S.A. están presentes en las compañías mineras y la industria en general.

Los equipos Wheelabrator, se han instalado en todas las plantas de Codelco, en mineras como La Escondida, Zaldívar y Cerro Blanco Polpaico.

Incluso se han elaborado soluciones para industrias y mineras argentinas y peruanas y la idea es continuar extendiéndose hacia otros países del Conosur.

Es así como se han instalado hornos de fusión de Calcina para la Empresa Nacional de Minería en la planta de Ventanas; procesos de secado y transporte de Concentrado de Cobre para la división El Teniente de Codelco, hornos de calcinación para Cementos Avellaneda de Argentina y secado rotatorio Calcinación de cal para Southern Perú Copper Corporation. (www.ingenieriaambiental.cl) ■

LAS EMPRESAS INSER

El holdig de empresas INSER está conformado por cuatro compañías de gran trayectoria, sobre todo en el ámbito de la minería.

Con capitales cien por ciento nacionales, dentro del grupo se encuentra INSER S.A, la parte operativa del grupo y la empresa de servicios mineros más grande de la Segunda Región; Inproyect S.A. con soluciones inmobiliarias industriales para la minería y establecimientos educacionales; Ingeniera Ambiental y Servicios S:A.; y Rahnmet Sudamérica.

CD
M
U
L
T
I
M
E
D
I
A

CURSO DE EXTRACCIÓN POR SOLVENTE Y ELECTRO OBTENCIÓN

CURSO SX - EW.

Visite Nuestro Nuevo y Mejorado Sitio Web.

www.geocities.com/aaguayog



Incluye un Capítulo de
Biolixiviación

VALOR \$ 55.000 + IVA

DERECHOS RESERVADOS - 2ª EDICIÓN, Noviembre 2005

Autor: Ing. Anselmo Aguayo Guzmán

OnLine revista
MINERÍA
GLOBAL

www.revistaminerialoglobal.cl

CIENCIA,

TECNOLOGÍA

Y SUSTENTABILIDAD

DE LA MINERÍA CHILENA



www.revistaminerialoglobal.cl



Miembro del grupo Anglo American plc
22524

Empresa Minera de Mantos Blancos S.A.
División Mantos Blancos
Casilla 570 Antofagasta - Chile
Tel (56 55) 693600 Fax (56 55)



ELÉCTRICA GUACOLDA



Entregando
energía
para el
desarrollo
del Norte Chico





MINERA ESCONDIDA
Operada por BHP Billiton



Lo que era sólo una posibilidad se levantó sobre la nada como un sueño más real que la realidad. Un oasis de posibilidad para los que buscan. Los comienzos de una historia en medio del infinito, donde cada trabajador comienza el día con un sentido de propósito y lo termina con un sentido de logro.

**El norte de
nuestra
exploración,
hacer las
cosas bien**



Minera Escondida Antofagasta
Av. de la Minería 501 (Casilla 690)
Antofagasta, Chile
Teléfono +(56-55) 247 935 / 203 000
Fax +(56-55) 247 948

Minera Escondida Santiago
Av. Américo Vespucio Sur 100
Piso 9, Las Condes, Santiago, Chile
Teléfono +(56-2) 330 5000
Fax +(56-2) 207 6509

Puerto Coloso
Camino Coloso s/n
Antofagasta, Chile
Teléfono +(56-55) 201 725
Fax +(56-55) 201 730

www.escondida.cl
Desierto de Atacama, Chile
Latitud: 24° 15' 30" Sur
Longitud: 69° 4' 15" Oeste
Altura: 3.050 m.s.n.m.