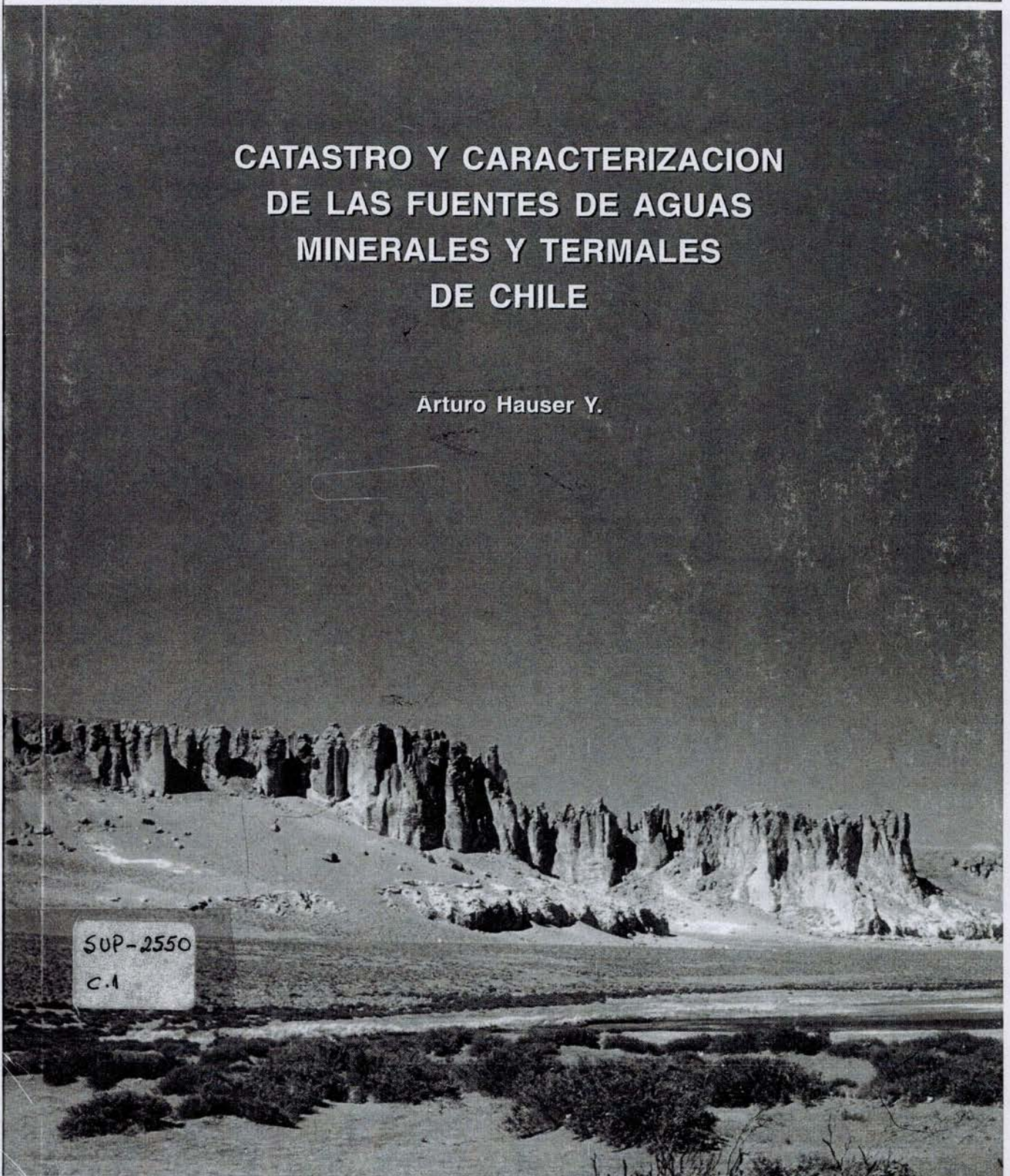


**CATASTRO Y CARACTERIZACION  
DE LAS FUENTES DE AGUAS  
MINERALES Y TERMALES  
DE CHILE**

Arturo Hauser Y.



SUP-2550

C.1



## SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGIA Y MINERIA

### Boletines

- No. 1 El agua subterránea de Santiago, Informe preliminar. R.J. Dingman y L. Barraza. 1958. 43 p.
- \* No. 2 Geología de la Cordillera de la Costa entre el valle de la Ligua y la cuesta de Barriga. H. Thomas. 1958. 86 p., 1 mapa geológico, escala 1:150.000.
- \* No. 3 El Titoniano de Río Leñas, Provincia de O'Higgins, con una revisión del Titoniano y Neocomiano de la parte chilena del Geosinclinal Andino. J. Corvalán. 1959. 65 p. 7 Láms.
- No. 4 Investigaciones gravimétricas en la región de Chillán. C. Lomnitz. 1959. 13 p.
- \* No. 5 El agua subterránea en el norte de la Pampa del Tamarugal. O. Castillo. 1960. Incluye: Procedimiento gráfico para la interpretación geoquímica de los análisis de agua por A.M. Piper, traducción de O. Castillo. 89 p.
- \* No. 6 Observaciones geológicas en la Cordillera de la Costa de Tarapacá. G. Cecioni y F. García. 1960. 28 p.
- \* No. 7 Edades plomo-alfa y marco estratigráfico de granitos chilenos, con una discusión acerca de su relación con la orogénesis. C. Ruiz, K. Segerstrom, L. Aguirre, J. Corvalán, H.J. Rose, Jr. y T.W. Stern. 1960. 26 p.
- \* No. 8 Geología de la Cordillera de los Andes de Chile Central, Provincias de Santiago, O'Higgins, Colchagua y Curicó. C. Klohn. 1960. 95 p., 1 mapa geológico, escala 1:150.000.
- \* No. 9 Geología de los Andes de Chile Central, Provincia de Aconcagua. L. Aguirre. 1960. 70 p., 1 mapa geológico, escala 1:100.000.
- \* No. 10 Yacimientos de cobre tipo manto, su distribución en fajas mineralizadas. Provincia de Aconcagua. W.D. Carter. 1961. 30 p.
- No. 11 Contribución de la Corporación de Fomento al desarrollo del agua subterránea en Chile. J. Donoso y R.J. Dingman. 1962. 21 p.
- No. 12 Edades radiométricas y petrografía de granitos chilenos. Muestras Chile 13 a Chile 36. B. Levi, S. Mehech y F. Munizaga. 1963. 42 p.
- No. 13 Investigaciones de geología aplicada a la ingeniería, Provincia de Concepción. C. Galli y R.W. Lemke. 1963. 79 p.
- \* No. 14 Geología de los distritos mineros Checo de Cobre, Pampa Larga y Cabeza de Vaca, Provincia de Atacama. R.L. Parker, R. Salas y G. Pérez. 1963. 46 p.
- \* No. 15 El agua subterránea de Santiago, Segundo Informe 1958-1962. O. Castillo, E. Falcón, W.W. Doyel y M. Valenzuela. 1963. Incluye: calidad química del agua subterránea en Santiago de H. Cusicanqui. 65 p.
- \* No. 16 El suelo de fundación de Valparaíso y Viña del Mar, Provincia de Valparaíso. K. Grimme y L. Alvarez. 1964. Incluye: Geología del área Valparaíso-Viña del Mar de L. Alvarez. 58 p., 1 mapa geológico 1:50.000.
- \* No. 17 Geología de la Cordillera de los Andes de las Provincias de Cautín, Valdivia, Osorno y Llanquihue. L. Aguirre y B. Levi. 1964. 37 p., 1 mapa geológico, escala 1:500.000.
- No. 18 Exploración de minerales radiactivos en Chile. Primera Parte: Provincias de Tarapacá y Antofagasta. P.H. Knowles, W.A. Bowes, M. Serrano, E. Klohn, R. Gruenwald y A. Moraga. 1964. 78 p.
- \* No. 19 Reconocimiento geológico en las Provincias de Llanquihue y Chiloé. B. Levi, A. Aguilar y R. Fuenzalida. 1966. 45 p., 1 mapa geológico, escala 1:500.000.
- No. 20 Efectos del sismo de Marzo de 1965, Provincias de Aconcagua y Valparaíso. N. Aliste, A. Moraga y L. Alvarez, 1966. 72 p.
- \* No. 21 Geología y recursos minerales del Departamento de Arica. R. Salas, R.F. Kast, F. Montecinos e I. Salas. 1966. 144 p., 1 mapa geológico, escala 1:300.000.
- \* No. 23 Geología de la Hoja Ovalle, Provincia de Coquimbo. H. Thomas. 1967. 58 p., 1 mapa geológico, escala 1:250.000.
- \* No. 24 Geología de las Hojas Copiapó y Ojos del Salado, Provincia de Atacama. K. Segerstrom. 1968. 58 p., 1 mapa geológico, escala 1:250.000.



SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGIA Y MINERIA - CHILE

BOLETIN No. 50

1997

CATASTRO Y CARACTERIZACION DE LAS FUENTES  
DE AGUAS MINERALES Y TERMALES DE CHILE

Arturo Hauser Y.\*

\* Servicio Nacional de Geología y Minería, Avda. Santa María 0104, Santiago.

Manuscrito recibido: Junio 15, 1997  
Manuscrito aceptado: Septiembre 27, 1997

CATASTRO Y CARACTERIZACIÓN DE LAS FUENTES DE AGUAS MINERALES Y TERMALES DE CHILE

---

**CATASTRO Y CARACTERIZACIÓN DE LAS FUENTES DE AGUAS MINERALES Y TERMALES DE CHILE.**

**BOLETIN No. 50, 1997.**

Inscripción No. 102653  
ISSN 0020-3939

© Servicio Nacional de Geología y Minería. Avda. Santa María 0104, Casilla 10465, Santiago, Chile  
Director Nacional: Ricardo Troncoso S.M.  
Subdirector Nacional de Geología: Constantino Mpodozis M.

Editores: Gerardo Díaz del Río, Constantino Mpodozis M., Juan Rojas E., Renate Wall Z.

Coordinadora de Publicaciones: Renate Wall Z.  
Encargada Unidad de Publicaciones: Paulina Hofer P.  
Diagramación: Carmen Sáenz Ct.  
Dibujo: Cecilia Morales U., Francisco Morales C., Luis Southerland L.  
Tiraje: 1.000 ejemplares

**Referencia bibliográfica:**

Hauser, A. 1997. Catastro y caracterización de las fuentes de aguas minerales y termales de Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería. Boletín, No. 50, 89 p. Santiago, Chile.

*Portada:* Sector de la vertiente termal Ojos de Tara, Región II.

Fotografía: Arturo Hauser Y.

## CONTENIDO

RESUMEN .....	5
ABSTRACT .....	6
INTRODUCCION .....	6
OBJETIVOS Y ALCANCES DEL TRABAJO .....	7
CONSIDERACIONES CONCEPTUALES .....	8
AGUAS TERMALES .....	8
AGUAS MINERALES .....	9
ANTECEDENTES BASICOS PARA EL CATASTRO .....	9
DATOS DE RESPALDO .....	9
CATASTRO .....	10
FACTORES QUE CONTROLAN LA OCURRENCIA DE FUENTES TERMALES .....	13
AMBIENTES TERMALES CHILENOS .....	19
AMBIENTE ANDINO VOLCANICO .....	21
AMBIENTE VOLCANICO ALTIPLANICO (AVA) .....	21
AMBIENTE VOLCANICO SUR (AVS) .....	21
AMBIENTE ANDINO TECTONICO .....	21
AMBIENTE FALLA POCURO (AFP) .....	23
AMBIENTE FALLA LIQUIÑE-OFQUI (AFLO) .....	23
AMBIENTE LITORAL O COSTERO (AL) .....	23
AMBIENTE CORDILLERA DE LA COSTA CENTRAL (AC) .....	24
PROPIEDADES FISICOQUIMICAS DE LAS AGUAS MINERALES Y TERMALES DE CHILE .....	24
CONSIDERACIONES GENERALES .....	24
CARACTERIZACION FISICOQUIMICA DE LAS AGUAS TERMALES Y MINERALES CHILENAS .....	25
pH .....	26
TOTAL DE SOLIDOS DISUELTOS .....	26
CATIONES .....	26
Sodio y potasio .....	26
Calcio y magnesio .....	27
Fierro y manganeso .....	27
Sílice .....	30
Boro .....	30
Flúor .....	30
Litio .....	30
Arsénico y cobre .....	32
ANIONES .....	32

## CONTENIDO

2	Cloruros .....	32
8	Sulfatos .....	32
8	Carbonatos y bicarbonatos .....	33
7	Nitratos .....	33
8	CONTENIDO DE GASES .....	33
	CLASIFICACION DE LAS AGUAS MINERALES Y TERMALES CHILENAS .....	34
9	CLASIFICACION POR TEMPERATURA .....	34
0	CLASIFICACION QUIMICA .....	35
0	AGUAS TERMALES .....	42
01	AGUAS MINERALES .....	42
	MODALIDADES DE EXPLOTACION DE LAS FUENTES Y CONSIDERACIONES DE	
	PROTECCION Y GESTION DEL RECURSO .....	44
	APROVECHAMIENTO DE LAS AGUAS TERMALES Y MINERALES EN CHILE .....	46
13	CONSIDERACIONES GENERALES .....	46
13	AGUAS TERMALES .....	47
13	SITUACION MUNDIAL .....	47
13	SITUACION CHILENA .....	47
13	AGUAS MINERALES .....	48
13	SITUACION MUNDIAL .....	48
13	SITUACION CHILENA .....	51
	CONCLUSIONES .....	53
	RECOMENDACIONES .....	54
	AGRADECIMIENTOS .....	56
	REFERENCIAS .....	56
	IN MEMORIAM .....	63
	ANEXOS .....	65
	ANEXO I. TABLA 1. CATASTRO DE FUENTES DE AGUAS TERMALES Y MINERALES	
13	EN CHILE .....	67
13	TABLA 2. HIDROQUIMICA DE FUENTES TERMALES Y MINERALES .....	79
13	ANEXO II. PROCEDIMIENTOS DE MUESTREO Y METODOS ANALITICOS .....	85
05	PROCEDIMIENTOS DE MUESTREO .....	85
05	METODOS ANALITICOS .....	85
05	ANEXO III. NORMAS DE CALIDAD DE LAS AGUAS MINERALES .....	85
05	AGUAS MINERALES PARA CONSUMO HUMANO .....	86
05	ASPECTOS JURIDICOS QUE RIGEN EL DOMINIO DE LAS AGUAS MINERALES Y	
05	TERMALES EN CHILE .....	89



# Catastro y caracterización de las fuentes de aguas minerales y termales de Chile

A. Hauser Y.

## RESUMEN

En Chile, tal cual ocurre en numerosos países ubicados en torno al Círculo de Fuego del Pacífico, una serie de factores geológicos, geográficos y climáticos determina la existencia de abundantes fuentes de aguas minerales y termales. La presencia de numerosos centros volcánicos activos, unido a la existencia de fallas regionales, tales como las fallas Pocuro (en la zona preandina de Chile central) y Liquiñe-Ofqui (en la zona andina del sur), resultan decisivas para focalizar su distribución y controlar las características fisicoquímicas de las aguas. Un estudio a nivel del país permitió catastrar 304 fuentes. De éstas, 244 corresponden a aguas termales, 46 a aguas minerales y 14 a aguas mixtas. Las fuentes termales se distribuyen desde el borde litoral hasta las zonas más elevadas de los Andes. Muestran un incremento de las temperaturas y niveles de mineralización, hacia el este, a medida que se aproximan a los centros volcánicos activos de la cordillera andina, donde prevalecen elevadas gradientes geotérmicas, vinculadas a la presencia de cámaras magmáticas someras. Las temperaturas más altas, en el rango de 85 a 100°C, se registran en fuentes situadas en la zona altiplánica de las Regiones I y II: Polloquere o Surire, Pampa Lirima, Puchuldiza y El Tatio; zonas con predominio de rocas volcánicas ácidas, y en las cuales se han realizado exploraciones para el desarrollo de aprovechamientos geotérmicos. En la zona sur, las mayores temperaturas se registraron en surgencias asociadas al volcán Nevados de Chillán y Cordón Volcánico Caulle-Puyehue. Sin embargo, el mayor número de fuentes termales, 30% del total, se ubica en el segmento andino comprendido entre los 38° y 42°S, donde los procesos volcánicos cuaternarios interactúan con la Zona de Falla Liquiñe-Ofqui, para generar elevados flujos calóricos. A nivel del país, predominan las aguas termales cloruradas y/o sulfatadas sódicas; le siguen en orden de abundancia aguas sulfatadas y/o cloruradas-cálcico magnésicas y aguas bicarbonatadas-cálcicas-magnésicas. Entre las aguas termales, destacan las elevadas concentraciones de Na y K con 15.000 y 1.780 mg/l, y 2.240 mg/l de Ca en las Termas de San Pedro de Teno; las 200 mg/l de B en los Baños de Polloquere o Surire; 163 mg/l de Fe en Baños Las Sopas 1; 30.300 mg/l de cloruros y 2.300 mg/l de sulfatos en Baños de Salinillas; 1.412 mg/l de bicarbonato en Baños Morales. Entre las aguas minerales, destacan las altas concentraciones de Fe y bicarbonato registradas en la fuente Manantial Yelcho. Un importante número de aguas minerales chilenas, presenta afinidades con afamadas aguas minerales europeas. En la actualidad, 56 fuentes termales son objeto de algún tipo de aprovechamiento para destino balneológico, incluyendo desde rudimentarios tazones, excavados en torno a los puntos de surgencia, hasta eficientes captaciones, acompañados de la necesaria infraestructura hotelera de diverso nivel. El agua de 11 fuentes minerales se envasa para bebida con una producción anual en el rango de los 80 y 85 millones de litros y un consumo medio de 7,0 litro/habitante/año, muy por debajo del promedio europeo de 50 litro/habitante/año. La identificación de numerosos sitios, donde se han registrado interesantes anomalías geotérmicas, sugiere la conveniencia de desarrollar estudios de detalle, orientados a sustentar eventuales aprovechamientos económicos a partir de fuentes calóricas de baja entalpía, para diverso destino: calefacción, generación de frío, secado de productos frutícolas, etc.

*Palabras claves:* Aguas minerales, Aguas termales, Hidroquímica, Ambientes termales, Balneología, Gradiente geotérmica, Chile.

## ABSTRACT

**Inventory and characteristics of Chilean mineral and hot water springs.** A large number of mineral waters and hot water springs occurs throughout Chile, as in most countries located in the Pacific Rim. The location of these springs is determined by a combination of geographic, climatic, morphologic, geologic, and tectonic factors. Numerous active volcanic centers, associated with regional faults, like the Pocomo Fault in the Andean foothill of Central Chile and the Liquiñe-Ofqui Fault in Southern Chile, strongly control the distribution and physicochemical properties of the springs. 304 springs have been inventoried throughout the country, 244 of which correspond to thermal, 46 to mineral, and 14 to mixed waters. Thermal waters are found throughout the whole territory, from the coast up to the highest peaks of the Andean Cordillera. Temperature and mineralization levels increase easterly, as the springs approach active volcanic centers, where high geothermal gradients prevail, due to the occurrence of shallow magmatic chambers. The highest temperatures, between 85° and 100°C, were recorded in springs located in the Altiplano (Regions I and II: Polloquere or Surire, Pampa Lirima, Puchuldiza, and El Tatio) in areas with predominantly silicic volcanic rocks, where geothermal exploration has been carried out. In southern Chile, the highest temperatures have been recorded in springs associated with the Nevados de Chillán volcano and the Cordón Caulle-Puyehue Volcanic Complex. The largest number of thermal springs, up to 30% of the registered total, occurs between 38° and 42°S where active volcanic processes interact with the major Liquiñe-Ofqui Fault Zone, generating zones of high heat flow. Nationwide, chlorurated and/or sulphated waters predominate, followed by sulphated, and/or chlorurated-calcic-magnesian and bicarbonated-calcic-magnesian waters. Among the thermal waters, particularly high concentrations of Na (15,000 mg/l), K (1,780 mg/l) and Ca (2,240 mg/l) occur in Termas de San Pedro de Teno, B (200 mg/l) in Baños de Polloquere or Surire, Fe (163 mg/l) in Baños Las Sopas 1, chlorides (30,300 mg/l) and sulphates in Baños de Salinillas (30,000 mg/l) and bicarbonate (1,412 mg/l) in Baños Morales. High concentrations of Fe and bicarbonate have been recorded in the mineral waters of Manantial Yelcho. An important number of Chilean mineral waters shows marked chemical affinities with well known European waters. Currently, 56 hot springs are being used for bathing purposes, with facilities ranging from primitive pits dug around the springs, to major hotel facilities. The water of 11 mineral springs is bottled, with a total annual production of 80-85 million liters, while the average consumption reach 7 liter/inhabitant/year, markedly below the European average of 50 liter/inhabitant/year. The identification of various sites, with important geothermal anomalies, suggests the need of further detailed studies, aiming at future economic utilization of low enthalpy springs for various purposes such as heating, cool generation, fruit drying, and the like.

*Key words: Mineral waters, Thermal waters, Hydrochemistry, Thermal environments, Balneology, Geothermal gradient, Chile.*

## INTRODUCCION

El agua desempeña determinantes funciones en las actividades vitales del organismo humano. El cuerpo humano necesita entre 5 a 8 vasos de agua diarios para poder realizar las funciones de transportar nutrientes, ayudar a la digestión, reconstituir tejidos, eliminar toxinas y regular la temperatura (Pérez-Díaz, 1992). La eficacia terapéutica de numerosas aguas termales, tanto en el extranjero como en Chile, ha quedado debidamente acreditada en el ambiente de la medicina. Basta consignar que la simple inmersión del cuerpo humano en agua, supone la liberación de un 94% del peso de una persona y que la temperatura actuante es capaz de modificar, favorablemente, el calibre de los vasos y la irrigación sanguínea, provocando una importante gama de acciones beneficiosas para el sistema motor, actividad muscular, dolor, contracturas, etc. (Armijo, 1992).

Un severo deterioro de la calidad del agua para beber ocurre en numerosas megalópolis latinoamericanas, africanas y asiáticas, debido a la falta de cuidadosas políticas de desarrollo

urbano. Situaciones extremas han conducido, incluso, al recrudecimiento de enfermedades tales como el cólera, debido a la ingestión de aguas con elevados niveles de contaminación orgánica. Debido a ello, en años recientes se ha producido un fuerte incremento en el consumo de agua mineral envasada. La ingestión de aguas minerales, produce además favorables consecuencias terapéuticas, relacionadas, muy principalmente, con sus acciones catárticas (purgante); diuréticas (incremento en orina) y diaforéticas (incremento en la transpiración corporal con eliminación de toxinas). Sus mayores bondades dicen relación con la eliminación de cálculos en los riñones y la prevención de su recurrencia, control de vómitos infantiles y el tratamiento de enfermedades, comprometiendo el tracto gastrointestinal, hígado y páncreas (George, 1994). En países tropicales con gran población, en los cuales las aguas potables poseen calidades que no satisfacen las normas internacionales, existe una elevada demanda de aguas minerales. En Indonesia, por ejemplo, se comercializan enormes volúmenes de aguas minerales, cuya producción se asocia a más de 100 marcas o plantas envasadoras situadas en la isla de Java. No debe ser desatendido el hecho que un alto porcentaje de la población flotante que practica el turismo en países con modestos niveles de desarrollo, al desconfiar de la calidad del agua potable local, recurren al uso de agua mineral envasada; llegando a que, incluso, un número creciente de turistas viaje al extranjero provisto de 'reservas' de agua mineral, para ser consumida durante la permanencia fuera de sus países de origen.

En un mundo donde la degradación ambiental severa es creciente, el hombre en búsqueda de ambientes atractivos para recreación, descanso y rehabilitación, está recurriendo cada vez con mayor interés a centros balneológicos termales. Un importante número de países (Italia, Francia, España, Rumania, Japón, Nueva Zelanda, EE. UU. y México) ha logrado un eficiente manejo de sus recursos termales a través de la creación de centros balneológicos, generando grandes flujos turísticos, traducidos en importantes beneficios económicos y sociales. En países de altos niveles de desarrollo, existe una importante concurrencia de la población pasiva (tercera edad y/o jubilados) hacia los centros balneológicos. La explicación de esta situación radica en: **a-** un creciente convencimiento de las bondades rehabilitadoras o terapéuticas de las aguas termales y subproductos asociados (vapores, barros); **b-** un incremento en los aportes y/o beneficios económicos por parte de instituciones previsionales, compañías de seguros de vida, bienestar o médicas, estatales o privadas, para que sus afiliados puedan concurrir a estos centros y **c-** un creciente interés por parte de la congestionada población urbana por acudir temporalmente hacia estos centros, por simple interés recreacional.

## OBJETIVOS Y ALCANCES DEL TRABAJO

Chile se ubica en la activa zona de convergencia entre las placas de Nazca, Sudamericana y Antártica. La subducción de la litósfera oceánica del Pacífico ha controlado la evolución geológica del territorio, desde el Paleozoico Superior hasta la actualidad, originando complejos procesos magmáticos y tectónicos. Estos son especialmente propicios para el desarrollo de ambientes termales, que se traducen en la presencia, en el país, de numerosas fuentes termales y/o minerales. El presente estudio proporciona una reseña actualizada de la distribución y características fisicoquímicas de las fuentes de aguas termales y minerales en Chile. Un importante número se ha explotado a través de establecimientos balneológicos y/o plantas envasadoras. En muchos casos, éstos han dado vida a pequeñas comunidades (Chusmisa, Mamiña, Socos, Jahuel, Colina, Copequén, Cauquenes, Panimávida, Quinamávida, Catillo, Puyehue, Puyuguapi, Quitralco),

alejadas de los centros poblados mayores. Sin embargo, la mayoría de las fuentes es objeto sólo de un precario aprovechamiento balneológico de temporada, mediante instalaciones rudimentarias, o simplemente carecen de uso. Ello se debe, en parte, al desconocimiento, a nivel masivo, de su exacta localización y del carácter fisicoquímico y propiedades terapéuticas de sus aguas, sin mencionar factores climáticos y la carencia de adecuadas vías de acceso. Este trabajo, constituye un esfuerzo por revertir esta situación, a través de un catastro de las fuentes minerales y/o termales chilenas, acompañado de antecedentes hidroquímicos y de consideraciones referidas a factores que determinan su origen, carácter fisicoquímico y potencial económico. Los antecedentes que se presentan podrán servir de base para sustentar futuros estudios de detalle orientados a establecer la factibilidad de iniciar nuevas explotaciones en algunas de las fuentes que aquí se describen.

## CONSIDERACIONES CONCEPTUALES

Siendo la temática referida a las fuentes minerales y/o termales, materia de controversias, dudas e interpretaciones diversas, resulta necesario proporcionar un marco conceptual de sustento al presente estudio, a través de una serie de definiciones básicas que serán utilizadas reiteradamente en el texto.

### AGUAS TERMALES

Existen diversos criterios para definir un agua como 'termal', unos referentes al clima y otros a su temperatura absoluta. En Europa, por ejemplo, sólo las fuentes en las que el agua alumbrada a temperaturas superiores a 20°C, se consideran como aguas termales. La Legislación Española de Minas, define como '...aguas termales aquellas que emergen con una temperatura 4°C superior a la temperatura media anual del aire en el lugar...' (Llamas, 1992), mientras que en Estados Unidos, la denominación de aguas termales sólo se utiliza para aquéllas cuya temperatura supera, al menos, en 15°F (2°C) la temperatura media anual del aire en el lugar (Waring, 1965).

De acuerdo a la temperatura absoluta a la que afloran las aguas, Ibérica de Especialidades Geotécnicas, S.A. (IBERGESA, 1984), considera las aguas termales como 'tibias', a partir de los 18°C y 'calientes' a partir de los 37°C, mientras que Castany (1974) y Pomerol y Ricour (1992), las categorizan en 5 tipos:

Fuentes frías	<20°C
Fuentes hipotermas	20-35°C
Fuentes mesotermas	35-50°C
Fuentes hipertermas	50-100°C
Géiseres	>100°C

Una clasificación a través de una comparación con la temperatura media del aire (IBERGESA, 1984) es la siguiente:

Aguas hipertermas o termales	$t > t_m + 4^\circ\text{C}$
Aguas ortotermas o normales	$t_m < t < t_m + 4^\circ\text{C}$
Aguas hipotermas o frías	$t < t_m$

- Siendo 't' la temperatura del agua y 't<sub>m</sub>' la temperatura media anual del aire en el lugar.

## AGUAS MINERALES

En el presente estudio, se han adoptado las definiciones básicas y el sistema de clasificación, puestos en vigencia por el Instituto Tecnológico GeoMinero de España (ITGE, 1984 y 1991). En este sistema, el nombre genérico de 'agua mineral' se utiliza para designar a aquellas aguas que presentan una mineralización o una temperatura característica que las hacen útiles para usos tales como terapia hidrotermal, recuperación de sales disueltas o aguas bebestibles envasadas. La legislación española, de acuerdo a su origen, carácter fisicoquímico, aplicaciones terapéuticas y tipo de aprovechamiento, establece, básicamente, tres tipos de aguas:

- Minero-medicinal
- Minero-industrial
- Bebestible envasada

Las aguas minero-medicinales deben ser aptas para tratamientos terapéuticos en el punto de alumbramiento, surgencia y/o emergencia; disponer de estudios clínicos sobre evaluación de procesos específicos y conservar, en el caso de ser envasadas, efectos útiles sobre los mismos. Las aguas minero-industriales son aquellas que permiten el aprovechamiento económico de las sustancias disueltas que contienen, incluyendo aquéllas extraídas o captadas del mar. Las aguas bebestibles envasadas deben poseer características naturales de pureza que permitan el consumo humano. Para todas las aguas citadas, su composición, temperatura y características fisicoquímicas, deben permanecer constantes dentro de los límites impuestos por las fluctuaciones naturales.

Finalmente, se debe señalar que numerosas publicaciones técnicas referidas a las aguas termales y minerales incorporan una serie de términos, conceptos y definiciones que es necesario explicar. Entre ellos, destaca el de 'Hidrología Médica' correspondiente a la ciencia que trata de los diversos factores comprometidos en el uso medicinal del agua en todas sus concentraciones. Por 'Hidroterapia', se entiende el uso específico del agua como agente terapéutico y el tratamiento de diversas enfermedades, mediante el uso de agua en estados variables entre hielo y vapor. 'Balneoterapia' se aplica a la ciencia de los baños, incluyendo sus efectos en el tratamiento de enfermedades. 'Loutroterapia' es el conocimiento y aplicación de baños carbonatados, mientras que por 'Crounoterapia' se entiende el tratamiento de enfermedades mediante la administración interna u oral de aguas minerales.

## ANTECEDENTES BASICOS PARA EL CATASTRO

### DATOS DE RESPALDO

El catastro de las fuentes de aguas termales y/o minerales chilenas, se materializó mediante una exhaustiva revisión referencial, tanto de trabajos publicados en diversas revistas nacionales e internacionales, como en múltiples estudios inéditos que corresponden a investigaciones destinadas a resolver problemas específicos o eventuales proyectos de aprovechamiento. La revisión de cartas topográficas a distinta escala, del Instituto Geográfico Militar (IGM), resultó decisiva para localizar muchas fuentes. Numerosos geólogos e ingenieros, conocedores de determinado segmento del territorio nacional, proporcionaron valiosas indicaciones respecto de la

exacta localización de un número importante de fuentes. Su colaboración, resultó determinante para materializar la toma de muestras de agua, en localidades de muy difícil acceso, particularmente en la zona altiplánica de las Regiones I y II y en el extremo sur del país (Regiones X y XI).

A pesar de que un número importante de las fuentes termales y minerales identificadas en el estudio, ya era conocido y objeto de explotación hacia fines del siglo pasado: Pica, Socos, Chacabuco, Colina, Apoquindo, Cauquenes, Panimávida, Chillán y Minetué (Miquel, 1851), se debe reconocer que las referencias bibliográficas chilenas acerca de fuentes de aguas termales y/o minerales no son pródigas. Dentro de los trabajos esenciales hay que mencionar las referencias de autores como Tornero (1872); Domeyko (1871a, 1871b); Darapsky (1890); Rivera (1947); Brügger (1947); De Grys (1965); Sánchez (1969); Ovalle (1984); Montero *et al.* (1981); Díaz (1983) y Hauser (1989). Analizados cronológicamente, destacan los estudios efectuados en el siglo pasado, señalando la importancia dada en aquella época a las aguas termales como fuente de salud, derivada de ancestrales concepciones propias de la superstición popular, heredada de tradiciones tan disímiles como las griegas, romanas, mayas, incas y mapuches.

La creciente actividad industrial y económica del país, a partir del advenimiento del presente siglo, ligado al desarrollo urbano, estuvo acompañada por la destrucción y desaparición de un importante número de fuentes, debido a la ocupación de terrenos para diverso destino en torno a conocidos puntos de surgencia. Esto ocurrió en numerosos puntos del litoral (Mejillones, Lilloe, Talcahuano, Isla de Quinchao), así como a lo largo del borde preandino de las Regiones I (Pica) y Metropolitana (Chacabuco, San Enrique, Apoquindo, Vital Apoquindo y Peñalolén). La acción antrópica en torno a las fuentes, incluyendo la construcción de caminos, calles, viviendas, industrias y servicios, resultaron determinantes para virtualmente sepultar algunas fuentes y provocar substanciales descensos de 'actividad', debido a modificaciones en las condiciones de escurrimiento, infiltración y/o conductividad hidráulica del terreno.

Una serie de manifestaciones termales ha sido localizada en torno al borde litoral (Seno de Reloncaví). Debido a que los puntos de alumbramiento se ubican próximos a la zona intermareal, su detección sólo es posible en situación de marea baja.

## CATASTRO

La ubicación de la totalidad de las fuentes catastradas en el estudio, se indican en la figura 1, mientras que un detalle de sus características relevantes aparece en la tabla 1 (Anexo I). En 9 columnas, se consigna la información más importante de cada una de ellas. En lo que compete a la denominación, se trató, en lo posible, de utilizar aquella de común aplicación por parte de lugareños, incluyendo términos tales como: 'baños', 'termas', 'vertiente', 'ojos', 'aguas de', 'aguada', 'manantial'. Estas denominaciones no poseen una connotación técnica rigurosa en cuanto al verdadero carácter de cada fuente (termal o mineral); ello sólo es posible a partir del análisis físicoquímico de muestras de agua (particularmente temperatura y contenido iónico). Las referencias y caracterización de numerosas fuentes se obtuvieron a partir del análisis de informes inéditos, disponibles en la Base de Datos y Biblioteca del Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN). En cuanto a la localización, se hizo un esfuerzo a fin de presentar los datos de coordenadas en el sistema UTM, extractados para cada caso de las cartas a escala 1:50.000 del IGM; de donde se obtuvo, además, las cotas en metros sobre el nivel del mar (m s.n.m.). La información referencial, para cada fuente, se proporciona con el objeto de orientar la obtención, en casos particulares, de datos adicionales (especialmente en lo que compete a temperatura e hidroquímica).

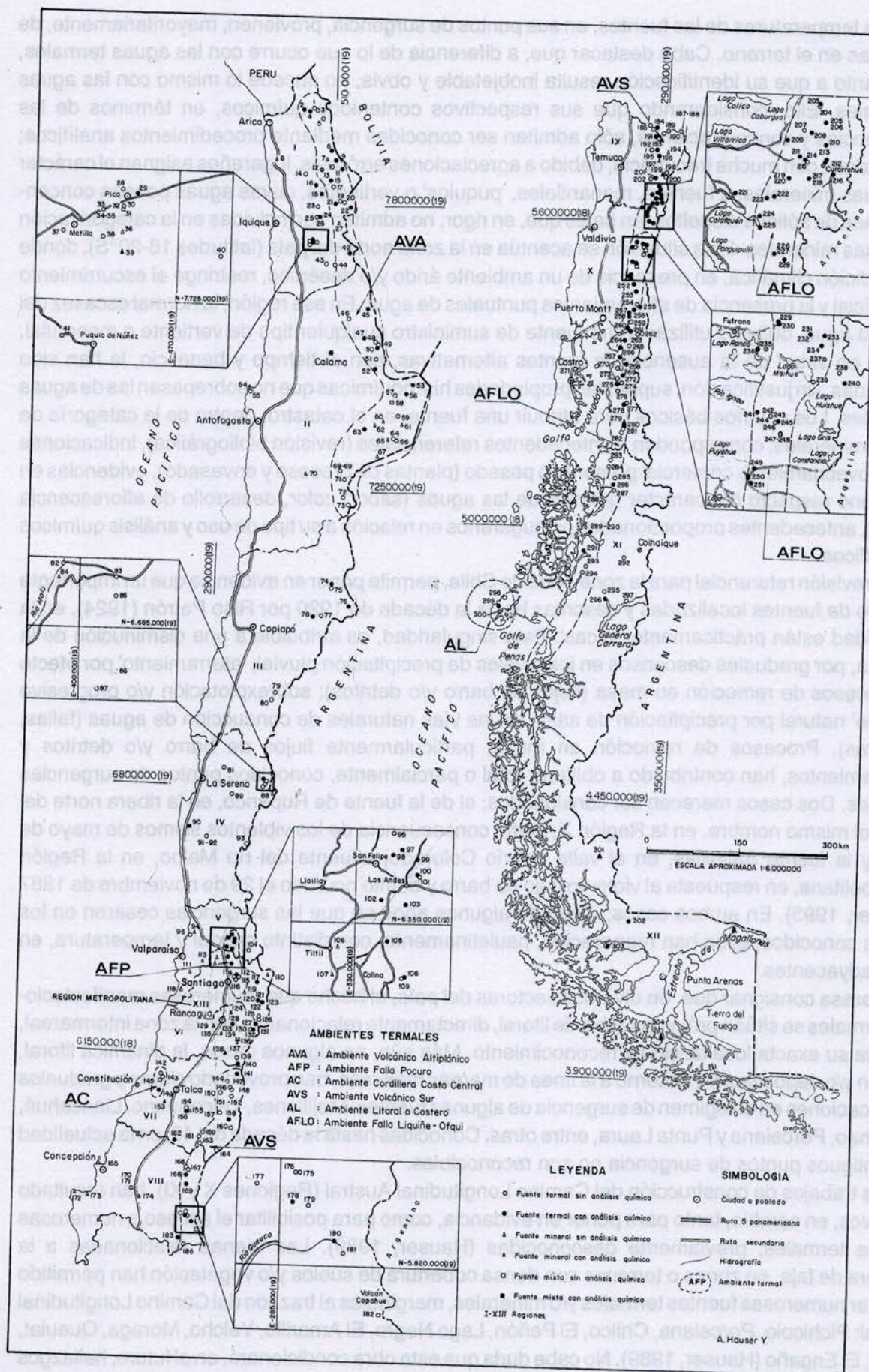


FIG. 1. Localización de ambientes termales y fuentes de aguas minerales y termales catastradas.

Las temperaturas de las fuentes, en sus puntos de surgencia, provienen, mayoritariamente, de medidas en el terreno. Cabe destacar que, a diferencia de lo que ocurre con las aguas termales, en cuanto a que su identificación resulta inobjetable y obvia, no sucede lo mismo con las aguas minerales. Ello, considerando que sus respectivos contenidos químicos, en términos de las sustancias y concentraciones, sólo admiten ser conocidas mediante procedimientos analíticos; por lo tanto, con mucha frecuencia, debido a apreciaciones erróneas, lugareños asignan el carácter de aguas minerales, a fuentes, manantiales, 'puquios' o vertientes, cuyas aguas poseen concentraciones de sólidos disueltos tan bajas que, en rigor, no admiten ser incluidas en la categorización de aguas minerales. Esta situación se acentúa en la zona norte del país (latitudes 18-20°S), donde la condición climática, en presencia de un ambiente árido y/o desértico, restringe el escurrimiento superficial y la presencia de afloramientos puntuales de agua. En esa región, la normal escasez del recurso agua, obliga a utilizar como fuente de suministro cualquier tipo de vertiente o manantial, al que en virtud de la ausencia de fuentes alternativas, con el tiempo y beneficio, le han sido asignadas, sin justificación, supuestas propiedades hidroquímicas que no sobrepasan las de aguas normales. Los criterios básicos para atribuir una fuente, en el catastro, dentro de la categoría de aguas minerales, corresponden a antecedentes referenciales (revisión bibliográfica), indicaciones de aprovechamiento comercial presente o pasado (plantas de proceso y envasado), evidencias en el terreno respecto del carácter químico de las aguas (sabor, color, desarrollo de eflorescencia salina), antecedentes proporcionados por lugareños en relación a su tipo de uso y análisis químicos específicos.

La revisión referencial para la zona norte de Chile, permite poner en evidencia que un importante número de fuentes localizadas y descritas hacia la década de 1920 por Riso Patrón (1924), en la actualidad están prácticamente 'secas'. Esta singularidad, es atribuible a una disminución de la recarga, por graduales descensos en los niveles de precipitación pluvial; 'aterramiento' por efecto de procesos de remoción en masa (flujos de barro y/o detritos); sobrexplotación y/o progresivo 'sellado' natural por precipitación de sales en las vías naturales de conducción de aguas (fallas, fracturas). Procesos de remoción en masa, particularmente flujos de barro y/o detritos y deslizamientos, han contribuido a obliterar total o parcialmente, conocidos puntos de surgencias termales. Dos casos merecen ser consignados: el de la fuente de Rupanco, en la ribera norte del lago del mismo nombre, en la Región X, como consecuencia de los violentos sismos de mayo de 1960 y la fuente Salinillas, en el valle del río Colorado, afluente del río Maipo, en la Región Metropolitana, en respuesta al violento flujo de barro y detrito ocurrido el 29 de noviembre de 1987 (Hauser, 1993). En ambos casos, luego de algunos años en que las surgencias cesaron en los puntos conocidos, ellas han reaparecido, paulatinamente, con distinto caudal y temperatura, en sitios adyacentes.

Interesa consignar que, en diversos sectores del país, el hecho que numerosas manifestaciones termales se sitúan próximas al borde litoral, directamente relacionadas con la zona intermareal, dificulta su exacta localización y reconocimiento. Más aún, en algunos casos, la dinámica litoral, erosión y/o depositación, en torno a la línea de mareas máximas, han provocado claras y graduales modificaciones en el régimen de surgencia de algunas fuentes: Mejillones, Talcahuano, Llancahué, Quinchao, Porcelana y Punta Laura, entre otras. Conocidas hasta la década del 40, en la actualidad sus antiguos puntos de surgencia no son reconocibles.

Los trabajos de construcción del Camino Longitudinal Austral (Regiones X y XI), han resultado decisivos, en cambio, tanto para poner en evidencia, como para posibilitar el acceso a numerosas fuentes termales, previamente desconocidas (Hauser, 1989). Las faenas relacionadas a la apertura de faja, en zonas o terrenos con densa cobertura de suelos y/o vegetación han permitido detectar numerosas fuentes termales y/o minerales, marginales al trazado del Camino Longitudinal Austral: Pichicolo, Porcelana, Chilco, El Peñón, Lago Negro, El Amarillo, Yelcho, Moraga, Queulat, Huiña, El Engaño (Hauser, 1989). No cabe duda que esta obra condicionará, en el futuro, hallazgos



de nuevas surgencias en terrenos inexplorados de las Regiones X y XI.

Interesa establecer que a nivel territorial, y por tanto fuera del alcance de la figura 1, en el Territorio Chileno Antártico, se ha detectado la presencia de actividad termal; en la isla Decepción, ella se centra en torno del cráter de un volcán submarino, que registró importante actividad eruptiva en la década del 70 (Simkin y Siebert, 1994, p. 161).

Manifestaciones de aguas minerales se han detectado en el sector de Vai mangeo ('agua amarga' en vocablo pascuense), inmediatamente al norte de Hanga Roa, capital comunal de la isla, enclavada en el Océano Pacífico, y distante 3.860 km al oeste del puerto de Valparaíso en la Región V (Charlin, 1947, p. 47).

Atendidas circunstancias como las mencionadas, las fuentes de aguas minerales consignadas en el presente catastro, en su mayoría, corresponden a surgencias de común conocimiento por parte de lugareños, quienes desde tiempos remotos las han hecho objeto de aprovechamiento, y cuya ubicación figura en cartas, mapas y guías. El número de fuentes de aguas minerales individualizadas en el presente estudio, dista, por lo tanto, de representar la totalidad de las fuentes realmente existentes en el territorio chileno.

## FACTORES QUE CONTROLAN LA OCURRENCIA DE FUENTES TERMALES

El origen del calor interno de la Tierra se atribuye en gran medida a la radiactividad de las rocas. Todas las rocas de la corteza terrestre tienen pequeñas cantidades de elementos radiactivos, entre los que se encuentran el  $U_{238}$ ,  $U_{235}$ ,  $Th_{232}$  y el  $K_{40}$ . Estos elementos se desintegran paulatinamente, a través de una serie de reacciones nucleares, hasta transformarse en Pb, los tres primeros y en  $Co_{40}$ , el último, liberando suficiente energía como para producir el flujo calórico que se observa en la superficie terrestre, y para mantener las altas temperaturas que se detectan bajo la misma. Coadyuvan a provocar calor, las reacciones químicas, fenómenos tectónicos, terremotos y variaciones del campo magnético terrestre (Pinagua, 1992).

A escala global, la presencia de fuentes de aguas termales está controlada por una serie de factores geológicos específicos, que determinan ambientes propicios para su desarrollo. Como resultado de ello, no necesariamente todos los países disponen de este apreciado recurso. El conjunto de los fluidos en movimiento, focos de alta temperatura y elementos estructurales que albergan y/o proporcionan las vías propicias a la movilización (agua y/o vapor) en una zona geotérmica, constituyen los llamados 'sistemas geotérmicos'. Cuando incluyen agua en movimiento ascendente, se denominan 'sistemas hidrotermales'. Las áreas geotérmicas se localizan, preferentemente, en zonas de subducción a lo largo de activos márgenes convergentes de placas; regiones con intensa actividad volcánica son propicias al desarrollo de fuentes termales. En el caso chileno, la presencia de fuentes de aguas termales y minerales está condicionada por la posición del país en la zona de convergencia dinámica entre las placas de Nazca y Sudamericana. Este hecho se traduce en una elevada gradiente geotérmica asociada a actividad volcánica y a la existencia de rasgos estructurales (fallas) de magnitud regional, que favorecen la infiltración de aguas meteóricas en zonas donde el régimen climático (precipitaciones) es favorable. Este tipo de condiciones no sólo se presenta en Chile, sino que en la mayoría de los países que forman parte del llamado 'Círculo de Fuego del Pacífico' (Perú, Ecuador, Costa Rica, El Salvador, México, Japón, Filipinas, Indonesia, Nueva Zelanda, Figs. 2 y 3). En Chile, las manifestaciones termales más importantes y de mayor temperatura, ocurren en la cordillera andina, mientras que las manifestaciones de aguas minerales y/o termales de baja temperatura (hipotermiales), se localizan hacia el occidente (Cordillera de la Costa, 'Pampa' o Valle Central).

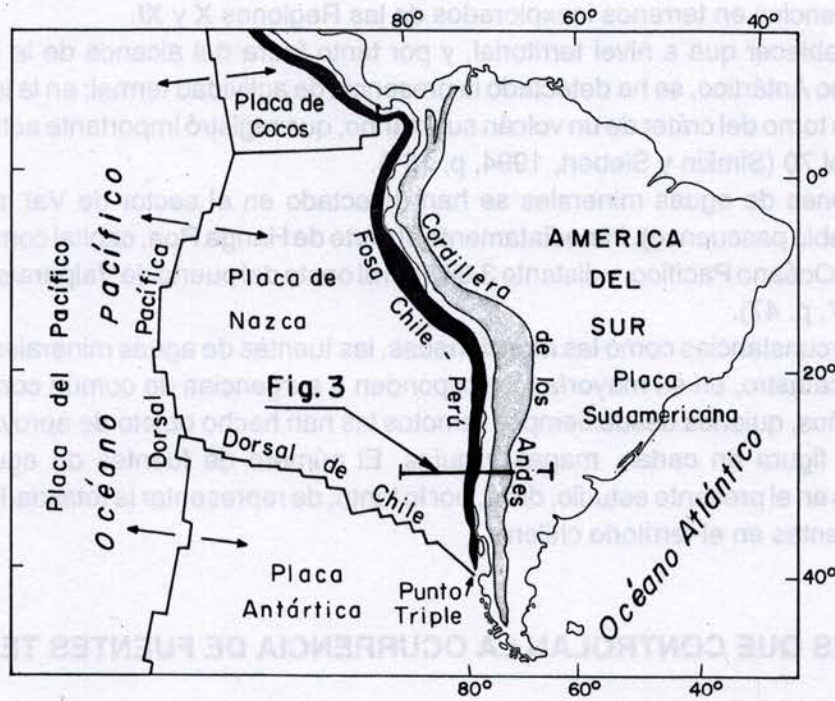


FIG. 2. Tectónica de placas en el sector sureste de la región circumpacífica.

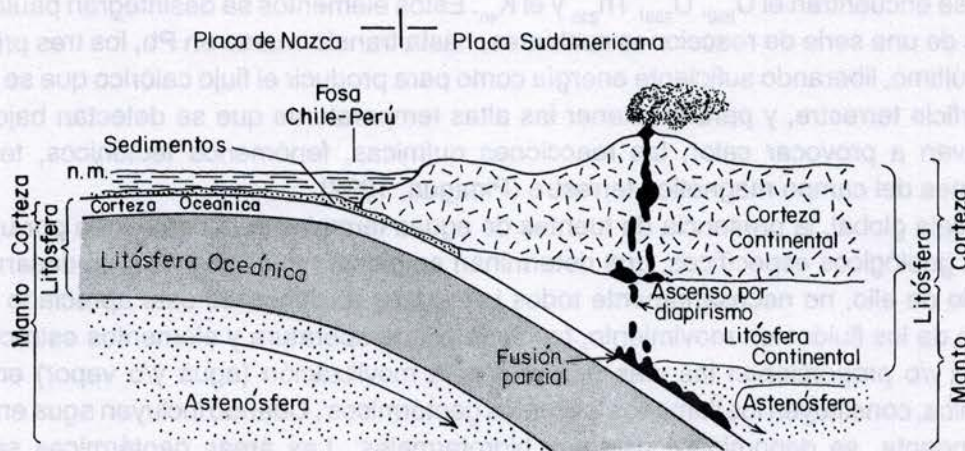


FIG. 3. Perfil generalizado de la zona de colisión y/o subducción entre las placas de Nazca y Sudamericana, hacia los 30°S.

El clima y la morfología local, condicionan los mecanismos de recarga, mientras que la porosidad y permeabilidad local determinan la existencia de canales o vías de circulación profunda para los fluidos. La mayor parte del agua asociada a los sistemas geotérmicos, es de origen meteórico (Alfaro y Wallace, 1994). En el caso chileno, el agua involucrada en nuestros sistemas termales, minero-termales y minerales es, principalmente, de origen meteórico; los aportes son de tipo pluvial en las zonas 'bajas' (Cordillera de la Costa y Valle Central) y de tipo mixto pluvio-nival en la zona andina (Cordillera de los Andes y Altiplano). Al pie de las estribaciones preandinas en el extremo norte y zona central del país, la percolación de aguas fluviales parece ser de gran significación. En el primer caso, la alimentación o recarga responde a flujos porteados por cauces

efímeros (quebradas) durante lluvias de gran intensidad y recurrencias de 5-10 años; en el segundo, en cambio, a infiltraciones desde cursos superficiales (quebradas, esteros, ríos) con escurrimiento permanente, cuyas cabeceras se ubican en la zona andina. En zonas puntuales del borde litoral existen fuentes termales donde las aguas son de indudable origen marino aunque, como ya se ha indicado, muchas de ellas virtualmente han desaparecido por efecto de actuaciones antrópicas (Mejillones, Sorrento-Llolleo, Talcahuano, Quinchao). Las mayores concentraciones de actividad termal litoral se localizan en torno a la Península de Tres Montes (norte del Golfo de Penas), en la Región XI, marginales al 'Punto Triple' de convergencia de las placas Sudamericana, Nazca y Antártica (Figs. 1 y 2), donde prevalece una elevada gradiente geotérmica (Mpodozis *et al.*, 1985).

Los aportes de aguas nivales, se relacionan con el derretimiento de los casquetes de nieve-hielo que jalonan la cima de numerosos centros volcánicos activos en nuestra zona andina, y su posterior derretimiento e infiltración hacia niveles subsuperficiales. El primero puede ocurrir tanto por la intervención del propio flujo calórico del entorno volcánico, como por la ablación natural, a partir de la estación de primavera, cuando se incrementa la radiación solar. La infiltración del agua generada, se ve facilitada por la presencia de terrenos muy permeables: suelos coluviales y/o coberturas de lavas fracturadas y porosas, junto a potentes mantos de arena y lapilli.

La fuente calórica proviene, en la mayor parte de los casos, de cuerpos intrusivos en proceso de enfriamiento o cámaras magmáticas cercanas a la superficie. En el Parque Nacional Yellowstone, en los EE.UU. (Wyoming), lugar que, a nivel mundial incluye la mayor concentración de fuentes termales, a la profundidad de 300 m, se han registrado temperaturas de hasta 240°C, asociadas a actividad volcánica ocurrida hace 600.000 a AP (Alfaro y Wallace, 1994). En diversos ambientes geológicos, el sistema estructural y las características geomecánicas del subsuelo controlan los patrones de circulación del agua subterránea calentada. Las estructuras más significativas a este respecto corresponden a contactos geológicos entre unidades de suelos y/o rocas; filones o diques; filones metalíferos; fallas y fracturas; siendo estas dos últimas, las más importantes. 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, controlan la permeabilidad, mientras que la orientación de las discontinuidades, determina la dirección o trayectoria más favorable para que el agua de escurrimiento superficial se infiltre y se movilice al interior del macizo.

En Chile, la orientación preferencial norte-sur de los rasgos estructurales mayores, en que el escurrimiento superficial dominante es hacia el occidente, a partir de la cadena andina, propicia la interceptación de flujos superficiales de agua por parte de las fallas regionales y su posterior percolación hacia niveles profundos, en zonas de elevadas gradientes geotérmicas. El calentamiento del agua, con la consiguiente expansión volumétrica, genera las presiones necesarias para provocar su migración ascendente. Dos segmentos del país demuestran una notable concentración de fuentes termales, vinculadas a la Falla Pucuro (Carter y Aguirre, 1965) y la Zona de Falla Liquiñe-Ofqui (Hervé, 1984); la primera, en la zona preandina de las Regiones V y Metropolitana y la segunda en la zona andina de las Regiones IX, X y XI. Directamente relacionadas con la Falla Pucuro, se encuentran alrededor de 10 fuentes termales, mientras que en torno a la Falla Liquiñe-Ofqui, se han reconocido cerca de 35 fuentes (Fig. 4).

El carácter litológico y competencia geomecánica de las rocas comprometidas, controla la permeabilidad y/o capacidad de infiltración de las aguas de escurrimiento superficial hacia los niveles profundos. Normalmente, rocas sedimentarias preterciarias, en zonas con climas agresivos (alta precipitación y amplias variaciones diarias de temperatura), carentes de cobertura vegetal y/o suelos, restringen la infiltración.

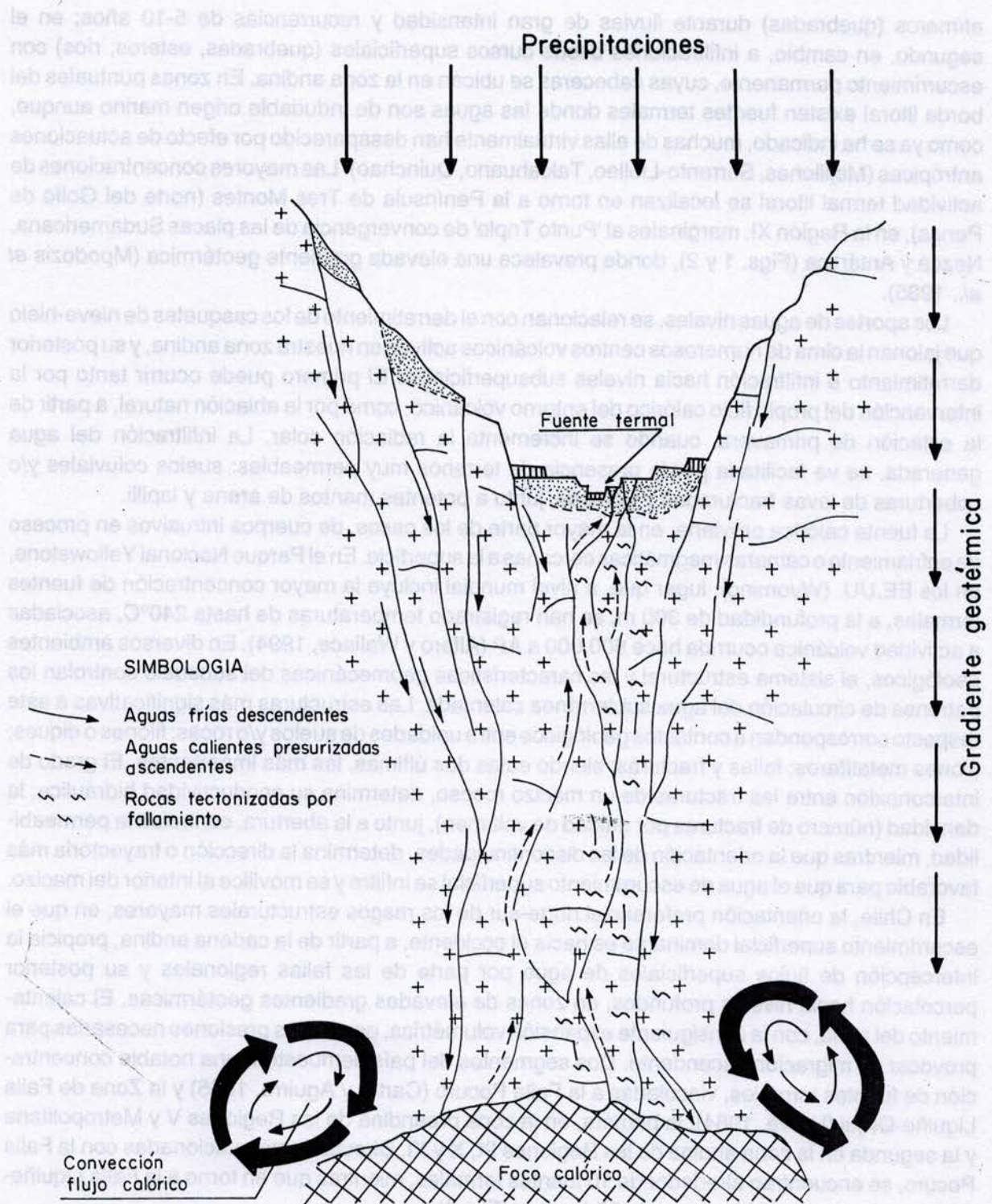


FIG. 4. Esquema de una fuente termal genéticamente vinculada a una cámara magmática o cuerpo intrusivo, en ambiente con falla regional.

En el caso de la Falla Liquiñe-Ofqui, rasgo estructural de casi 1.000 km de largo, que se extiende entre los 39° y 45° S, la abundancia de fuentes termales se asocia a un favorable régimen climático, con precipitaciones anuales en el intervalo de 1.800-3.800 mm, y la proximidad a numerosos centros volcánicos activos, tales como los volcanes Llaima, Villarrica, Choshuenco, Carrán,

Puyehue, Osorno, Calbuco, Yates, Hornopirén, Michinmahuida, Macá, Cay y Hudson. A lo largo de su traza, se localiza una serie de conos volcánicos monogenéticos, muy bien conservados, signo evidente de actividad holocénica o postglacial. La elevada gradiente calórica en zonas con volcanismo activo, determina el desarrollo de sistemas geotérmicos en fase vapor, con una gran capacidad de disolución.

La incorporación de elementos minerales, en la medida que las aguas ascienden en ambientes fisurados, sometidos a acciones convectivas, depende en gran medida de la temperatura, presión, tiempo de contacto y contenido de sustancias solubles en las rocas comprometidas. Normalmente, el Fe, Na,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{SO}_4$  y  $\text{CO}_3$  son incorporados con gran facilidad por las aguas ascendentes. La disolución de estos constituyentes, se facilita en presencia de rocas afectadas por alteración hidrotermal, como es el caso de la mayoría de nuestros centros volcánicos andinos. La edad de los sistemas hidrotermales, participa decisivamente de sus contenidos y concentraciones químicas. Sistemas 'antiguos', asociados a rocas preterciarias, por ejemplo, desarrollan, comparativamente, aguas con mayores concentraciones que aquéllas vinculadas a rocas jóvenes postterciarias. El 'tiempo de interacción' resulta determinante al respecto.

Importantes flujos calóricos capaces de activar fuentes termales alejadas de centros volcánicos activos podrían relacionarse, en el caso chileno, al lento enfriamiento de cuerpos magmáticos de emplazamiento somero (3 a 10 km de profundidad, Lahsen, 1986) (Fig. 5). El volumen y profundidad de emplazamiento de los cuerpos intrusivos, junto con determinar sus velocidades de enfriamiento, controlan el tiempo en que los fluidos de los sistemas hidráulicos subterráneos están en contacto con las rocas. Macizos profundos de rango batolítico, por ejemplo, requieren prolongados períodos de enfriamiento, permitiendo que los fluidos sobrecalentados interactúen por más tiempo con las rocas huéspedes. Por otro lado, las rocas plutónicas intermedias a ácidas son consideradas como productos de magmas evolucionados, con prolongados tiempos de residencia en la corteza, durante los cuales significativas cantidades de energía calórica pueden transferirse desde el magma a las rocas encajantes; a mayor cámara magmática, mayor recurso termal, y mayor energía económicamente utilizable (Wohletz y Heiken, 1992, p. 44).

La variada geología, en términos de la naturaleza petrográfica y rango estratigráfico de las rocas que modelan nuestro territorio, permite múltiples alternativas de interacción para los sistemas roca-agua; de ello resultan aguas cuyos espectros de composición y concentración, comprometen amplios rangos.

Estructuras del tipo 'graben', desarrollan condiciones favorables a la formación de sistemas hidrotermales. La componente hidrológica se refuerza, tanto por la presencia de importante recarga a partir de fallas marginales subverticales, como por la presencia de potentes rellenos sedimentarios permeables, que favorecen una profunda circulación de las aguas meteóricas. Cuencas con rellenos sedimentarios de baja compacidad, favorecen una mayor retención calórica (como resultado de una menor capacidad para conducir o transmitir verticalmente el calor), con el consiguiente desarrollo de ambientes con elevadas gradientes geotermales (Zembruscki y Hung Kiang, 1989). Esta situación bien podría ocurrir en sectores puntuales del Valle Central, entre los  $33^\circ$  y  $37^\circ\text{S}$ , donde el relleno de la cuenca incluye voluminosas secuencias aluviales no consolidadas del Cuaternario.

Al importante número de manifestaciones de termalismo superficial conocido en Chile, es posible agregar indicaciones subsuperficiales detectadas en trabajos de exploración petrolífera en la Región XII del país. Mientras la Empresa Nacional del Petróleo (ENAP) realizaba trabajos de exploración en el pozo Zurdo No. 1, al norte de Laguna Blanca, Región XII (No. 302 en Tabla 1, Anexo I), se registró un vigoroso flujo de agua caliente y vapor a  $102^\circ\text{C}$ , y una presión de 14-21  $\text{kg/cm}^2$ . La manifestación se localizó a 3.764 m de profundidad en instantes en que se atravesaba

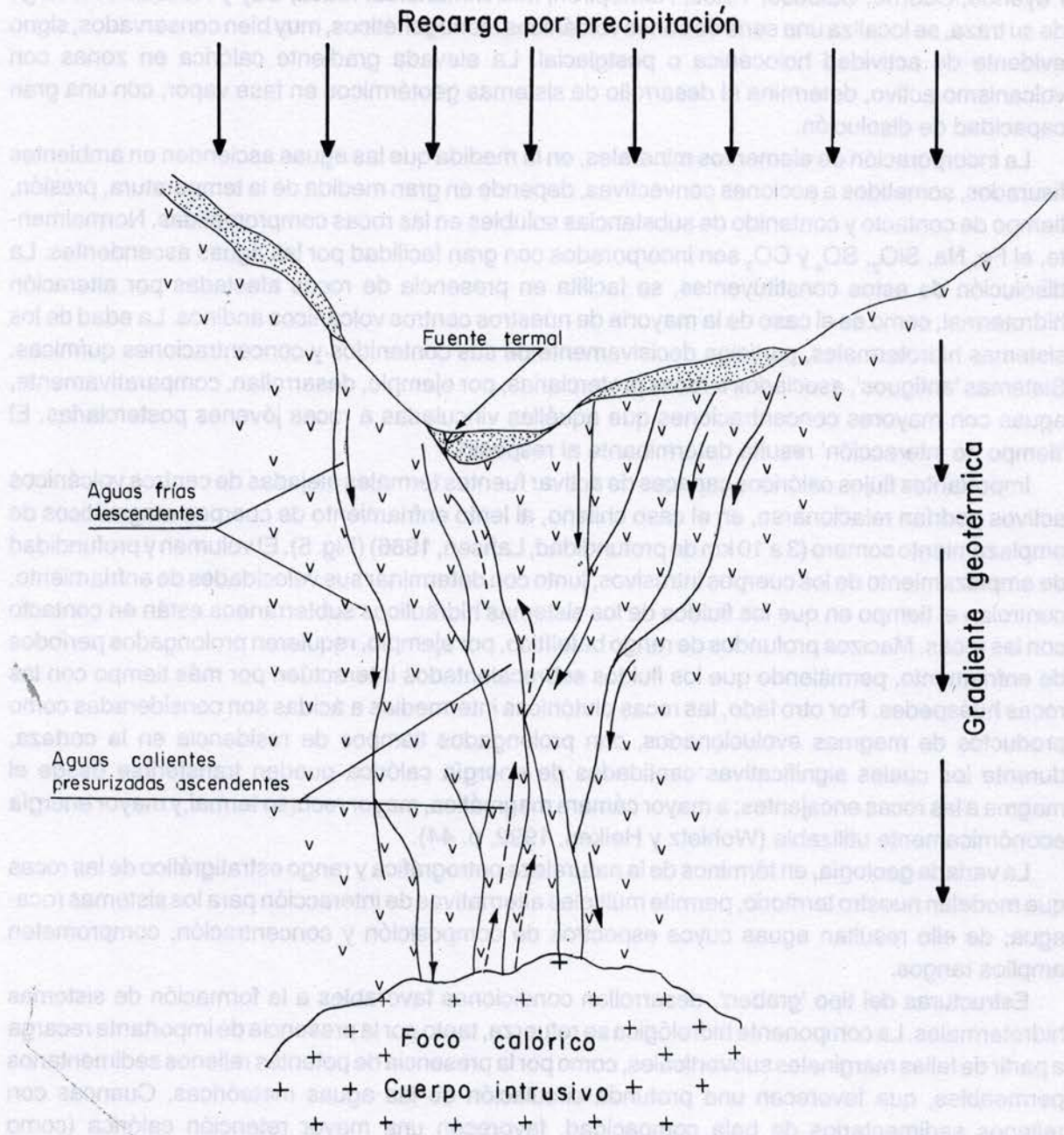


FIG. 5. Esquema de fuente termal, cuya energía calórica se vincula al lento enfriamiento de un cuerpo intrusivo.

una secuencia de arcillolitas del Terciario Inferior. El pozo en referencia, se ubica próximo a una serie de cuellos volcánicos y coladas basálticas plio-pleistocenas en el área de Loma Penitente-Morro Chico (Fig. 1). De igual modo, durante trabajos de exploración y/o desarrollo realizados recientemente en relación con actividades extractivas del yacimiento de cobre Río Blanco (División Andina), ubicado en la zona cordillerana de la Región V, se detectó la presencia de aguas termales en sectores puntuales de algunos laboreos. Por último, Barraza (1961), consignó que en una serie de pozos de reconocimiento hidrogeológico efectuados en el borde occidental de la cuenca de Santiago (El Noviciado, Rinconada de Lo Aguirre, Maipú), se detectaron aguas subterráneas con

temperaturas de 18 a 21°C, en pozos que alcanzaron profundidades entre 47 y 120 m. Esta situación abre interesantes perspectivas respecto de la potencialidad del recurso termal, en zonas carentes de manifestaciones superficiales. Por otro lado, estudios de flujo calórico, en torno a la cuenca de Santiago, permitieron establecer que a profundidades de 1 a 2 km se podría esperar temperaturas de 80-90°C (Muñoz, 1987). Estos valores proporcionan una atractiva base referencial para respaldar estudios destinados al aprovechamiento industrial de fuentes de baja entalpía, en torno a zonas con elevada densidad poblacional e industrial.

La viabilidad de aprovechamiento económico de una fuente de agua mineral y/o termal, se sustenta en la presencia de un caudal constante y permanente, sin experimentar variaciones en temperatura y carácter hidroquímico. Cuando el caudal experimenta oscilaciones estacionales, es indispensable poder predecir el régimen de la fuente, incluyendo su descarga media (en l/s, m<sup>3</sup>/día o flujo anual en m<sup>3</sup>). El aprovechamiento de la energía termal de baja entalpía, corresponde a una tecnología que se ha desarrollado en varios países europeos, incluyendo usos no eléctricos, tales como calefacción urbana, industrial y agrícola (secado de frutas, algas y pulpa de papel). Al respecto, Francia ha desarrollado tecnologías de vanguardia para posibilitar el beneficio económico de este singular recurso. En ese país, la energía térmica producida, es utilizada tanto en calefacción para conjuntos habitacionales, como en instalaciones para el desarrollo horto-frutícola. En Hungría, un pozo geotérmico produce 80 a 90 m<sup>3</sup>/h de agua a temperaturas de 85-95°C, suficiente para suministrar calefacción y agua caliente a 1.800 departamentos, completándose el instante de mayor demanda con calefacción por gas o 'fuel'. En la cuenca de París, se preve que en los próximos años, un millón de departamentos serán calentados con energía geotérmica.

La presencia local de gradientes geotérmicas anormales en algunos puntos de nuestro territorio, cuyo origen aparece desvinculado de la actividad volcánica, muy bien podría responder al hecho que las rocas desarrollan una importante desintegración de isótopos radiactivos. Esta peculiaridad geológica, que hace referencia a las llamadas 'rocas calientes secas' (HDR, 'Hot Dry Rocks'), en algunos países, es objeto de aprovechamiento. El procedimiento implica la ejecución de dos pozos profundos; en uno de ellos se introduce agua a presión, la cual, una vez que incrementa su temperatura, puede ser extraída por el segundo pozo y utilizada en aplicaciones recreacionales, domésticas, industriales o agrícolas (Armstead, 1987). Las gradientes geotérmicas anormales registradas en torno al sector de Pudahuel, en la Región Metropolitana, alejado de centros volcánicos andinos, podrían responder al mecanismo descrito precedentemente.

## AMBIENTES TERMALES CHILENOS

El análisis del catastro de fuentes termales chilenas, indica una clara vinculación genética con determinados ambientes geográficos, climáticos, geológicos y tectónicos. Esta singularidad, común a las fuentes termales a nivel mundial, en Chile admite ser representada en función del concepto de 'Ambientes Termales', aunque existe un reducido número de fuentes termales que no es posible incluir en un ambiente específico. Interesa destacar la escasez de manifestaciones termales en el segmento andino de la Región III, correspondiente a las latitudes 26-29°S (Figs. 1 y 6). Este hecho se relaciona con que en esta región el plano de subducción de la Placa de Nazca se dispone con bajo ángulo, alrededor de 15° (Kay *et al*, 1987; Cahill e Isacks, 1990; González-Ferrán, 1995), situación que limita la existencia de volcanismo activo, y restringe, por lo tanto, el desarrollo de sistemas hidrotermales activos.

Los Ambientes Termales chilenos pueden ser clasificados como sigue (Fig. 1):

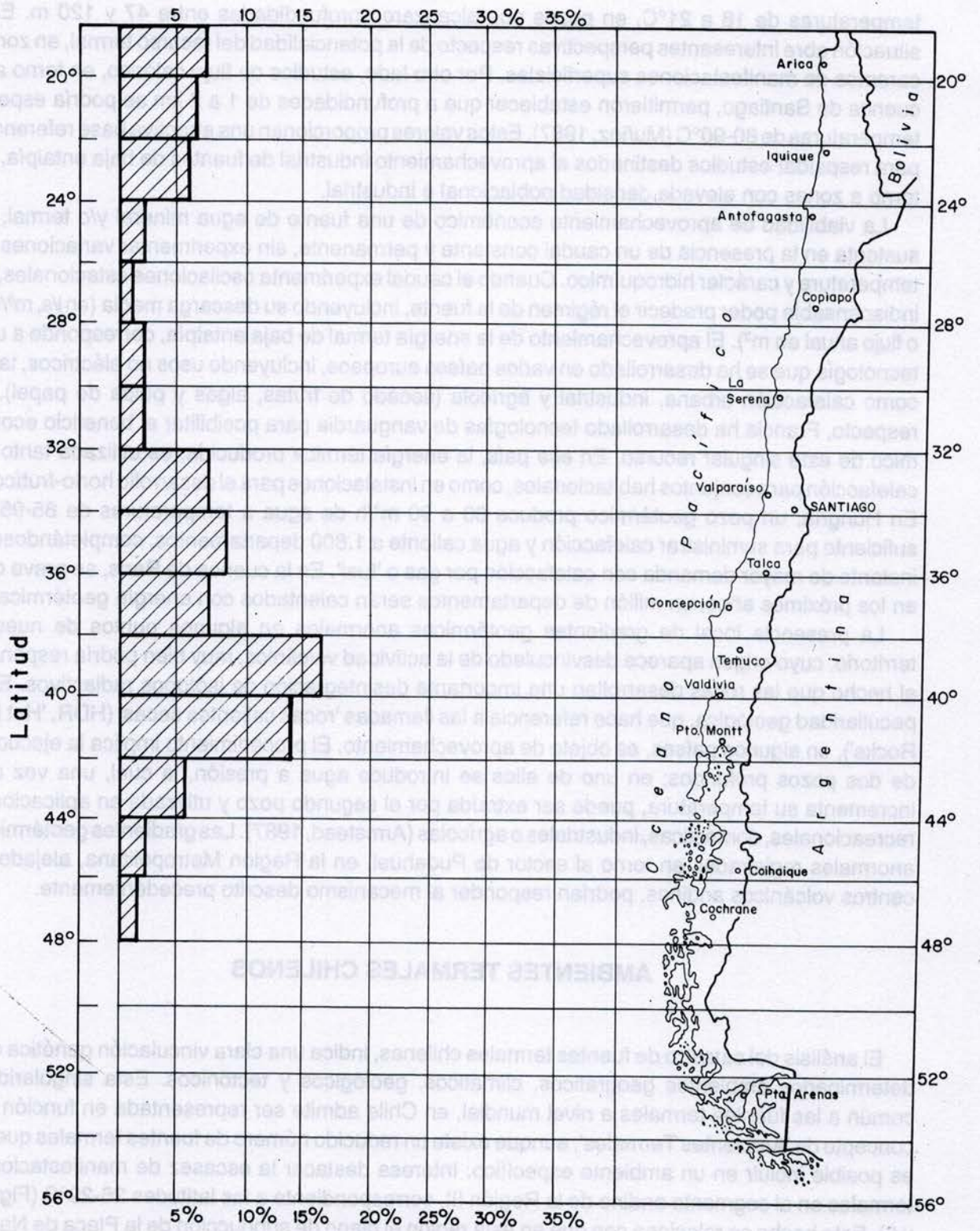


FIG. 6. Distribución porcentual latitudinal de fuentes termales chilenas, referidas a un total de 244 fuentes catastradas.



## **AMBIENTE ANDINO VOLCANICO**

Incluye dos subcategorías

### **AMBIENTE VOLCANICO ALTIPLANICO (AVA)**

Incorpora todas las fuentes termales localizadas en la zona andina entre los 17° y 25°30'S, donde los niveles promedio de precipitación anual fluctúan entre 150 y 200 mm. En este segmento, se ubica una serie de centros volcánicos (estratovolcanes), con alturas de 5.500 a 6.000 m s.n.m., de composición dominante calco-alcalina, constituidos por andesitas y dacitas, acompañadas de voluminosos flujos de ignimbritas dacíticas y riolíticas, vinculadas a emisiones ocurridas en el Cenozoico Superior. En las cercanías de volcanes tales como el Tacora, Nevados de Putre, Tarapacá, Sajama, Parinacota, Caldera Lauca, Guallatire, Miño, Aucanquilcha, Ollagüe, Ascotán, San Pedro, El Tatio, Putana, Lascar, Licancabur, Socompa, Lullaillaco y Lastarria, existen elevadas gradientes geotérmicas y fuentes termales cuyas aguas, en sus puntos de alumbramiento, suelen alcanzar temperaturas muy elevadas: >80°C en Surire (6)\*, Puchuldiza (15), El Tatio (50) (Fig. 7) y Aguas Calientes (59) (Fig. 8). Algunas de estas manifestaciones termales corresponden a sitios en los cuales se han efectuado estudios, a objeto de establecer la factibilidad de desarrollo de proyectos de aprovechamiento geotérmico.

### **AMBIENTE VOLCANICO SUR (AVS)**

Incluye todas las fuentes termales ubicadas en la zona andina entre las Regiones VI y XII (35 a 55°S). En este segmento, la Cordillera de los Andes incluye una serie de estratovolcanes, conos piroclásticos y calderas asociados a flujos de lavas intermedias a básicas de andesitas y basaltos, genética y mayoritariamente vinculados a emisiones ocurridas a partir del Plio-Pleistoceno (Peteroa, Planchón, Descabezado Grande, Quizapú, Nevados de Chillán, Lonquimay, Tolguaca, Llaima, Villarrica, Choshuenco, Caulle, Puyehue, Osorno, Calbuco, Yates, etc. (Moreno, 1975, 1976). Un número importante de estos centros registra actividad moderna, fumarólica y/o solfatárica, indicando elevadas gradientes geotérmicas en la cercanía de los centros. Las cimas de estos volcanes se sitúan entre 2.500 y 3.300 m s.n.m., mientras que las precipitaciones medias anuales fluctúan entre 1.800 y 3.500 mm, garantizando un efectivo suministro de agua, disponible para infiltrarse hacia niveles profundos. Las principales fuentes termales localizadas en este ambiente, corresponden a: San Pedro o Teno (141), Peteroa o Azufre (144), Las Yeguas (145), Mondaca (150), Campanario (158), Maule (159), Longaví (163), Las Zorras (164), Chillán (168), Copahue (182), Tolguaca (191), Río Blanco (196), Molulco o Balboa (201), Palguín (219), Cajón Negro (221), Rupumeica (239), Los Venados (242), Las Sopas 1 (243), Las Sopas 2 (244), Las Azufreras (247), Puyehue (250), Puelo (261) y Lago Cabrera (264).

### **AMBIENTE ANDINO TECTONICO**

Agrupar a un gran número de fuentes termales directamente vinculadas con fallas de extensión regional, con vías favorables para la percolación en profundidad de las aguas superficiales y su posterior ascenso, sobrecalentadas. Este ambiente incluye dos subcategorías.

---

\* Número según Tablas 1 y 2 (Anexo I).

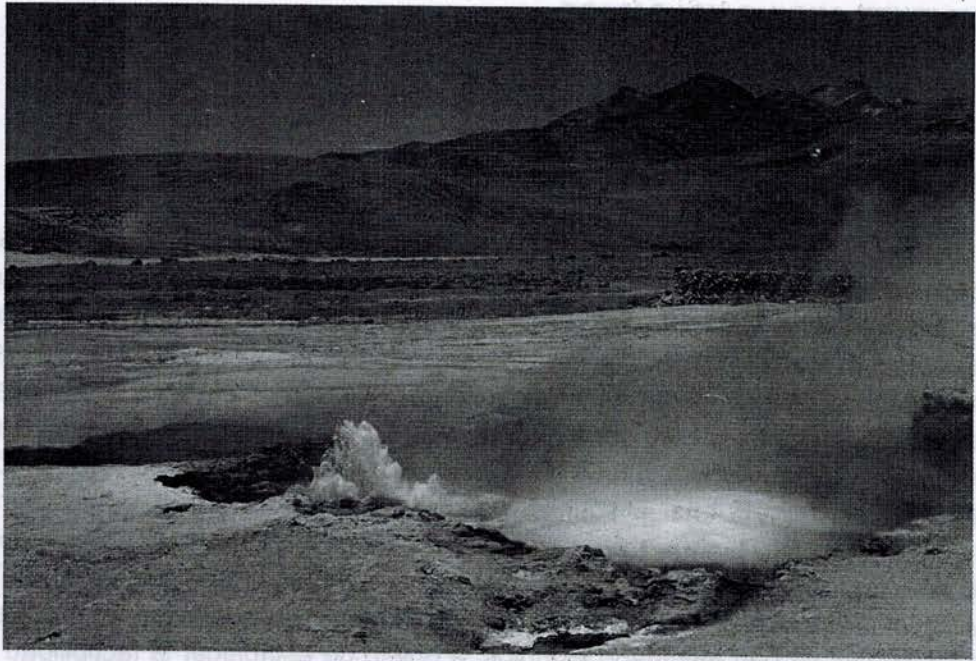


FIG. 7. Géiseres El Tatio, Región II.



FIG. 8. Incrustaciones salinas en punto de alumbramiento de aguas en Vertiente Termal Salar de Aguas Calientes, Región II.

### AMBIENTE FALLA POCURO (AFP)

Geográficamente, incluye el borde preandino de las Regiones V y Metropolitana, entre las latitudes 33° y 34°S. Genéticamente, las fuentes termales detectadas en este segmento se vinculan con la Falla Pocuro (Carter y Aguirre 1965; Thiele, 1980), comprometiendo, mayoritariamente, rocas volcanoclásticas de edad cretácica superior-terciaria inferior. Las fuentes reconocidas dentro de este grupo corresponden a: Los Barros (99), La Higuera (98), Jahuel (97), El Corazón (100), Del Lobo (101), Totorá (103), Aucó (102), Chacabuco (105), Colina (108), Carvaján (109), San Enrique (112), Apoquindo (114), Peñalolén (115). Incluyen fuentes termales con aguas ricas en carbonatos que afloran a temperaturas bajas (20-40°C).

### AMBIENTE FALLA LIQUIÑE-OFQUI (AFLO)

Incluye un importante número de fuentes termales localizadas en la zona andina de las Regiones IX a XI, entre los 39° y 48°S y genéticamente relacionadas con la Zona de Falla Liquiñe-Ofqui (Moreno y Parada, 1974; Hervé *et al.*, 1979; Hervé, 1984), que comprometen, tanto a rocas volcanoclásticas e intrusivas cretácicas y terciarias, como a flujos lávicos plioceno-pleistocenos y cuaternarios. La traza de la Falla Liquiñe-Ofqui, de rumbo cercanamente norte-sur, se prolonga a lo largo de 950 a 1.000 km. Elevados niveles de precipitaciones pluviales, nivales y mixtos, proporcionan los necesarios caudales iniciales, para activar numerosos sistemas hidrotermales, concentrándose en este ambiente el 30% de todas las fuentes termales catastradas en el presente estudio (Fig. 6). La proximidad a centros volcánicos activos, ayuda a incrementar las temperaturas de las aguas, que, en este ambiente, afloran a temperaturas muy variables (35-90°C). Las principales fuentes termales localizadas en el AFLO corresponden a: Río Blanco (196), Huife (206), San Luis (214), Minetú (211), Maichín (212), Trancura (216), Palguín (219), Vergara (223), Coñaripe (225), Liquiñe (226), Oporto (231), Cupido Chihuío (234), Llifén (236), Rupumeica (239), Trahuilco (241), Los Venados (242), Vuruloche (254), Cayutú (256), Cochamó (257), La Lobada (259), Sotomó (260), Llancahué (267), Cahuelmó (268), Porcelana (272), Chilco (273), El Peñón (275), Lago Negro (276), Moraga (280), Puyuguapi (286), Puerto Pérez o Chilconal (289) y Quitralco (291).

### AMBIENTE LITORAL O COSTERO (AL)

Se incluyen en esta categoría todas las fuentes termales localizadas en forma discontinua a lo largo del borde litoral chileno. En general, se trata de manifestaciones de baja temperatura. Registros históricos permiten establecer que en la gran mayoría de ellas, las temperaturas demuestran una clara tendencia al descenso con el transcurso del tiempo. Pertenecen a este ambiente, las fuentes termales de Mejillones (55), Talcahuano (164), Quinchao (271), Caleta Román (298), Bahía Astruida (299), Bahía Charles (300) y Seno Mercurio (302). Dentro de este grupo, se incluyen las numerosas fuentes ubicadas en la península Tres Montes, en la Región XI, en torno al Punto Triple de convergencia de las placas de Nazca-Sudamericana-Antártica; aquí la inusual concentración de fuentes termales resulta de difícil reconocimiento, considerando que su localización está controlada por las fluctuaciones mareales.

## AMBIENTE CORDILLERA DE LA COSTA CENTRAL (AC)

Geográficamente, incluye una serie de fuentes termales localizadas en la Cordillera de la Costa de la Región VI, entre las latitudes 35° y 35°30'S. En este segmento, las fuentes termales se asocian a fallas mayores, que afectan a intrusivos graníticos paleozoicos. Las fuentes identificadas corresponden a: Gualleco (144), Rapilermo (142), Higuerrillas (143) y Tanguao (149). A diferencia de los otros ambientes descritos, estas fuentes registran bajas temperaturas, en el rango de 20 a 25°C.

Las fuentes de aguas minerales y termales chilenas pueden ser clasificadas, de acuerdo a las fluctuaciones temporales de caudal en sus puntos de alumbramiento, en: **a-** constantes o perennes; **b-** esporádicas y **c-** intermitentes. Las variaciones tienen relación con oscilaciones estacionales en el régimen climático, particularmente referidas a los montos de precipitaciones pluviales y nivales. Las fuentes situadas tanto en las cabeceras de las hoyas hidrográficas andinas (sobre los 2.800 m s.n.m.) entre los 32° y 42°S, como todas aquéllas ubicadas entre los 42° y 54° S registran las mayores 'producciones', con caudales constantes a lo largo del año. Notables variaciones de caudal registran las fuentes de la zona altiplánica, en las Regiones I y II, en respuesta a variaciones interanuales en el monto de la precipitación pluvial, hecho que comprueba, además, su origen predominantemente meteórico.

A nivel territorial, existe un reducido número de fuentes termales que en virtud de su localización, no es posible incluir en ninguno de los 'Ambientes Termales' precedentemente definidos. Su existencia, mayoritariamente, responde tanto a una proximidad a centros volcánicos activos, como a fallas menores; sin desconocer eventuales vinculaciones con gradientes geotérmicas asociadas al lento enfriamiento de cuerpos intrusivos.

Hamza y Muñoz (1996), de acuerdo a antecedentes proporcionados por Diment *et al.* (1965) y Uyeda *et al.* (1978), sobre la base de métodos geoquímicos definidos por Swanberg y Morgan (1978), proporcionan información respecto de la distribución espacial y variaciones del flujo calórico en Chile. Establecen que los padrones regionales de flujo calórico son representativos de un régimen geotermal profundo; en torno al borde litoral, flujos calóricos bajos se disponen de acuerdo a una estrecha franja. Entre los 25° y 33°S, coincidente con una zona de escasa actividad volcánica y donde el plano de subducción se desarrolla con poco ángulo, el flujo calórico es bajo. Por el contrario, tanto en segmentos del extremo norte del país (18-24°S), como en la Cordillera Patagónica (46-55°S), donde dicho plano se dispone de acuerdo a mayores ángulos, el flujo calórico es elevado. Esta singularidad, proporcionaría un marco de referencia preliminar para la zonación, a escala territorial, del potencial geotérmico chileno.

## PROPIEDADES FISICOQUIMICAS DE LAS AGUAS MINERALES Y TERMALES DE CHILE

### CONSIDERACIONES GENERALES

El carácter químico de las aguas minerales y termales (Tabla 2, Anexo I), depende de una serie de factores o procesos, que ocurren tanto a nivel superficial como en profundidad. Las aguas termales, normalmente, se enriquecen en determinados elementos contenidos en las rocas por donde ellas transitan. Normalmente, elevados contenidos de calcio y magnesio, se registran en aguas termales y minerales, asociadas a ambientes con rocas calcáreas y dolomíticas. Atendido

el hecho que el sodio y el potasio están presentes en una gran variedad de rocas y que corresponden a elementos de gran solubilidad, invariablemente participan en diversos porcentajes, en la composición de numerosas aguas. La composición química de las aguas termales está muy influenciada por la relación temperatura/solubilidad. En términos generales, la solubilidad de la mayoría de los minerales contenidos en las rocas, aumenta en la medida del incremento del flujo calórico. Elevadas gradientes geotérmicas incrementan la capacidad de disolución de las sales y sustancias solubles alojadas en las rocas, favoreciendo su enriquecimiento en compuestos aniónicos y catiónicos, dando origen a aguas con altos niveles de mineralización. Así, por ejemplo, la concentración de sílice se incrementa, concordantemente, con un aumento en las temperaturas de las fuentes. La presencia de abundante sínter silíceo, se asocia a aguas con altas temperaturas, en fuentes del tipo géiseres, ubicadas en la zona altiplánica del extremo norte del país.

El origen primario de las aguas, juega un rol decisivo en su carácter químico. Las aguas meteóricas, normalmente, presentan bajas concentraciones, tanto en sus fases aniónicas como catiónicas. En cambio, aguas juveniles o magmáticas, entendidas como aquéllas liberadas a partir de sistemas magmáticos, demuestran mayores concentraciones químicas iniciales. En el caso de sistemas geotérmicos asociados a volcanismo, se asume que un alto porcentaje de los componentes químicos de las aguas termales, provienen de la adición de volátiles contenidos en el magma, como resultado de procesos de desgasificación. La naturaleza de los componentes de origen magmático es función del tipo y estado de cristalización del magma, temperatura y presión de la fase volátil liberada (White, 1957). Las aguas alumbradas en fuentes circundantes a sistemas volcánicos activos, corresponden, en general, en el caso chileno, a aguas sulfatadas ácidas, con bajos contenidos de cloruros, altas concentraciones de sulfatos y valores de pH, generalmente inferiores a 4,0. La proximidad de algunas fuentes de aguas minerales o termales al borde litoral, ejerce un control determinante en sus características químicas, debido a procesos de contaminación o mezclas con aguas de mar, por lo tanto, ricas en cloruros. Algo parecido ocurre con aquellas fuentes, localizadas en torno a zonas con fuerte alteración hidrotermal, donde la interacción con las rocas alteradas, se manifiesta en aguas con altas concentraciones catiónicas de cobre, fierro, molibdeno, arsénico y fases aniónicas como sulfatos, carbonatos y cloruros.

Finalmente, interesa destacar que el tiempo de circulación en profundidad de las aguas, resulta determinante en el control de su composición química. Una circulación lenta, favorece la interacción agua/roca, resultando en aguas con mayores niveles de mineralización.

## **CARACTERIZACION FISICOQUIMICA DE LAS AGUAS TERMALES Y MINERALES CHILENAS**

De acuerdo a los resultados analíticos (Tabla 2, Anexo I), los constituyentes minerales y gases disueltos que participan de la composición química de las diversas aguas minerales (Am) y termales (At) analizadas, corresponden a los mismos comunes a otras aguas naturales. A continuación, se describe brevemente el carácter de las principales sustancias minerales disueltas en las Am y At catastradas, adjuntando comentarios referidos a su eventual origen, individualizando aquéllas correspondientes a concentraciones extremas. En general, las At demuestran mayores concentraciones iónicas o niveles de mineralización, respecto de las Am; esta particularidad se asocia al hecho, ya señalado, que la solubilidad de la mayoría de los elementos se incrementa notablemente con la temperatura. Con el objeto de establecer un padrón de comparación hidroquímico, en la tabla C del Anexo III, se adjunta la Norma Chilena de Agua Potable.

## pH

Los valores muy altos del pH, esto es, sobre 8,5, están normalmente, asociados a aguas sódico-carbonatadas-bicarbonatadas. Valores moderadamente altos de pH se registran en aguas bicarbonatadas, mientras que los pH bajos, por debajo de 4, se vinculan a aguas que contienen ácidos libres derivados de sulfuros minerales oxidantes (piritas) o de aguas en contacto con gases volcánicos que contienen ácido sulfhídrico, clorhídrico y otros compuestos volátiles (Davis y De Wiest, 1971). En el caso chileno, los pH más bajos, observados en las At con un valor de 2,1, se detectaron en Baños Las Sopas- 2 (244)\*, 2,5 en Vertiente Termal Las Azufreras (247) y 5,7 en Ojos de Turi (47) (Fig. 9). Los pH más altos, con valores de 9,8 en Termas de Socos (90), 9,5 en Baños de Nitrao (180), 9,3 en Termas de San Luis (214-6), 9,6 en Baños de Cupido (233) y 9,6 en Baños de Las Juntas (255). En las Am, la mayoría de las determinaciones de pH entregaron valores de 5,5 a 6,5.

No ha sido posible determinar el efecto que respecto del organismo humano produce la ingesta de aguas con pH extremos. Interesa establecer que determinaciones de pH en bebidas no alcohólicas, correspondientes a dos afamadas marcas norteamericanas, para sus variedades 'clásica' y 'diet', dieron valores en el rango de 2,61 a 3,32 (Holland y Petersen, 1955, p. 320).

## TOTAL DE SÓLIDOS DISUELTOS

Se refiere a todo el material sólido en suspensión, ionizado o no (TSD en Tabla 2, Anexo I). En las aguas naturales sus valores oscilan dentro de una amplia gama de valores; las aguas lluvia pueden acusar valores inferiores a 10 mg/l, mientras que una salmuera, valores superiores a 300.000 mg/l (Davis y De Wiest, 1971). Altos valores de sólidos disueltos en las aguas termales, determinan el desarrollo de grandes concentraciones de incrustaciones salinas en torno a los puntos de alumbramiento de las aguas. Ambientes termales con altas temperaturas, bajos caudales de descarga y altas concentraciones de sólidos disueltos, son indicativos de bajas velocidades de flujo y circulación profunda de las aguas (Rybach, 1995). En las At analizadas, los valores más elevados correspondieron a 10.319 mg/l en los géiseres El Tatio (50), 53.514 mg/l en Baños de Salinillas (117), 27.385 mg/l en Baños Morales (120-1) y 11.804 mg/l en la fuente termal Punta Santa Laura (303). En cambio, entre las Am, los valores promedio del total de sólidos disueltos oscilan entre 80 y 150 mg/l.

## CATIONES

### Sodio y potasio

Ambos elementos corresponden a constituyentes muy comunes en numerosos minerales, principalmente, feldspatos de Na y K. Debido a que la mayoría de sus compuestos son altamente solubles, normalmente, ambos elementos están presentes en todas las aguas con elevados niveles de mineralización, aunque mostrando grandes variaciones, tanto local como regionalmente. En las aguas naturales, el Na predomina respecto del K. La presencia de K se asocia a aguas cuyas manifestaciones superficiales se asocian a rocas graníticas y riolíticas (White, 1957). Los valores más altos de Na en At se registraron en muestras provenientes de géiseres El Tatio con 3.500 mg/l (50), Baños Laguna Santa Rosa con 4.390 mg/l (78-1), Baños Morales con 9.000 mg/l (120-1), Termas San Pedro o Teno con 15.000 mg/l (141), Baños de Campanario con 5.130 mg/l (158) y

(\*) Número según Tablas 1 y 2 en Anexo I.

Fuente Termal Punta Santa Laura con 3.819 mg/l (303). En las Am, las concentraciones extremas de Na se registraron en Ojos de Tara con 448 mg/l (53-1) (Fig. 10) y Manantial Yelcho con 576 mg/l (279) (Fig. 11). Los valores más elevados de K se registraron en las At de Termas de San Pedro o Teno con 1.780 mg/l (muestra 141) y Termas de Puyuguapi con 347 mg/l (286-2). En las Am, las mayores concentraciones de K se obtuvieron en la vertiente termal Colpagua con 220 mg/l (39).

### Calcio y magnesio

El Ca y Mg corresponden a los cationes responsables de la dureza de las aguas; a pesar de la gran solubilidad del Mg y de la mayoría de sus compuestos, se encuentra en concentraciones menores que el Ca en las aguas subterráneas. Normalmente, el Ca es el catión que domina en la composición de las aguas naturales (Hem, 1985). El Ca corresponde a un elemento muy abundante en la corteza terrestre; su gran movilidad en la hidrósfera, determina que sea uno de los iones más comunes en las aguas subterráneas (Moxiang, 1993). El Mg se libera a partir de rocas dolomíticas, o bien desde minerales como olivino, biotita y augita contenidos en rocas ígneas, así como de serpentinita, talco y tremolita en rocas metamórficas. El Ca deriva, mayoritariamente, tanto de calizas y dolomitas, feldespatos, y areniscas con cemento calcáreo, como de la lixiviación de terrenos yesíferos, en cuyo caso se acompaña siempre de sulfatos. En las At el contenido de Ca, generalmente, supera en cinco veces los valores del Mg. En términos de concentraciones, la presencia de Ca en las At está determinada por la temperatura del sistema hidrotermal, registrándose las menores concentraciones en las aguas con altas temperaturas. Este carácter explica la abundancia del catión en superficie, bajo la forma de incrustaciones (travertino) en torno a los puntos de alumbramiento de las aguas, Puente de Tierra (125) (Figs. 12 y 13).

En las At las mayores concentraciones de Ca se detectaron en Baños Laguna Santa Rosa con 2.710 mg/l (78-1), Baños de Salinillas con 1.450 mg/l (117), Baños Morales con 1.025 mg/l (120-1), Termas San Pedro o Teno con 2.240 mg/l (141) y Baños de Campanario con 1.960 mg/l (158). En las Am las mayores concentraciones de Ca se registraron en la vertiente mineral Vital Apoquindo con 440 mg/l (115), Manantial Yelcho con 122 mg/l (279) y la vertiente Laguna Amarga con 360 mg/l (301). En las At, los valores más elevados de Mg se registraron en Baños Laguna Santa Rosa con 655 mg/l (78-1). En las Am, los valores extremos de Mg se obtuvieron en Manantial Yelcho con 90 mg/l (279) y Vertiente Laguna Amarga con 46 mg/l (301).

### Fierro y manganeso

La geoquímica de ambos elementos es muy similar, aun cuando, normalmente, en las aguas naturales la concentración del Fe supera en el doble a la del Mn. Excepto en soluciones ácidas, el Fe es poco soluble. El Mn corresponde a un elemento poco común en las aguas naturales. Cuando está presente, normalmente, lo hace asociado al Fe. La presencia de ambos cationes en las aguas, determina el desarrollo de incrustaciones anaranjadas y/o negruzcas en torno a los puntos de alumbramiento de las Am y de las At.

Los valores más altos de Fe en las At se registraron en Baños Las Sopas 1 con 163 mg/l (243) y Baños Las Sopas 2 con 119 mg/l (244). En las Am las mayores concentraciones de Fe se registraron en Manantial Yelcho con 5,88 mg/l (279) (Fig. 11); desarrollando un barro coloidal amarillento (Fig. 22). Las mayores concentraciones de Mn en las At se obtuvieron en Baños Las Calerías con 7,00 mg/l (132) y Termas de Puyuguapi con 4,80 mg/l (286-2). En las Am los valores más altos de Mn se registraron en Manantial Yelcho con 2,45 mg/l (279).



FIG. 9. Toma de muestra de aguas termales en Ojos de Turi, Región II.

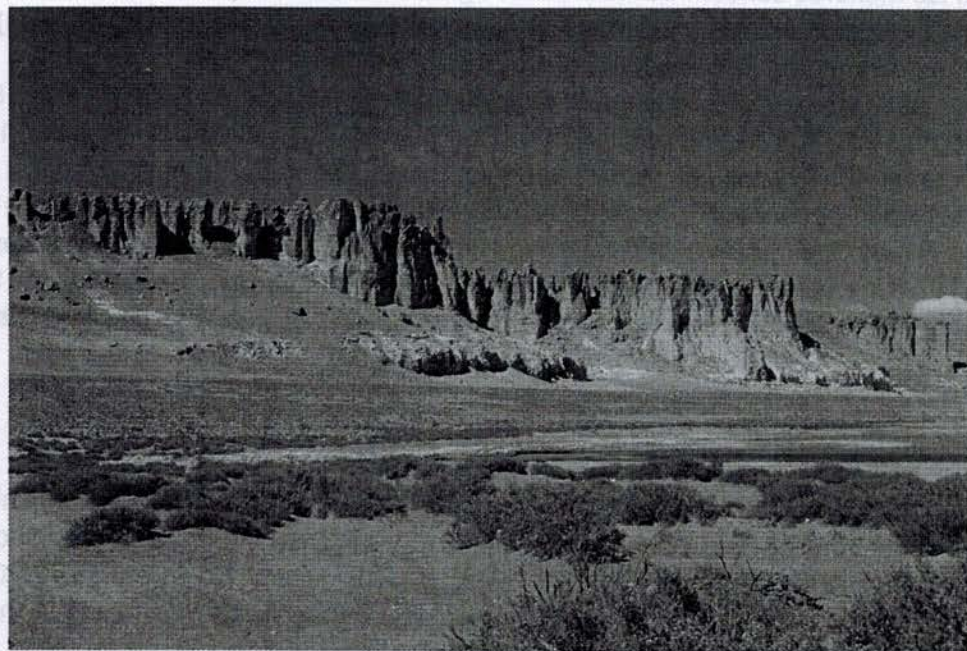


FIG. 10. Sector de la vertiente termal Ojos de Tara, Región II.





FIG. 11. Marco para la captación de aguas minerales en Manantial Yelcho, Región X; se observa abundante deposición de hierro coloidal.



FIG. 12. Vertiente de aguas termales con abundantes incrustaciones salinas en sector de Puente de Tierra, Región Metropolitana.

## Sílice

Este elemento sigue al oxígeno en abundancia en la corteza terrestre. La alteración de rocas con elevados contenidos de Si determina su presencia en las aguas naturales. Aun cuando el Si no se disuelve con facilidad, está presente en bajas concentraciones (inferiores a 100 mg/l), en la mayoría de las aguas naturales, como partículas en suspensión y/o formas coloidales. En la forma coloidal, le proporciona al agua una típica opalescencia (opacidad). Las concentraciones de Si en las aguas subterráneas, demuestran una clara dependencia respecto de la temperatura. Normalmente, aguas migratorias con elevadas temperaturas facilitan la disolución y redepositación de Si, tanto bajo sus formas cristalinas como amorfas. Fournier y Truesdell (1970) utilizaron los contenidos de Si en aguas termales, como indicador relativo de temperaturas en profundidad.

Las mayores concentraciones de Si en las At se presentaron en Baños de Puchuldiza con 310 mg/l (15-2), géiseres El Tatio con 287 mg/l (50), Termas de Jahuel con 380 mg/l (97-1), Baños de Chacabuco con 250 mg/l (105), Baños Las Sopas 1 con 377 mg/l (243), Baños Las Sopas 2 con 373 mg/l (244), vertiente termal Las Azufreras con 316 mg/l (247). En las Am, las mayores concentraciones de Si se registraron en la vertiente mineral Millahue con 21 mg/l (119), Manantial Yelcho con 73 mg/l (279) y la vertiente Laguna Amarga con 49 mg/l (301).

## Boro

Normalmente, los contenidos de B en las aguas son muy bajos. Se acentúan en aguas que provienen tanto de circulación profunda, en ambientes con sedimentos de origen marino, o rocas metamórficas (White, 1957). Las mayores concentraciones de B en las At fueron determinadas en los Baños de Puchuldiza con 82 mg/l (15-2), géiseres El Tatio con 128 mg/l (50), Baños El Toro con 74 mg/l (82-1) y Baños de Puritama con 11 mg/l (52-2) (Fig. 14). En las Am los valores más altos de B se obtuvieron en Manantial Yelcho con 5,8 mg/l (279).

## Flúor

Aunque la mayor parte de los compuestos de F tienen una solubilidad baja (Davis y De Wiest, 1971), el contenido de F en las At en torno a ambientes volcánicos activos, es relativamente alto, asociado a elevados contenidos de cloruro de Na (White, 1957). Las mayores concentraciones de F en las At chilenas se obtuvieron en Baños El Toro 2 con 4,5 mg/l (82-2) y Termas de Trancura con 3,01 mg/l (216). En las Am analizadas, las concentraciones del ion F no superan 1,0 mg/l. Se estima que el flúor ejercería una reconocida acción beneficiosa para limitar el desarrollo de caries dentales. Por este motivo, el ion ha sido adicionado, tanto en el tratamiento de aguas potables, como en algunas pastas dentales. Con respecto a este último procedimiento, se debe destacar que en algunas pastas dentales comercializadas en Chile, los contenidos máximos del ion flúor no superan porcentualmente los 0,250 gr ó 2.500 mg/l.

## Litio

A pesar que el Li es relativamente escaso en la corteza terrestre, predominando en rocas ígneas graníticas, la mayor parte de los compuestos de Li son solubles, por lo que éste tiende a permanecer en solución (Davis y De Wiest, 1971). En las At, las mayores concentraciones de Li se registraron en géiseres El Tatio con 26 mg/l (muestra 50), Baños Laguna Santa Rosa con 28,6 mg/l (78-1) y Termas San Pedro o Teno con 15 mg/l (141). Entre las Am, las concentraciones de Li, en su gran mayoría, fluctúan entre 0,10 y 0,60 mg/l.



FIG. 13. Vista aérea de manifestaciones termales en el sector de Puente de Tierra, Región Metropolitana.



FIG. 14. Sector de aluminamiento de aguas termales, en Baños de Puritama, Región II.

## Arsénico y cobre

En nuestro país, el Cu alcanza amplia distribución, asociado a voluminosos yacimientos, tanto del tipo epitermal como porfídico, bajo la forma de Cu nativo o en forma de compuesto en minerales como calcosina, calcopirita, cuprita, malaquita. El As se encuentra en la naturaleza en forma de variados compuestos, siendo en el caso de Chile, los más abundantes la arsenopirita ( $\text{FeAsS}$ ), enargita ( $\text{Cu}_3\text{AsS}_4$ ) y tenantita, ( $\text{Cu}_{10}\text{Fe}_2\text{As}_4\text{S}_{13}$ ), asociados a zonas de alteración hidrotermal, ligadas a yacimientos de Cu, Au y Ag (Schwartz, 1995). En general, las aguas que tienen un bajo pH o que se encuentran a altas temperaturas, suelen contener las mayores concentraciones de As y Cu (Davis y De Wiest, 1971).

Entre las At los valores más elevados de As se registraron en Baños de Polloquere con 200 mg/l (6), Baños de Puchuldiza con 12 mg/l (15-2) y Baños El Toro 1 con 16 mg/l (82-1). En las Am las concentraciones medias de As registraron valores de 0,001 a 0,60 mg/l. Tanto en las At como en las Am, se detectaron concentraciones muy bajas de Cu, entre <0,01 mg/l y 0,30 mg/l.

## ANIONES

### Cloruros

Corresponde a uno de los más comunes y abundantes constituyentes en solución en las aguas subterráneas, presentando considerables variaciones, tanto a nivel local como regional. Los cloruros derivan, principalmente, de la sal común o cloruro de sodio,  $\text{NaCl}$ , y en menor proporción, del cloruro de magnesio ( $\text{MgCl}_2$ ), presente en pequeñas cantidades en algunas rocas. La mayor parte de los cloruros disueltos proviene de agua marina de sedimentación, disolución de sal común, concentración por evaporación de los cloruros existentes en las aguas lluvias y/o nieves y disolución de partículas de material sólido existentes en la atmósfera (Davis y De Wiest, 1971). En las At, las elevadas concentraciones de cloruros responderían a la incorporación de volátiles magmáticos (Evans y Frank, 1981).

En las At, las mayores concentraciones de cloruros se determinaron en Baños de Surire con 1.966 mg/l (6), Baños de Puchuldiza con 2.830 mg/l (15-2), géiseres El Tatio con 5.921 mg/l (50), Baños Laguna Santa Rosa con 12.520 mg/l (78-1), Baños de Salinillas con 30.300 mg/l (117), Baños Morales con 15.350 mg/l (120-2), Baños La Mamá con 4.630 mg/l (127), Baños Las Calerías con 3.580 mg/l (132), Termas de San Pedro o Teno con 26.700 mg/l (141), Baños de Campanario con 10.300 mg/l (158) y la fuente termal Punta Santa Laura con 6.984 mg/l (303). Las elevadas concentraciones de cloruro detectadas en las fuentes termales de Salinillas y Baños Morales, se relacionan, probablemente, a circulación de aguas profundas en contacto con cuerpos diapíricos salinos participando de potentes secuencias marinas jurásicas. En las Am las mayores concentraciones de cloruros se determinaron en la vertiente Vital Apoquindo con 1.090 mg/l (115).

### Sulfatos

Corresponde a una de las formas de azufre oxidado que constituye uno de los aniones más abundantes en las aguas naturales. Deriva tanto de la disolución de yeso y anhidrita como de la oxidación de minerales sulfurados, especialmente piritita y marcasita. En los sistemas termales con fase vapor dominante, en ambientes volcánicos activos, se forman aguas ácidas a partir del  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , procedente de la oxidación de  $\text{H}_2\text{S}$ . Estas aguas presentan, normalmente, altas concentraciones de  $\text{SO}_4$  y bajos valores de cloruros (Custodio y Llamas, 1976). Shevenell y Goff (1995) indican que

las elevadas concentraciones de sulfatos en ambientes volcánicos, se vinculan tanto a la disolución de incrustaciones fumarólicas en las paredes rocosas, como a  $\text{CaSO}_4$  vesicular. Las aguas bebestibles con altas concentraciones de sulfatos, reciben la denominación de 'aguas amargas'. Altas concentraciones de sulfato de magnesio, en las aguas bebestibles le otorgan propiedades laxantes.

Las mayores concentraciones de sulfatos fueron detectadas en las At correspondientes a Baños de Jurase con 1.088 mg/l (2), Vertiente Termal Cancosa con 1.481 mg/l (22), Baños Laguna Santa Rosa con 1.547 mg/l (78-1), Baños El Corazón con 1.584 mg/l (100), Baños Salinillas con 2.300 mg/l (117), Baños Morales con 1.135 mg/l (120-1) y Termas de San Pedro o Teno con 2.510 mg/l (141). Las Am se caracterizan por concentraciones de sulfatos <70 mg/l.

### **Carbonatos y bicarbonatos**

La mayoría de los iones carbonato y bicarbonato en las aguas naturales deben su existencia al  $\text{CO}_2$  procedente de la atmósfera, del suelo y la disolución de rocas carbonatadas (Davis y De Wiest, 1971; Legg, 1974).

El bicarbonato es mucho más abundante que el carbonato, ya que éste aparece en abundancia en las aguas, a partir de valores de pH mayores que 8,3. Aguas con elevadas concentraciones de bicarbonato, se originan por circulación profunda en zonas con dominio de rocas metamórficas (White, 1957). En las At, las mayores concentraciones de carbonatos se registraron en Baños de Huechulepún con 54 mg/l (199-2), mientras que en las Am la mayoría de las muestras dieron valores <20 mg/l de carbonato. En las muestras de At, los valores más elevados de bicarbonato correspondieron a Vertiente Termal Cancosa con 945 mg/l (22), Baños Morales con 1.412 mg/l (120), Baños Huechulepún con 1.220 mg/l (199-1), Termas Balboa o Molulco con 994 mg/l (201-4), Baños Moraga con 868 mg/l (280). Entre las Am, las mayores concentraciones de bicarbonatos fueron detectadas en Manantial Yelcho con 1.684 mg/l (279) y Vertiente Laguna Amarga con 1.630 mg/l (301).

### **Nitratos**

En general, las rocas ígneas contienen pequeñas cantidades de nitratos solubles; la mayor parte del ion en aguas naturales, tiene un origen orgánico. Los nitratos son tan altamente solubles que únicamente pueden ser movilizados por las aguas naturales por actividad orgánica y/o evaporación (Davis y De Wiest, 1971). Las mayores concentraciones de nitratos en las At se detectaron en Baños de Río Negro con 6,3 mg/l (74) (Fig. 15) y Termas de Quinamávida con 7,01 mg/l (156-2). En las Am se registraron contenidos mayoritarios variando entre <0.1 y 2,5 mg/l.

Finalmente, cabe destacar que la presencia de elevadas concentraciones de elementos como B, F, Li y cloruros en las aguas termales, constituirían una evidencia de aguas de origen magmático (Ellis y Mahon, 1964).

### **CONTENIDO DE GASES**

Los gases que se desprenden de las soluciones acuosas, forman burbujas que tienden a obstaculizar la circulación de las aguas subterráneas, lo que se manifiesta por medio de intermitencias en el flujo superficial de las aguas. Aunque en estudios hidroquímicos es poco frecuente efectuar determinaciones de los gases disueltos en las aguas, uno de los que aparece con mayor frecuencia es el anhídrido carbónico,  $\text{CO}_2$ . Su solubilidad es proporcional a la presión



FIG. 15. Rústica estructura para la captación y uso de aguas termales en Baños de Río Negro, Región III.

e inversamente proporcional a la temperatura de la fuente (Davis y De Wiest, 1971). La presencia de  $\text{CO}_2$  disuelto en las aguas, le proporciona un leve carácter ácido y sabor agradable, propiedad que es aprovechada durante las operaciones de envasado, para incorporarlo en las aguas minerales destinadas a la bebida. Las mayores concentraciones de  $\text{CO}_2$  en las At se registraron en Vertiente Termal Colpagua con 440 mg/l (39). En las Am, el valor más alto se detectó en Manantial Yelcho con 194 mg/l (279); el hecho que esta última manifestación ocurra en un terreno llano, semipantanosos, con gran desarrollo vegetacional, permite vincular el elevado contenido de  $\text{CO}_2$ , a una activa descomposición de materia orgánica, en ambiente anaeróbico. El gas es liberado mediante el persistente desarrollo de burbujas.

## CLASIFICACION DE LAS AGUAS MINERALES Y TERMALES CHILENAS

Las fuentes de aguas termales minerales chilenas, pueden ser objeto de una serie de sistemas de clasificaciones, considerando aspectos tales como: temperatura, carácter hidroquímico, origen, ambiente morfoestructural, etc. Sin embargo, para efectos prácticos, en el presente estudio sólo se hará uso de los dos primeros criterios, considerando que ambos parámetros son fundamentales para definir alternativas de aprovechamiento comercial.

### CLASIFICACION POR TEMPERATURA

Este criterio de clasificación, por razones obvias, sólo resulta aplicable a las fuentes termales. En nuestro territorio, en una transecta oeste-este, es posible reconocer un progresivo incremento en la temperatura de las fuentes termales. Como resultado de ello, los registros de temperaturas correspondientes a fuentes localizadas en el borde litoral (Mejillones, 55; Sorrento, 118; Talcahuano,

165 y Quinchao, 271) acusan valores que fluctúan entre 15° y 20°C, correspondientes a la calificación de hipotermiales. La excepción, la constituyen las numerosas fuentes localizadas en el borde litoral de la península Tres Montes, en la zona del Punto Triple de Chile Austral (Caleta Román, 298; Bahía Astruida, 299 y Bahía Charles, 300) donde se registran temperaturas medias en el rango de 85 a 100°C (hipertermiales).

Cuatro fuentes termales ubicadas al occidente del Valle Central en la Región VII (Gualleco, 145; Rapilermo, 142; Tanguao, 149 e Higuierillas, 143) también admiten ser incluidas en la categoría de hipotermiales. Estas fuentes pueden ser catalogadas como fuentes de baja entalpía, considerando su alejamiento de centros volcánicos activos. Este carácter se hace extensivo a algunas fuentes ubicadas en la zona prealtiplánica, en algunos sectores de las Regiones I y II, así como también en la zona preandina de las Regiones III, IV y V; en el borde preandino o flanco oriental del Valle Central en las Regiones VI, VII y Metropolitana se asocian a la traza de la Falla Pucuro (Carter y Aguirre, 1965). Estas bajas temperaturas permiten suponer que se trataría de sistemas que se encuentran en fase de transición hacia sistemas no termales.

La respectiva energía calórica, en estos casos, se vincularía, principalmente, al lento enfriamiento de cuerpos intrusivos.

Tanto en la zona altiplánica de las Regiones I y II, como en numerosas áreas de la zona andina de las Regiones VI, VII, VIII, IX, X, y parte de la Región Metropolitana, numerosas fuentes termales registran temperaturas de 60 a 80°C, lo que permite catalogarlas como hipertermiales. En estos casos, la alta temperatura se atribuye a la proximidad e influencia de centros volcánicos activos, asociados, probablemente, a cámaras magmáticas relativamente someras. Las fuentes localizadas en ambientes volcánicos con predominio de rocas ácidas, demuestran mayores temperaturas que aquéllas vinculadas a ambientes básicos (Custodio y Llamas, 1976), lo que permitiría explicar la mayor energía calórica que caracteriza a los sistemas hidrotermales ubicados en la zona altiplánica. En la zona sur, cabe mencionar las elevadas gradientes geotérmicas detectadas en el macizo eruptivo del cordón Caulle-Puyehue, Región X, donde se ha identificado una serie de fuentes termales de alta temperatura. Entre éstas se incluyen: Las Sopas 1 (243) y Las Sopas 2 (244), Los Venados (242), Domos de Azufre (245), Las Azufreras (247), Morro Solfataras (248), Puyehue (250) y Aguas Calientes (251). En todas ellas, las aguas surgen a temperaturas que fluctúan entre los 75° y 85°C. En sectores puntuales del cordón Caulle, junto con las elevadas temperaturas de las aguas, se registran flujos de lavas ácidas, riolíticas, poco frecuentes en los complejos volcánicos de los Andes del sur chileno (López-Escobar *et al.*, 1995).

Temperaturas muy variables se registran en las fuentes ligadas a la Zona de Falla Liquiñe-Ofqui, en diversos sectores de las Regiones X y XI, incluyendo sus ramificaciones litorales (fiordos Comau, Vododahue, Puyuguapi y Aisén). Esta característica se vincularía, probablemente, a un enfriamiento por 'contaminación', en los puntos de surgencia, debido a la infiltración de aguas superficiales frías, dentro de un ambiente geográfico caracterizado por altas tasas de precipitación pluvial (3.000-4.000 mm/año). En esta región, la presencia de terrenos permeables con alta conductividad hidráulica (depósitos fluviales, glaciales y/o fluvio-aluviales), rellenando extensos valles de origen tectónico, al favorecer la 'contaminación' de las aguas, dan lugar a complejos padrones de enfriamiento de las aguas ascendentes.

## CLASIFICACION QUIMICA

De los variados sistemas de clasificación de las aguas minerales y termales sobre la base de aspectos que dicen relación con el residuo seco, la dureza y concentraciones relativas de aniones, cationes y trazas (carbonatadas, ferruginosas, selenitosas, sódicas etc.), uno de los más utilizados

corresponde al Diagrama de Piper. Consigna un diagrama provisto de dos elementos triangulares equiláteros y uno romboidal; los dos primeros permiten representar las concentraciones de  $\text{Ca} + \text{Na} + \text{K} - \text{Mg}$  y  $\text{HCO}_3 - \text{Cl} - \text{SO}_4$ , mientras que el romboidal ofrece cuatro alternativas para representar los principales tipos de aguas, a saber: sulfatadas y/o cloruradas cálcicas-magnésicas, cloruradas y/o sulfatadas sódicas, bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas y bicarbonatadas sódicas. Cada vértice de los triángulos corresponde al 100% de un catión o anión, expresado en meq/litro (miliequivalente por litro). El agua recibe el nombre del anión o catión que sobrepasa al 50% de sus sumas respectivas. Si ninguno supera el 50%, se nombran los dos más abundantes. Otro diagrama de uso común es el Diagrama de Stiff, donde se representa la composición química de los elementos mayores contenidos en las aguas, permitiendo efectuar rápidas comparaciones cualitativas entre varios análisis (Fig. 16).

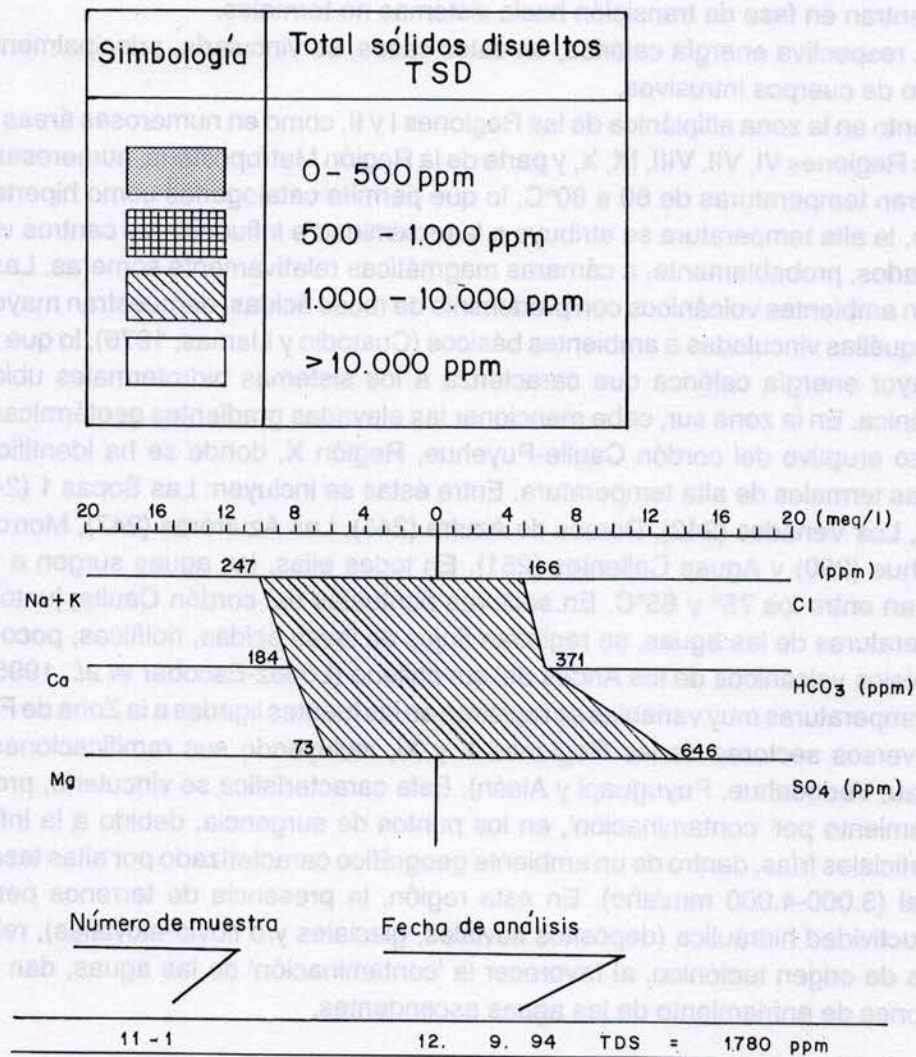
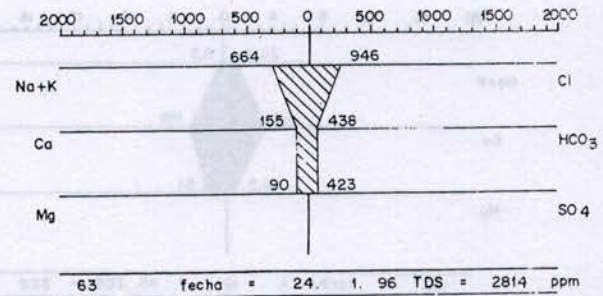
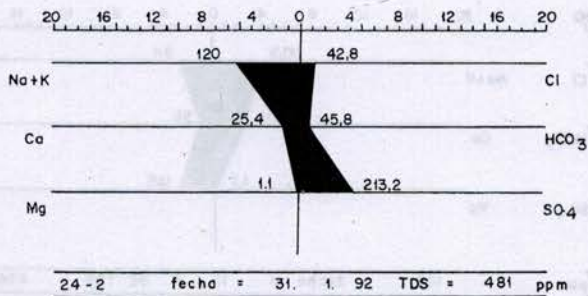
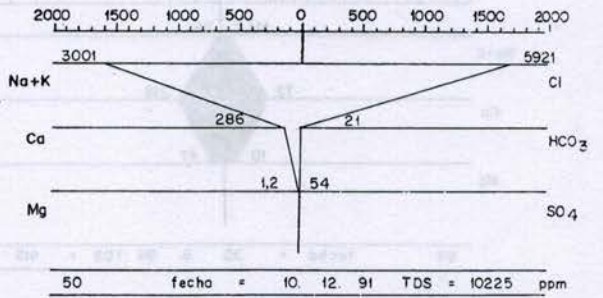
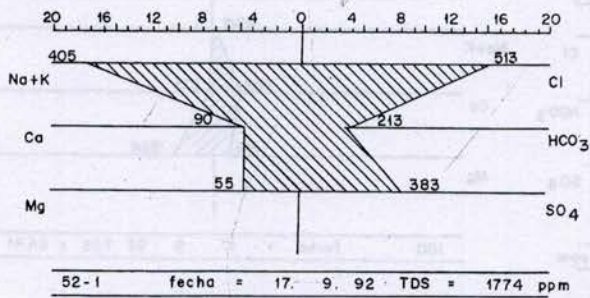
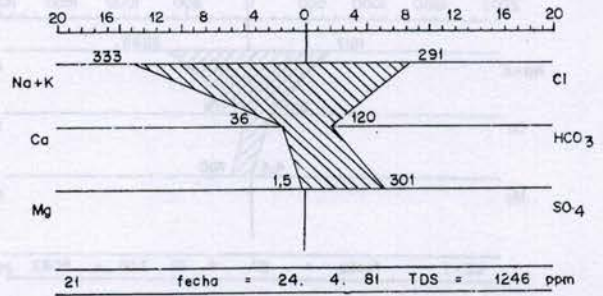
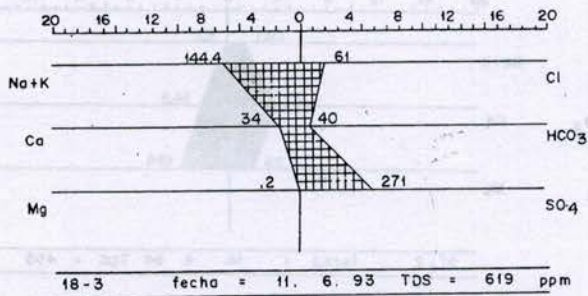
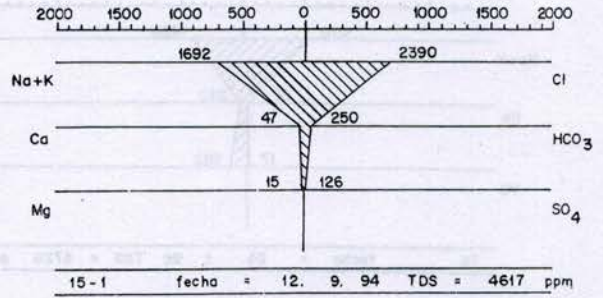
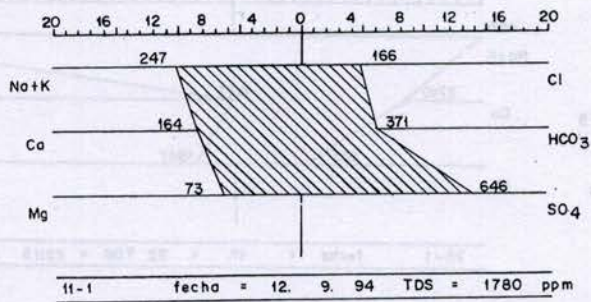


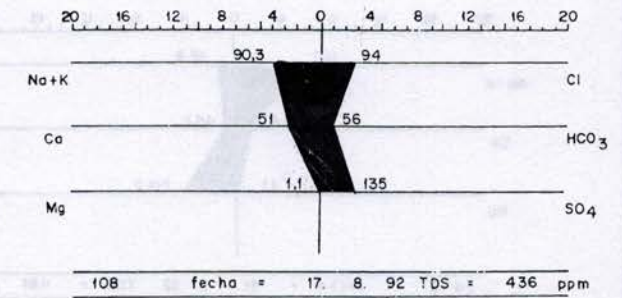
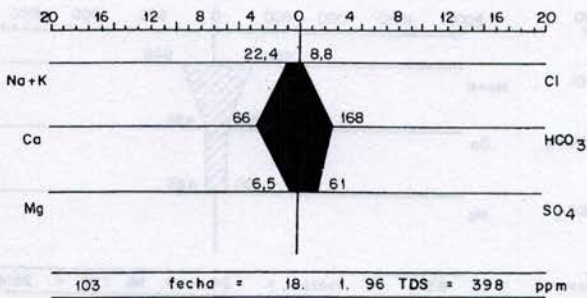
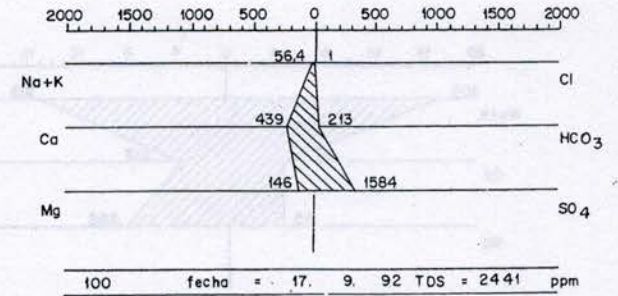
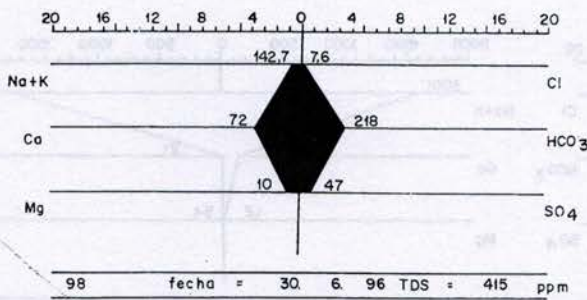
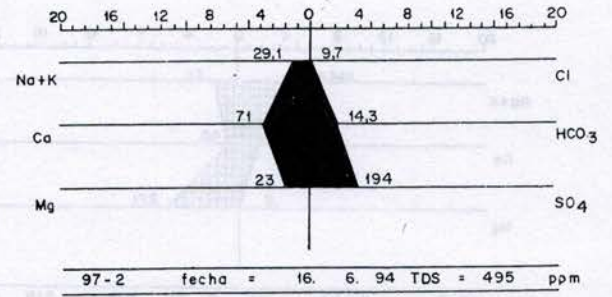
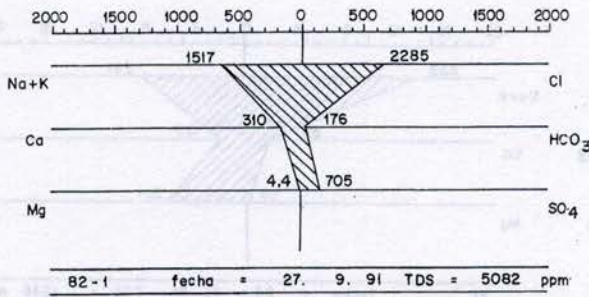
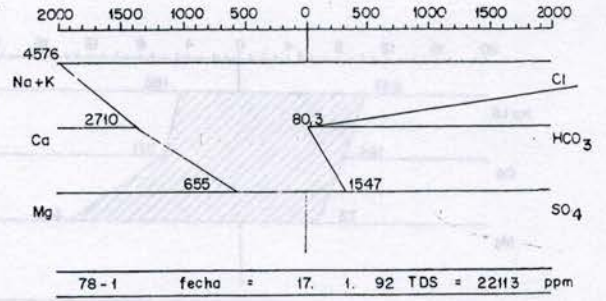
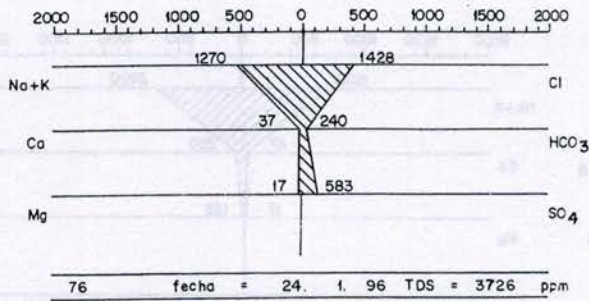
FIG. 16. Diagramas de Stiff, con indicación de patrones composicionales de algunas muestras representativas de aguas minerales y termales chilenas.



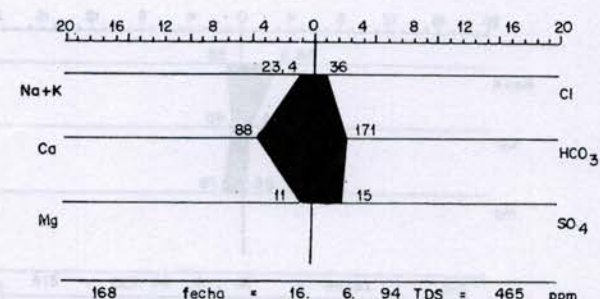
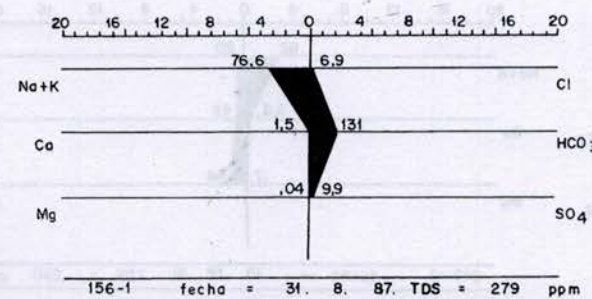
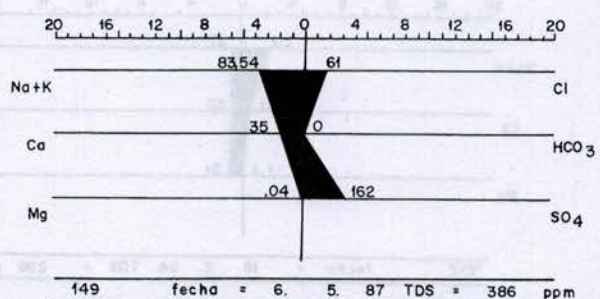
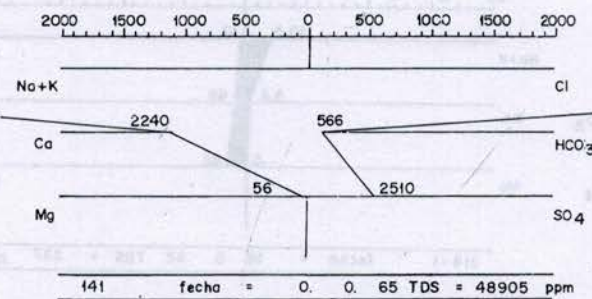
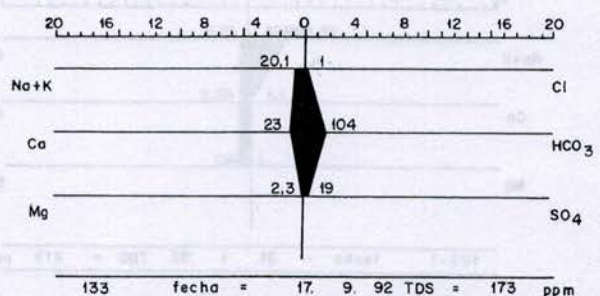
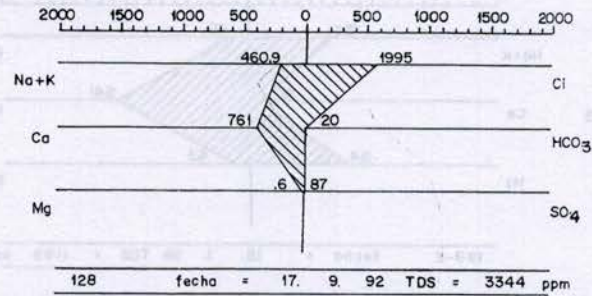
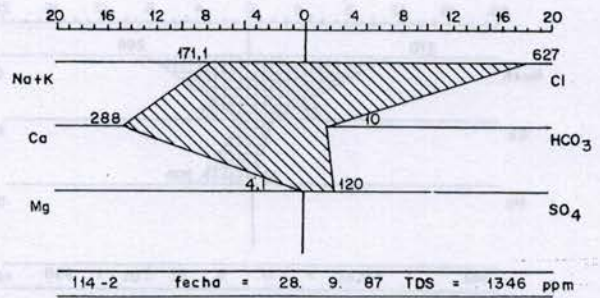
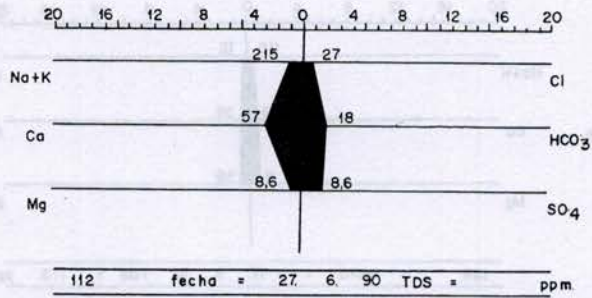
(continuación de la figura 16)



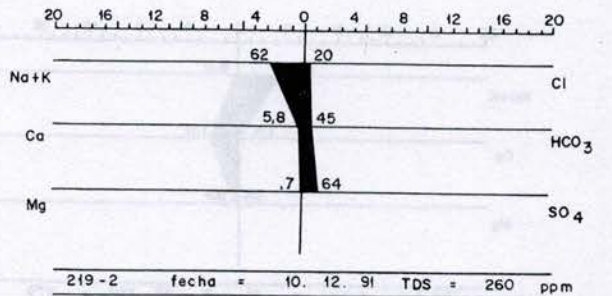
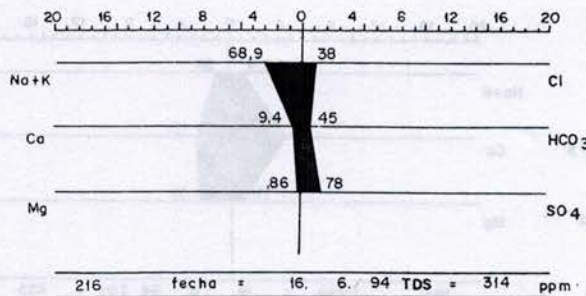
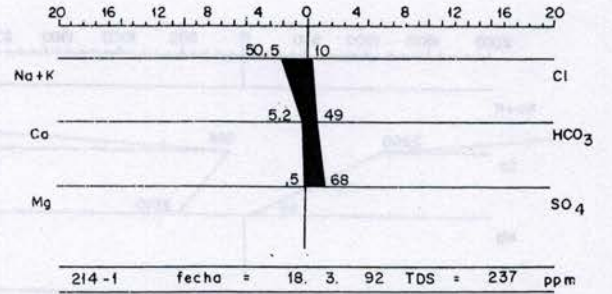
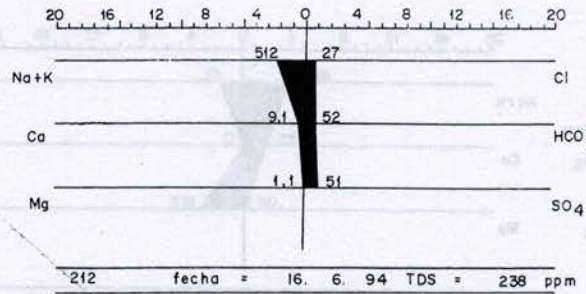
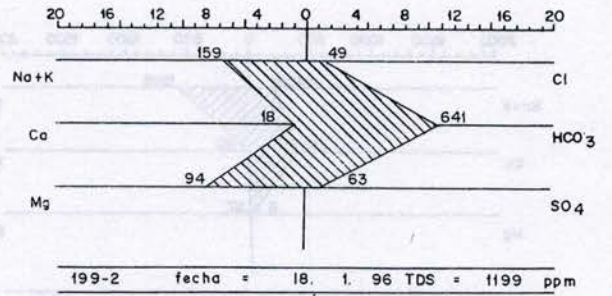
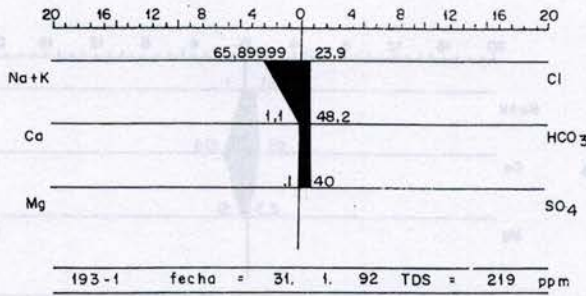
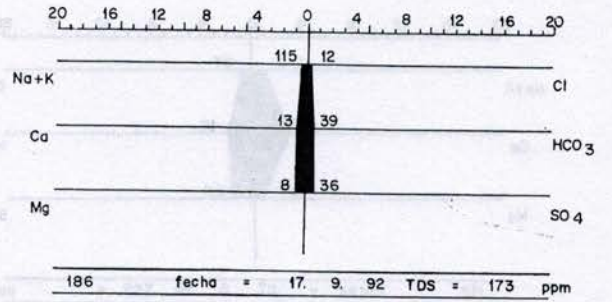
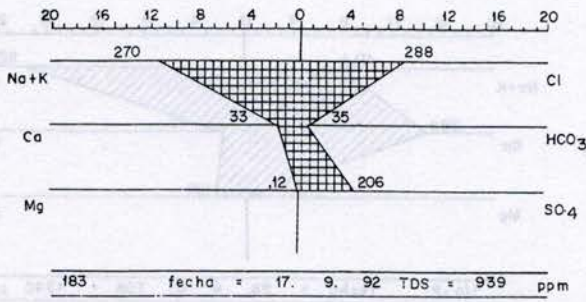
(continuación de la figura 16)



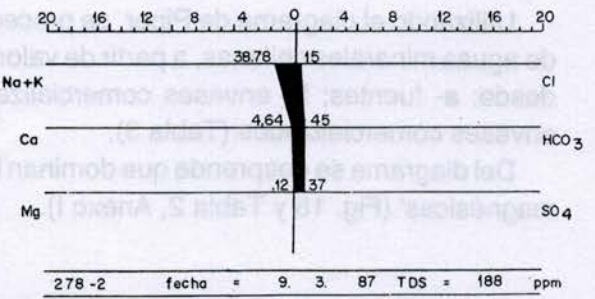
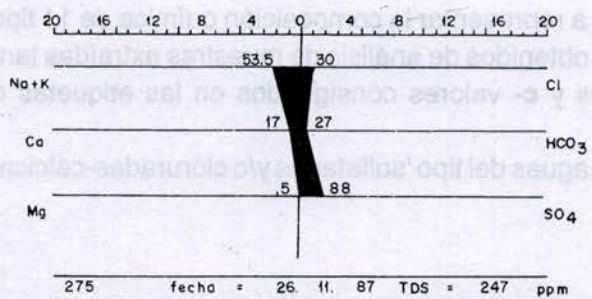
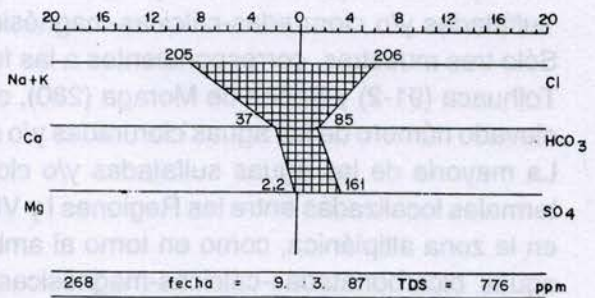
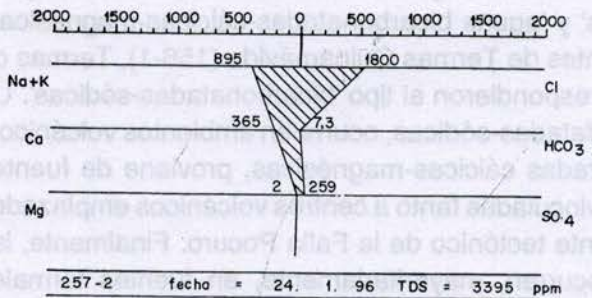
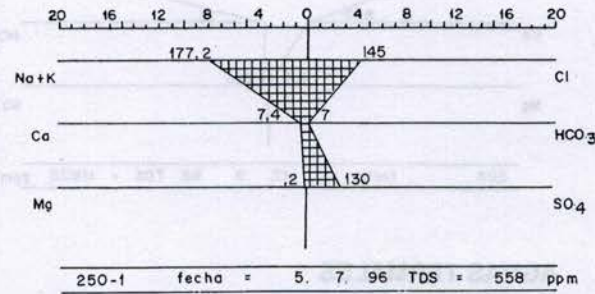
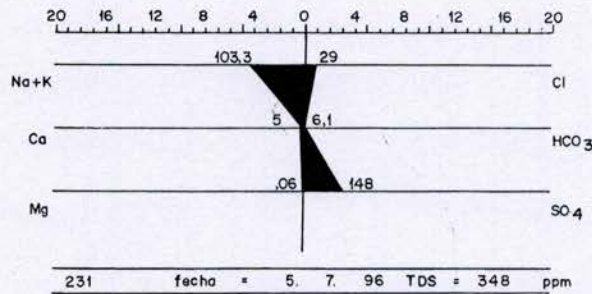
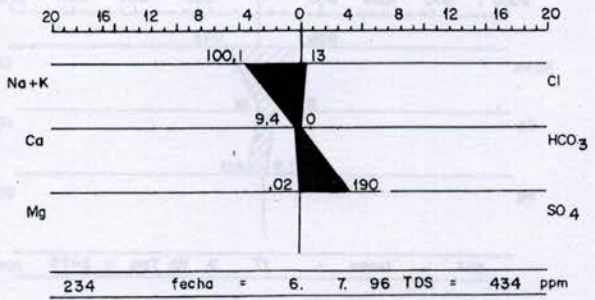
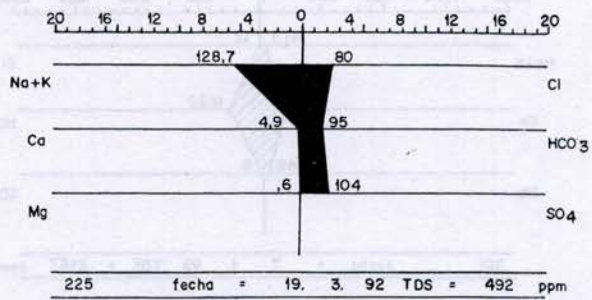
(continuación de la figura 16)



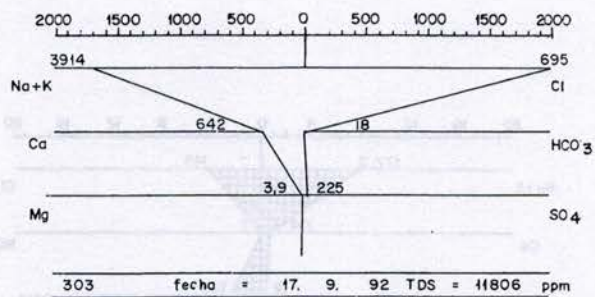
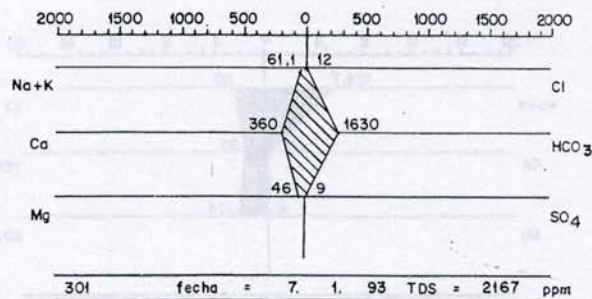
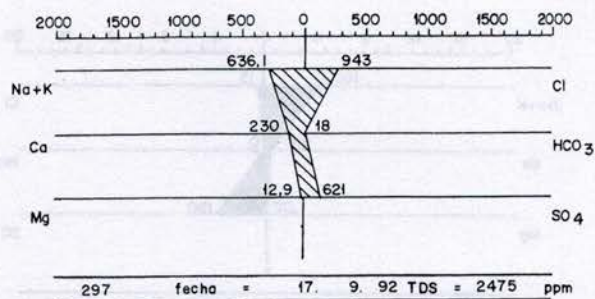
(continuación de la figura 16)



(continuación de la figura 16)



(continuación de la figura 16)



## AGUAS TERMALES

La composición química de 51 muestras de aguas termales chilenas fueron graficadas utilizando el diagrama de clasificación de aguas de Piper (Fig. 17). Un número mayoritario de ellas correspondió al tipo 'cloruradas y/o sulfatadas-sódicas'; le siguen, en orden de importancia, aguas 'sulfatadas y/o cloruradas-cálcicas-magnésicas' y 'aguas bicarbonatadas-cálcicas-magnésicas'. Sólo tres muestras, correspondientes a las fuentes de Termas Quinamávida (156-1), Termas de Tolhuaca (91-2) y Baños de Moraga (280), correspondieron al tipo 'bicarbonatadas-sódicas'. Un elevado número de las aguas cloruradas y/o sulfatadas-sódicas, ocurre en ambientes volcánicos. La mayoría de las aguas sulfatadas y/o cloruradas cálcicas-magnésicas, proviene de fuentes termales localizadas entre las Regiones I y VII, vinculadas tanto a centros volcánicos emplazados en la zona altiplánica, como en torno al ambiente tectónico de la Falla Pucuro. Finalmente, las aguas bicarbonatadas-cálcicas-magnésicas, ocurren, mayoritariamente, en fuentes termales ubicadas en las zonas preandina y andina entre las Regiones Metropolitana y XII.

## AGUAS MINERALES

Utilizando el diagrama de Piper, se procedió a representar la composición química de 11 tipos de aguas minerales chilenas, a partir de valores obtenidos de análisis de muestras extraídas tanto desde: **a-** fuentes; **b-** envases comercializados y **c-** valores consignados en las etiquetas de envases comercializados (Tabla 3).

Del diagrama se desprende que dominan las aguas del tipo 'sulfatadas y/o cloruradas-cálcicas-magnésicas' (Fig. 18 y Tabla 2, Anexo I).

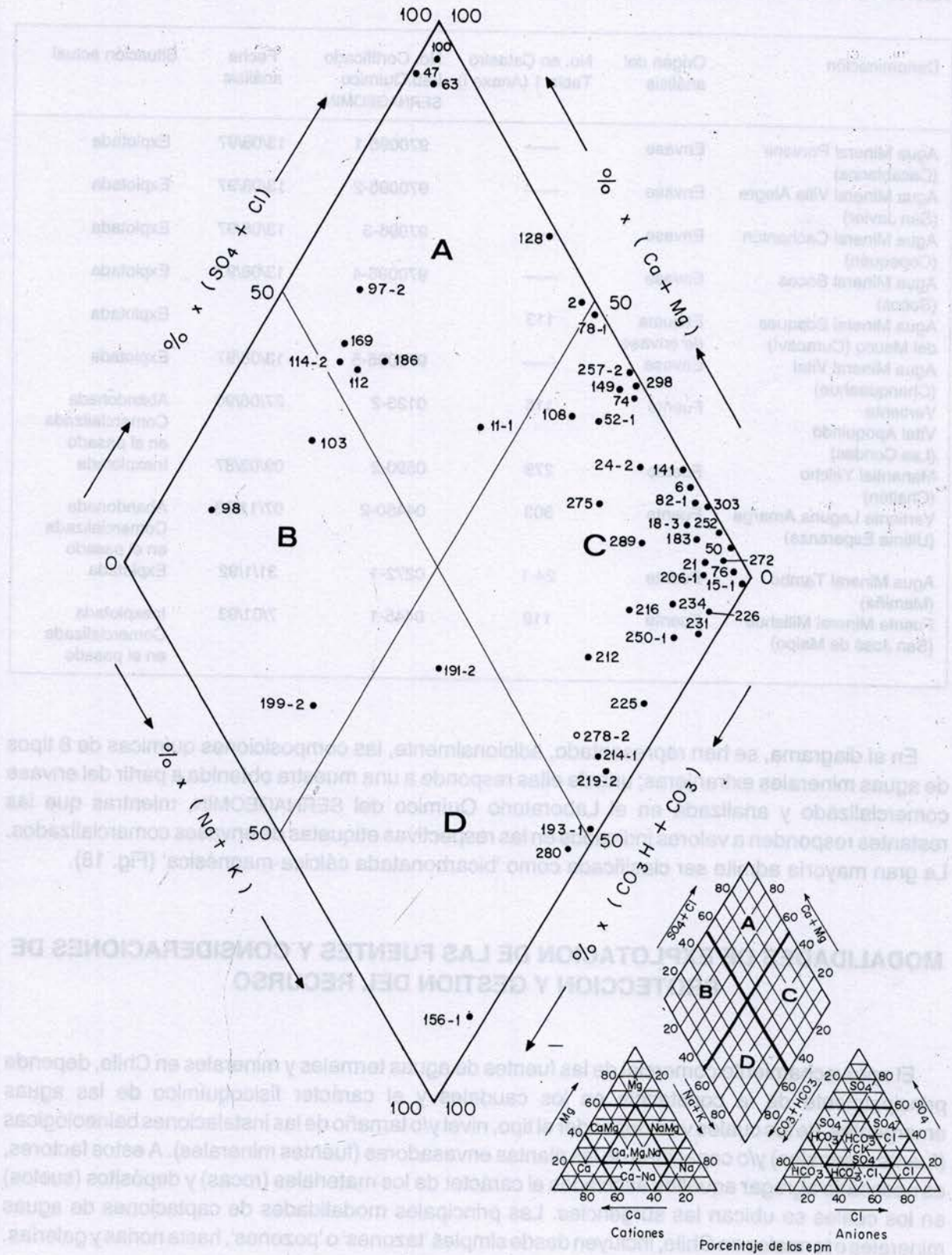


FIG. 17. Diagrama de Piper, para la clasificación de aguas, correspondiente a 51 muestras representativas de aguas termales chilenas. **A-** aguas sulfatadas y/o cloruradas-cálcicas-magnésicas; **B-** aguas bicarbonatadas-cálcicas-magnésicas; **C-** aguas cloruradas y/o sulfatadas-sódicas; **D-** aguas bicarbonatadas-sódicas.

TABLA 3. ANALISIS QUIMICOS DE AGUAS MINERALES CHILENAS.

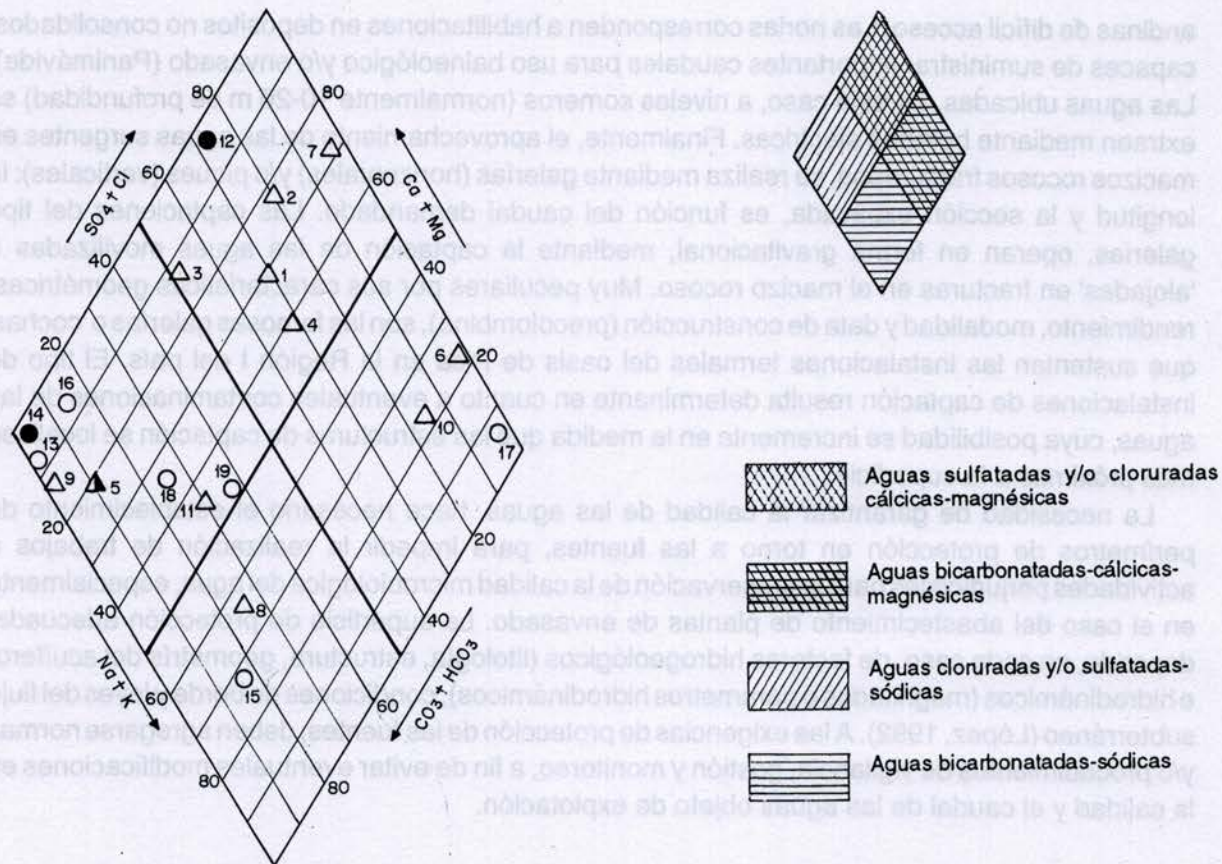
Denominación	Origen del análisis	No. en Catastro Tabla 1 (Anexo I)	No. Certificado Lab. Químico SERNAGEOMIN	Fecha análisis	Situación actual
Agua Mineral Porvenir (Casablanca)	Envase	—	970096-1	13/08/97	Explotada
Agua Mineral Villa Alegre (San Javier)	Envase	—	970096-2	13/08/97	Explotada
Agua Mineral Cachantún (Copequén)	Envase	—	97096-3	13/08/97	Explotada
Agua Mineral Socos (Socos)	Envase	—	970096-4	13/08/97	Explotada
Agua Mineral Bosques del Mauco (Curacaví)	Etiqueta de envase	113			Explotada
Agua Mineral Vital (Chanqueahue)	Envase	—	970096-5	13/08/97	Explotada
Vertiente Vital Apoquindo (Las Condes)	Fuente	115	0123-2	27/06/90	Abandonada Comercializada en el pasado
Manantial Yelcho (Chaitén)	Fuente	279	0590-2	09/03/87	Inexplotada
Vertiente Laguna Amarga (Ultima Esperanza)	Fuente	303	04450-2	07/11/93	Abandonada Comercializada en el pasado
Agua Mineral Tambo (Mamiña)	Fuente	24-1	0272-1	31/1/92	Explotada
Fuente Mineral Millahue (San José de Maipo)	Fuente	119	0445-1	7/01/93	Inexplotada Comercializada en el pasado

En el diagrama, se han representado, adicionalmente, las composiciones químicas de 8 tipos de aguas minerales extranjeras; una de ellas responde a una muestra obtenida a partir del envase comercializado y analizada en el Laboratorio Químico del SERNAGEOMIN, mientras que las restantes responden a valores indicados en las respectivas etiquetas de envases comercializados. La gran mayoría admite ser clasificada como 'bicarbonatada cálcica-magnésica' (Fig. 18).

### MODALIDADES DE EXPLOTACION DE LAS FUENTES Y CONSIDERACIONES DE PROTECCION Y GESTION DEL RECURSO

El aprovechamiento comercial de las fuentes de aguas termales y minerales en Chile, depende principalmente de la constancia en los caudales y el carácter fisicoquímico de las aguas emergentes, de los cuales va a depender el tipo, nivel y/o tamaño de las instalaciones balneológicas (fuentes termales) y/o capacidad de las plantas envasadoras (fuentes minerales). A estos factores, es necesario agregar aquéllos asociados al carácter de los materiales (rocas) y depósitos (suelos) en los cuales se ubican las surgencias. Las principales modalidades de captaciones de aguas minerales o termales en Chile, incluyen desde simples 'tazones' o 'pozones', hasta norias y galerías. Los 'tazones' corresponden a habilitaciones, tanto en suelo como en roca, para extraer modestos caudales, a los cuales, normalmente, se asocian rústicas instalaciones termales, en torno a fuentes





▲▲▲ Aguas minerales chilenas

- △ Aguas minerales chilenas con análisis químicos realizados en el Laboratorio del SERNAGEOMIN a partir de muestras tomadas desde envases.
- △ Aguas minerales chilenas con análisis químicos indicados en envases.
- △ Aguas minerales chilenas con análisis realizados en el Laboratorio del SERNAGEOMIN a partir de muestras tomadas en fuentes.

●○ Aguas minerales extranjeras.

- Aguas minerales extranjeras con análisis químicos realizados en el Laboratorio del SERNAGEOMIN a partir de muestras tomadas desde envases.
- Aguas minerales extranjeras con análisis químicos indicados en envases.

Aguas minerales chilenas

- △ 1- Agua mineral 'Porvenir' (Casablanca)
- △ 2- Agua mineral 'Villa Alegre' (San Javier)
- △ 3- Agua mineral 'Cachantún' (Copequén)
- △ 4- Agua mineral 'Socos' (Socos)
- ▲ 5- Agua mineral 'Bosques del Mauco' (Curacaví)
- △ 6- Agua mineral 'Vital' (Chanqueahue)
- △ 7- Vertiente Vital de Apoquindo (Las Condes)
- △ 8- Manantial Yelcho
- △ 9- Vertiente Laguna Amarga
- △ 10- Agua mineral 'Tambo' (Mamiña)
- △ 11- Fuente mineral Millahue (San José de Maipo)

Aguas minerales extranjeras

- 12- Agua mineral 'Perrier' (Francia)
- 13- Agua mineral 'Naya' (Canadá)
- 14- Agua mineral 'Evian' (Francia)
- 15- Agua mineral 'Mondariz' (España)
- 16- Agua mineral 'Zagori' (Grecia)
- 17- Agua mineral 'Manera' (Argentina)
- 18- Agua mineral 'Volvic' (Francia)
- 19- Agua mineral 'Sadi All' (Marruecos)

FIG.18. Diagrama de Piper, para la clasificación de aguas, correspondientes a muestras representativas de aguas minerales chilenas y extranjeras.

andinas de difícil acceso. Las norias corresponden a habilitaciones en depósitos no consolidados, capaces de suministrar importantes caudales para uso balneológico y/o envasado (Panimávida). Las aguas ubicadas, en este caso, a niveles someros (normalmente 10-20 m de profundidad) se extraen mediante bombas eléctricas. Finalmente, el aprovechamiento de las aguas surgentes en macizos rocosos fracturados, se realiza mediante galerías (horizontales) y/o piques (verticales); la longitud y la sección excavada, es función del caudal demandado. Las captaciones del tipo galerías, operan en forma gravitacional, mediante la captación de las aguas movilizadas o 'alojadas' en fracturas en el macizo rocoso. Muy peculiares por sus características geométricas, rendimiento, modalidad y data de construcción (precolombina), son las famosas galerías o 'cochas' que sustentan las instalaciones termales del oasis de Pica en la Región I del país. El tipo de instalaciones de captación resulta determinante en cuanto a eventuales contaminaciones de las aguas, cuya posibilidad se incrementa en la medida que las estructuras de captación se localicen más próximas a la superficie.

La necesidad de garantizar la calidad de las aguas, hace necesario el establecimiento de perímetros de protección en torno a las fuentes, para impedir la realización de trabajos o actividades perjudiciales para la preservación de la calidad microbiológica del agua, especialmente en el caso del abastecimiento de plantas de envasado. La superficie de protección adecuada, depende, en cada caso, de factores hidrogeológicos (litología, estructura, geometría del acuífero) e hidrodinámicos (magnitudes o parámetros hidrodinámicos), condiciones de borde y leyes del flujo subterráneo (López, 1992). A las exigencias de protección de las fuentes, deben agregarse normas y/o procedimientos de vigilancia, gestión y monitoreo, a fin de evitar eventuales modificaciones en la calidad y el caudal de las aguas objeto de explotación.

## **APROVECHAMIENTO DE LAS AGUAS TERMALES Y MINERALES EN CHILE**

### **CONSIDERACIONES GENERALES**

El valor económico de las fuentes de aguas termales y/o minerales, está ligado a la capacidad que poseen los países para desarrollar políticas de aprovechamiento, tanto mediante la instalación de recintos balneológicos, como por la construcción de plantas de proceso y envasado. En la actualidad, alrededor de 56 fuentes termales chilenas son objeto de algún tipo de aprovechamiento comercial, incluyendo establecimientos hoteleros de diversa categoría. Una gran mayoría de los establecimientos termales chilenos corresponde a inversiones familiares, debiendo los propietarios, en muchos casos, luchar duramente por mantener o valorar una actividad económica, que no siempre la comunidad, ni el Estado, han sabido reconocer, proteger e incentivar. La carencia de adecuadas vías de acceso, obliga a numerosos propietarios de fuentes termales a comprometer importantes y permanentes recursos financieros en costosas instalaciones hoteleras, junto a equipos para diversos tratamientos y personal especializado.

El atractivo, en términos de la concurrencia de personas, en busca de un ambiente de reconocida tranquilidad y/o cura termal, tiene directa relación con una serie de factores:

- a-** reconocidas y aceptadas bondades terapéuticas de las aguas
- b-** belleza paisajística del lugar
- c-** proximidad a centros urbanos mayores
- d-** calidad de las vías de acceso

La viabilidad, en términos económicos, para materializar el efectivo aprovechamiento de las fuentes de aguas minerales, radica en: **a-** seguridad o permanencia del caudal en el tiempo (caudal perenne) y **b-** constancia en sus propiedades fisicoquímicas. Para las aguas termales, ambas exigencias resultan determinantes, adicionando una constancia en la temperatura de las aguas, en sus respectivos puntos de surgencia.

## AGUAS TERMALES

### SITUACION MUNDIAL

El aprovechamiento de las fuentes de aguas termales, a nivel mundial, se remonta a la cultura romana. En momentos en que el Imperio ejercía su dominio sobre gran parte de Europa (800 a AC), los romanos se transformaron en verdaderos adoradores de las fuentes termales, del momento que reconocieron en ellas una serie de virtudes terapéuticas. Este carácter, los incentivó a realizar grandes obras destinadas a la captación y conducción de las aguas, junto a la habilitación de instalaciones para su aprovechamiento; muchas de ellas aún persisten en los alrededores de Roma, en Italia y Bath, al oeste de Londres, en Inglaterra. En la actualidad, la explotación de fuentes termales se ha transformado, en algunos casos, en una actividad de gran desarrollo. Baste señalar que en 1971, 15 millones de personas fueron tratadas en 200 centros termales ('clínicas') en Italia; en Rusia, anualmente, más de 10 millones de personas son tratadas con aguas termales, mientras que en Japón cerca de 100 millones de personas acuden anualmente a 1.500 hoteles con instalaciones termales (Armstead, 1987). Solamente a las fuentes termales del Parque Nacional Fuji-Hakone-Izu, acuden, anualmente, 20 millones de visitantes (Ota *et al.*, 1990).

En la ex-república de Checoslovaquia existen 52 centros balneológicos con aguas minerales y más de 1.900 vertientes con aguas minerales termales, a los cuales cada año acuden gratuitamente, por tres semanas, alrededor de 220.000 personas, financiadas por un fondo nacional de salud. En los Estados Unidos, los ingresos anuales de los centros balneológicos termales totalizan anualmente cifras cercanas a los US\$10.000 millones, mientras que en Japón tales cifras bordean anualmente los US\$ 6.000 millones (Lund, 1996).

### SITUACION CHILENA

Existen antecedentes documentados que indican que algunas de nuestras fuentes termales localizadas en la zona central, fueron objeto de reconocimiento y/o uso, tanto por ilustres patriotas como por científicos y/o naturalistas, hacia los inicios y mediados del siglo pasado: C. Darwin (Termas de Jahuel), B. O'Higgins (Termas de Cauquenes), I. Domeyko (Baños de Apoquindo). Desde esa época a la actualidad, el aprovechamiento de las fuentes termales ha experimentado un lento crecimiento, materializado a través de la instalación de una serie de establecimientos balneológicos. Un porcentaje importante de ellos, incluyendo las obras de mayor tamaño y comodidad, se construyó a comienzos del presente siglo, incluyendo las instalaciones de Pica, Jahuel, Cauquenes, Quinamávida, Panimávida, Catillo, Manzanar, Palguín y Puyehue. Es, en estos establecimientos, que aún se sustenta la mayor parte de la incipiente tradición y cultura termal chilena. El insuficiente desarrollo de la actividad se debe, principalmente, a una carencia de hábitos termales que desincentiva el desarrollo balneológico y el turismo termal. La marcada estacionalidad de la actividad, junto a la falta de inversiones, se traduce en instalaciones hoteleras insuficientes para incentivar la demanda. A pesar de ello, durante las dos últimas décadas, se han efectuado interesantes esfuerzos de inversión destinados a readecuar y mejorar la infraestructura hotelera de

algunas fuentes antiguas, tanto como a desarrollar nuevos aprovechamientos. Este ha sido el caso de las termas de Chillán, Quinamávica, Cauquenes, Puyehue, Aguas Calientes, Puyuguapi, Huife, Coñaripe, El Amarillo y Quitralco, entre otras.

Las principales fuentes termales chilenas que en la actualidad poseen instalaciones de hotelería se indican en la tabla 4.

**TABLA 4. PRINCIPALES FUENTES TERMALES CHILENAS CON INSTALACIONES DE HOTELERIA.**

Fuente	Ubicación
Chusmisa (Fig. 19)	Región I
Mamiña	Región I
Pica (Fig. 20)	Región I
Socos	Región IV
Jahuel	Región V
El Corazón	Región V
Baños Morales	Región Metropolitana
Colina-Peldehue	Región Metropolitana
Colina	Región Metropolitana
Cauquenes	Región VI
El Flaco (Fig. 21)	Región VI
Panimávica	Región VII
Quinamávica	Región VII
Catillo	Región VII
Chillán	Región VIII
Pemehue	Región IX
Tolhuaca	Región IX
Copahue	Región IX
Río Blanco	Región IX
Manzanar	Región IX
Palguín	Región IX
Huife	Región IX
Minetué	Región IX
San Luis	Región IX
Pellaifa o Coñaripe	Región IX
Liquiñe	Región X
Puyehue	Región X
Aguas Calientes	Región X
Llancahue	Región X
El Amarillo (Fig. 22)	Región X
Puyuguapi	Región XI
Quitralco	Región XI

## AGUAS MINERALES

### SITUACION MUNDIAL

El aprecio del valor terapéutico del agua mineral es de larga data; griegos y romanos fueron los primeros en establecer sus cualidades medicinales. El agua mineral envasada se ha transformado en la 'bebida saludable de nuestro tiempo'. La comercialización de agua mineral en Europa, constituye una actividad que se inició hace aproximadamente 300 años, con un mercado que, en la actualidad, sobrepasa los 400 millones de clientes (Frick, 1993, *in* Alfaro y Wallace, 1994). Francia lidera la producción, consumo y exportación de agua mineral. En lo referente a la comercialización del agua mineral, existe, sin embargo, una diferencia conceptual entre algunos



FIG. 19. Vista panorámica de Baños de Chusmisa, Región I.



FIG. 20. 'Cocha' o galería precolombina excavada en roca, destinada a la extracción de aguas termales, Pica, Región I.



FIG. 21. Vista aérea de termas de El Flaco, Región VI. Se observa control estructural por falla.



FIG. 22. Punto de alumbramiento de aguas en termas El Amarillo, Región X.

países europeos y los EE.UU. En Europa, se pone un marcado énfasis en que el producto sea envasado en su fuente de origen, como el vino, asumiendo que el agua de cada fuente posee beneficios terapéuticos, únicos y específicos. En los EE.UU., en cambio, la demanda se centra en el deseo de consumir un líquido placentero, puro y sin contaminación, independientemente de su origen. En algunos países como Alemania, Austria, España y Portugal, los hábitos alimenticios asocian el consumo de agua mineral, como un suplemento del vino. Italia es uno de los países que dispone del mayor número de fuentes con aguas minerales; como resultado de ello, prácticamente cada región cuenta con, al menos, una planta de envasado. La atracción del recurso se manifiesta en que ésta ha pasado a constituirse, igual que en Francia (aguas minerales Perrier, Evian y Vitel), en un 'patrimonio natural' del país. Su explotación comercial, se efectúa a través de concesiones otorgadas por el Estado.

El gran incremento registrado en el consumo de agua mineral en el mundo, se comprueba por el hecho que sólo en los EE.UU. se produjo un aumento de la producción y embotellamiento desde 4.470.000.000 de litros en 1987 a 8.300.000.000 de litros en 1990, representando la producción de 225 plantas de envasado (Geochronique, 1995). El consumo per cápita pasó de 5,7 litro/habitante/año en 1976 a 33,3 litro/habitante/año en 1991 (Geotimes, 1993). Estos valores son, sin embargo, menores que el consumo anual de agua mineral en España, que es de 50 litros por habitante (similar al de California, EE.UU.) con ascensos a partir de 1985 a un ritmo promedio de 200 millones litro/año (Instituto Tecnológico GeoMinero de España, 1991).

El consumo es aún mayor en Alemania y Francia donde alcanza los 80 litros por habitante/año. Sugerente resulta constatar que en España, el tercer país productor de vinos en el mundo, los españoles en 1989 bebieron más agua mineral que vino. El consumo per cápita europeo de aguas envasadas, supera al del vino (64 litros, *versus* 40,8 litros de vino por habitante/año (Pérez-Díaz, 1992). Según la Asociación Japonesa de Agua Mineral, en 1992 se consumieron en Japón 345 millones de litros de agua mineral; a esa fecha, el producto costaba 2.000 veces más que el agua potable (Sasaki, 1994). Actualmente, se venden en Japón más de 200 marcas de agua mineral, tanto nacionales como importadas, alcanzando ventas cercanas a los US\$ 450 millones anuales.

De acuerdo a datos proporcionados por Fernández y Cruz (1993, p. 89), la producción de agua mineral de 11 países europeos (Alemania, Austria, Bélgica, España, Francia, Holanda, Irlanda, Italia, Portugal, Reino Unido y Suiza), totalizó 22.406 millones de litros en 1992; de ellos, el 29% (6.500 millones de litros), corresponde a Alemania; Francia produjo 6.315 millones de litros en igual período. De acuerdo con estos valores, la producción anual de Chile, representa tan sólo el 1,5% de la producción anual de Alemania.

El consumo per cápita de Portugal (con una población de 25.000.000 de habitantes) es de 29,0 litro/habitante/año; durante 1992, la industria portuguesa de envasado de agua mineral dio empleo a 1.814 personas (Fernández y Cruz, 1993).

## SITUACION CHILENA

El aprovechamiento de las fuentes de aguas minerales para uso de bebidas de mesa, se vincula entre otros factores con: **a-** calidad y estabilidad fisicoquímica, biológica y radiactiva de las aguas, **b-** persistencia en el tiempo de estas propiedades y sus respectivos caudales y **c-** proximidad a eventuales centros de consumo.

Los puntos de alumbramiento de las fuentes de aguas minerales chilenas adquieren, en términos de caudales, variadas modalidades en el tiempo: **a-** constantes o perennes; **b-** esporádicas y **c-** intermitentes. La totalidad de ellas, tiene directa relación con variaciones estacionales en el régimen climático, particularmente en lo referente a los montos de precipitaciones pluviales

y nivales. Como consecuencia de ello, las fuentes situadas tanto en torno a las cabeceras de hoyas hidrográficas andinas, sobre los 2.800 m s.n.m., entre los 32° y 42°S, como todas aquéllas ubicadas entre los 42° y 54°S registran las mayores 'producciones', con escasas variaciones a lo largo del año. Notables modificaciones de caudal registran las fuentes localizadas en la zona altiplánica de las Regiones I y II, como resultado de descensos interanuales en el monto de la precipitación pluvial; este hecho, permite vincular las aguas alumbradas a un origen predominantemente meteórico.

**TABLA 5. FUENTES DE AGUAS MINERALES CHILENAS QUE EN LA ACTUALIDAD CUENTAN CON PLANTAS ENVASADORAS.**

Fuente	Región	Denominación
Mamiña	I	Mamiña
Chusmisa	I	Chusmisa
Socos	IV	Socos
Porvenir	V	Porvenir
Valle Los Naranjos*	V	Bosques del Mauco
Chanqueahue	VI	Vital
El Edén**	VI	El Edén
Copequén	VI	Cachantún
Pichiboque	VII	Villa Alegre
Rari (Quinamávida)	VII	Rari
Panimávida	VII	Panimávida

\* No figura en la Tabla 1 (Anexo I). Se ubica 10 km al N de la localidad de Curacaví, Región V.

\*\* No figura en la Tabla 1 (Anexo I). Se ubica a 4 km al N de la localidad de Pelequén, Región VI.

**TABLA 6. FUENTES DE AGUAS MINERALES CHILENAS QUE EN EL PASADO DISPONIAN DE PLANTAS ENVASADORAS.**

Fuente	Región	Denominación
Jahuel	V	Jahuel
Llolleo	V	Sorrento
Millahue	XIII	Millahue
Tanguao	VI	Tanguao
Puyehue	X	Puyehue
Laguna Amarga	XII	---

En el lugar conocido como La Cartuja, al oriente de San Francisco de Mostazal, Región VI, se está desarrollando un proyecto destinado a la instalación de una moderna planta de envasado de agua mineral, aprovechando la existencia de una serie de vertientes; las aguas en referencia, cuentan con la Declaración de Fuente Curativa, desde hace 67 años.

El Instituto Nacional de Estadísticas (INE) (1994, *in letteris*), informa que la producción de agua mineral en Chile, durante el año 1989, fue de 77.047.000 litros. Esta habría experimentado un leve aumento hasta alcanzar, durante 1996, aproximadamente 85.000.000 de litros; ello determina un consumo de aproximadamente 7,0 litro/habitante/año. El agua denominada 'Cachantún', participa-



ría del 80% de la producción anual. En la actualidad, en Chile, las fuentes de aguas minerales que se indican, son objeto de aprovechamiento mediante plantas envasadoras (Tabla 5). La tabla 6 detalla las fuentes cuyas aguas, en el pasado, disponían de plantas envasadoras.

Algunas fuentes son o han sido objeto de un doble aprovechamiento de las aguas, incluyendo fines balneológicos junto a su comercialización, vía envasado. En la actualidad, este tipo de uso del agua ocurre en las fuentes de Chusmisa, Mamiña, Socos, Panimávida y Quinamávida. En el pasado, esta modalidad de aprovechamiento ocurrió en las fuentes de Jahuel, Tanguao, Rari y Puyehue. Resulta interesante constatar que en Chile existe una creciente demanda de agua mineral, con gran competencia frente a determinadas bebidas refrescantes no alcohólicas. Una fuerte motivación del consumo de agua mineral ha sido consecuencia de campañas publicitarias. Estas se basan en propuestas publicitarias que destacan virtudes tales como: 'bebida natural', 'envasada en su punto de origen', 'pureza garantizada', 'exenta de tratamiento', 'beneficiosa para la salud', 'sustituto de bebida alcohólica', que finalmente fomentan y/o incentivan los hábitos de consumo de agua mineral. La marcada concentración productiva de agua mineral en pocas empresas, restringe la demanda marginal sólo a pequeños productores regionales cuyo mercado es muy reducido.

De acuerdo a indicadores de Comercio Exterior del Banco Central de Chile, se registran importaciones de aguas minerales desde Perú, Argentina, EE.UU., Reino Unido y Francia; durante el año 1996 tales importaciones totalizaron US\$ 200.000 (valor CIF), correspondiente a 338.012 litros, equivalentes a tan sólo el 0,40% de la producción anual chilena de agua mineral, mientras que los valores acumulados al mes de julio de 1997, totalizaron US\$ 224.000.

En Chile, el agua mineral alcanza un valor de US\$ 1,0 a US\$1,10 el litro, mientras que el mismo producto importado desde Francia, Alemania o Canadá, tiene un valor de US\$ 2,65 a 2,85 el litro. Mientras tanto, en la comuna de Las Condes, Región Metropolitana, el agua potable tiene un valor aproximado de US\$ 0,00033 el litro o \$ 0,14 el litro; esto es, el agua potable es aproximadamente 3.300 veces más barata que el agua mineral chilena.

## CONCLUSIONES

El estudio y catastro realizados, permitió detectar la existencia, en el territorio chileno, de un total de 304 fuentes, de las cuales 244 corresponden al tipo termal, 46 al mineral y 14 a mixtas. La surgencia de aguas termales está relacionada, predominantemente, a la actividad volcánica reciente o a fallas regionales, tales como la Falla Pucuro en la zona preandina de las Regiones V y Metropolitana y la Falla Liquiñe-Ofqui, entre los 38° y 42°S; segmento donde se ubica el 30% del total de las fuentes catastradas. Las aguas involucradas en los sistemas geotermales tendrían, mayoritariamente, un origen meteórico, aportadas tanto por lluvias, como por la ablación de nieves y hielo, acumulado en las altas cumbres andinas.

Las mayores temperaturas en los puntos de surgencia, ocurren en fuentes de la zona altiplánica de las Regiones I y II, tales como Jurase, Surire o Polloquere, Pampa Lirima, Puchuldiza y El Tatio. Las elevadas gradientes termales de esta zona, han incentivado una serie de prospecciones destinadas a determinar eventuales aprovechamientos económicos bajo la forma de centrales eléctricas geotérmicas. En la zona sur del territorio, las mayores gradientes geotérmicas se asocian a los centros volcánicos Nevados de Chillán y al cordón volcánico Caulle-Puyehue y Península de Tres Montes, en torno al Punto Triple de contacto entre las placas de Nazca, Sudamericana y Antártica. Campañas de exploración en relación con la prospección de petróleo, agua subterránea o minera, han permitido detectar en subsuperficie, la presencia de fuentes calóricas de baja

entalpía, tales como el sector de El Zurdo (alrededores de Laguna Blanca, Región XII), El Noviciado-Rinconada de Lo Aguirre (Región Metropolitana) y el yacimiento Río Blanco (División Andina) (Región V).

El carácter químico de las aguas termales y minerales chilenas, se vincularía a procesos de disolución de los minerales alojados en las respectivas rocas huéspedes, en ambientes profundos presurizados, provistos de elevadas temperaturas. Entre las aguas termales predominan aquéllas correspondientes a los tipos cloruradas y/o sulfatadas sódicas; le siguen aquéllas del tipo sulfatadas y/o cloruradas-cálcicas-magnésicas y bicarbonatadas-cálcicas-magnésicas. Un número mayoritario de las aguas minerales chilenas corresponde al tipo sulfatadas y/o cloruradas-cálcicas-magnésicas y bicarbonatadas-cálcicas-magnésicas.

Entre las primeras, se encuentran algunas que presentan claras afinidades químicas con afamadas aguas minerales europeas. Concentraciones extraordinariamente altas de Na (15.000 mg/l) y K (1.780 mg/l) se registraron en las aguas termales de San Pedro o Teno, donde también se registraron los valores más altos de Ca (2.240 mg/l). Valores muy altos de Ca (1.960 mg/l) ocurren en los Baños de Campanario. En los Baños de Las Sopas 2, se detectaron contenidos de Fe de 119 mg/l. Altas concentraciones de Si (373-380 mg/l), ocurren en las fuentes termales de Jahuel y Las Sopas 2. Los valores más altos de B (129 mg/l) se obtuvieron en muestras de los géiseres El Tatio. Aguas provenientes de los Baños de Laguna Rosa, dieron concentraciones de 28,6 mg/l de Li. En los Baños de Polloquere o Surire, las concentraciones de As alcanzaron niveles extraordinariamente elevados, con 200 mg/l. Concentraciones muy altas de cloruros, se detectaron en Baños de Salinillas (30.330 mg/l) y en las termas de San Pedro o Teno (26.700 mg/l).

Aguas correspondientes a los Baños de Salinillas, dieron valores muy altos de sulfatos (2.300 mg/l). En muestras de las aguas termales de Baños Morales se obtuvieron concentraciones de 1.412 mg/l de carbonatos. Concentraciones de 440 mg/l de anhídrido carbónico se detectaron en aguas de la fuente de Cancosa. Las aguas más ácidas, con pH variable, entre 2,1 y 2,5, ocurren en Baños Las Sopas y vertiente termal Las Azufreras, mientras que las más básicas (pH de 9,8 y 9,5) se registraron en aguas provenientes de Termas de Socos y Baños de Nitrao. Altas concentraciones de Fe y bicarbonatos se detectaron en aguas minerales del Manantial Yelcho.

En la actualidad, 56 fuentes termales son objeto de algún tipo de aprovechamiento, el que varía desde la excavación de simples 'tazones' en torno a los puntos de surgencia, hasta estructuras de captación y aprovechamiento, acompañadas de infraestructura hotelera de diverso nivel. En 11 fuentes de aguas minerales se dispone de plantas de envasado para uso de mesa o bebida. Los actuales niveles de producción en este rubro se sitúan en el rango de 80 a 85 millones de litros anuales, originando un consumo medio para Chile de 7,0 litro/habitante/año, muy por debajo del promedio europeo, de 50 litro/habitante/año, aunque en los últimos años se ha detectado una demanda creciente por agua mineral envasada.

## RECOMENDACIONES

Como ya se ha indicado, en Chile no existe una efectiva cultura termal; situación que desincentiva las inversiones dedicadas al mejoramiento en los establecimientos balneológicos existentes, o a la valoración de fuentes termales inexploradas. La actual legislación, referente a los procedimientos administrativos y sanitarios, se sustenta en normativas muy antiguas, que requieren de una pronta actualización para incentivar el desarrollo de proyectos de inversión destinados a materializar nuevos aprovechamientos del recurso.

Aceptado el hecho que los tratamientos aplicados en centros balneológicos o termales, coadyuvan a la rehabilitación de personas que acusan diversos males, una de las medidas para fortalecer la actividad termal en Chile, podría ser su incorporación a los beneficios de la Medicina Preventiva. Numerosas fuentes termales situadas en lugares de especial belleza escénica, permanecen inexploradas por dificultades de acceso. No cabe ninguna duda que el mejoramiento de la infraestructura vial, contribuiría, en gran medida, a incentivar nuevas inversiones destinadas al aprovechamiento del recurso termal chileno, incluyendo modalidades aún no experimentadas en el país. Hay que mencionar, por ejemplo, que en países escandinavos (Finlandia, Noruega, Suecia), Alemania y algunas pequeñas repúblicas de la ex-Unión Soviética (Estonia, Lituania, Bielorrusia), se han desarrollado lucrativas instalaciones balneológicas, destinadas a tratamientos terapéuticos, mediante la combinación de aguas termales y la aplicación de barros orgánicos (turba) (Korhonen y Luttig, 1996; Luttig y Solovieva 1996; Lappalainen, 1996). La común presencia de ambos elementos en diversos puntos en torno al Camino Longitudinal Austral, en la Región XI, sugiere la posibilidad de materializar este tipo de aprovechamiento en esa zona de país.

En los planes de ordenamiento territorial, los sitios con manifestaciones de aguas minerales o termales, deberían ser objeto de cuidadosos procedimientos de protección, considerando que, en el pasado, inadecuadas prácticas antrópicas han causado la desaparición de fuentes que fueron activamente utilizadas en zonas en o muy próximas a importantes centros urbanos. Estas fuentes 'desaparecidas', tanto por eventos naturales (remociones en masa, cambios climáticos, modificaciones en los padrones de escurrimiento), como por el desarrollo urbano (caso de Mejillones, Aucó, La Totorá, Chacabuco, Apoquindo, Peñalolén, Talcahuano, Quinchao, Queulat, etc.), podrían ser 'reactivadas', para destino balneológico. La realización de estudios geológicos y geofísicos, acompañados de eventuales sondajes, podría contribuir a evaluar esta interesante alternativa. Los aprovechamientos pueden, incluso recurrir a la extracción forzada del agua, a partir de pozos perforados, alternativa que resultaría válida tanto frente a proyectos de 'reactivación' de antiguas fuentes, como a la explotación de fuentes que registran fluctuaciones importantes en sus caudales. La inesperada y casual identificación de fuentes calóricas de baja entalpía, incluso en la Región Metropolitana, debería impulsar la ejecución de nuevos estudios de detalle, a objeto de evaluar eventuales alternativas de aprovechamiento comercial. Estas actividades se realizan con singular éxito en Europa, donde sistemas de este tipo son utilizados en proyectos de calefacción central, generación de frío y secado de productos frutícolas.

El catastro efectuado ha permitido determinar que numerosas fuentes de aguas minerales chilenas, poseen características químicas similares a aguas minerales que son objeto de intenso aprovechamiento industrial en países con una prolongada y reconocida tradición sobre la materia, tales como los Estados Unidos, Francia, Italia, Alemania. La factibilidad de materializar nuevos proyectos de aprovechamiento de este recurso en Chile, exigirá estudios detallados, de las variaciones temporales, tanto de los caudales, como de las características fisicoquímicas de las fuentes. Por último, se debe señalar que el conocimiento de las manifestaciones termales constituye el punto inicial para la exploración y cuantificación de sistemas geotérmicos, capaces de sustentar proyectos de aprovechamiento energético. En este sentido y fuera de los sitios ya conocidos, ubicados en la zona altiplánica de las Regiones I y II, surgen preliminarmente como atractivas, las fuentes termales ubicadas en torno al volcán Nevados de Chillán y del cordón volcánico Cautín-Puyehue. La realización de estudios de detalle en esos sitios, permitiría comprobar este supuesto. A la presencia, en ambas zonas, de elevadas gradientes geotérmicas, se une la existencia de voluminosos edificios o campos volcánicos, eventualmente asociados a efectivas vías para el almacenamiento y circulación presurizada de aguas y vapor a elevadas temperaturas.

## AGRADECIMIENTOS

El autor deja expresa constancia de sus agradecimientos a numerosas personas, colegas e instituciones, sin cuya participación el presente estudio no se hubiese podido realizar. Un especial reconocimiento merecen los editores geólogos C. Mpodozis (SERNAGEOMIN), G. Díaz Del Río (Ingeniería y Geología Dos Ltda.) y J. Rojas (ENAP), quienes revisaron el manuscrito final, proporcionando valiosas observaciones, sugerencias y correcciones, en situación de mejorar la versión final del estudio. Los colegas I. Aguirre y S. Gelcich (SERNAGEOMIN), colaboraron en la preparación de gráficos de Stiff y Piper y en la representación cartográfica computacional preliminar, respectivamente, del catastro de fuentes. C. Espejo, O. López, R. Riquelme y F. Llona (Laboratorio Químico del SERNAGEOMIN), participaron activamente en la ejecución de los numerosos análisis de aguas vinculados al estudio. M.T. Cortés (Jefe de Biblioteca SERNAGEOMIN), realizó una exhaustiva búsqueda de la necesaria información referencial sobre la materia.

Los dibujantes, F. Morales, L. Southerland y C. Morales, realizaron la totalidad de las figuras incluidas en el presente documento.

Numerosos colegas, ingenieros y amigos, colaboraron con gran entusiasmo, voluntad y eficiencia, tanto en la toma y traslado de las muestras, como en proporcionar información respecto de la exacta localización de algunas fuentes; aun a riesgo de omitir algunos, cabe mencionar los nombres de: Y. Pérez, H. Moreno, R. Salas, C. Porter, A. Horvath, C. Iberti, A. Amigo, D. Segpi, C. Bravo, C. F. Ramírez, S. Rivano, C. Bello, S. Vogel, R. Cortés, M. Letelier e I. Zunino, entre otros. Las secretarías, S. Villary M.P. Salgado, de la Subdirección Nacional de Geología del SERNAGEOMIN, participaron amable y pacientemente en la digitación y preparación de diversas versiones computacionales del texto. C. Sáenz estuvo a cargo de la diagramación del texto y P. Hofer participó en la traducción del resumen.

El autor cumple con expresar su agradecimiento al SERNAGEOMIN, por proporcionarle el necesario y oportuno apoyo logístico, analítico y económico, comprometido en la realización del estudio.

Todas las personas e instituciones precedentemente individualizadas, con entusiasmo y competencia, han realizado un esfuerzo loable, que merecen el sincero reconocimiento del autor, que no dudo será apreciado en sus justos términos por los lectores.

## REFERENCIAS

- Alfaro, C.; Wallance, M. 1994. Origin and classification of springs and historical review with current applications. *Environmental Geology*, Vol. 24, No. 2, p. 112-124.
- Aguirre, L.; Levi, B. 1976. Geología de la Cordillera de los Andes de las Provincias de Cautín, Valdivia, Osorno y Llanquihue. *Instituto de Investigaciones Geológicas (Chile), Boletín*, No. 17, 37 p.
- Arce, I. 1930. Narraciones históricas de Antofagasta. *Imprenta Heres*, 479 p. Antofagasta.
- Armijo, M. 1992. Aguas Minerales y mineromedicinales: Mecanismos Básicos de Acción. In *Jornadas de Aguas Minerales y Mineromedicinales en España. Instituto Tecnológico GeoMinero de España*, Vol. 8, p. 3-15. Madrid.
- Armstead, H.C. 1987. Geothermal Energy. *John Wiley and Sons*, 357 p. New York.
- Baker, M.C.W. 1977. Geochronology and Volcanology of upper cenozoic volcanic activity in North Chile and South West Bolivia. Ph.D. Thesis (Unpublished), *The Open University*, 311 p.
- Barraza, L. 1961. Investigaciones sobre el agua subterránea de Santiago (Inédito), *Instituto de Investigaciones Geológicas (Chile)*, 11 p.

- Berríos, R. 1990. Panorama de la energía geotérmica en el Norte de Chile. *Revista Minerale*s, Vol. 45, No. 190, p. 35-38.
- Billinghamurts, G. 1893. La irrigación del Tarapacá. *Editorial Ercilla*, 151 p.
- Brüggen, J. 1934. Temperaturas de las fuentes de Chintaguay (Inédito), *Instituto de Investigaciones Geológicas (Chile)*, 8 p.
- Brüggen, J. 1943a. Contribución a la geología y termas de Chillán. *Folleto de la Sociedad Chilena de Historia y Geografía*, 39 p.
- Brüggen, J. 1943b. Los géysers de los volcanes de El Tatio. *Folleto de la Sociedad Chilena de Historia y Geografía*, 23 p.
- Brüggen, J. 1944. Informe geológico sobre las vertientes del Fundo Peñalolén (Inédito), *Instituto de Investigaciones Geológicas (Chile)*, 19 p.
- Brüggen, J. 1947. Origen de las aguas minerales de Chile. *Sociedad Chilena de Historia y Geografía, Revista*, No. 109, *Imprenta Universitaria*, 40 p.
- Brüggen, J. 1950. Geología. *Editorial Nascimento*, 460 p.
- Brüggen, J. 1960. Rasgos Geológicos del sector Termas de Socos (Inédito), *Instituto de Investigaciones Geológicas (Chile)*, 7 p.
- Cahill, T.; Isacks, B. 1992. Seismicity and shape of the subducted Nazca Plate. *Journal of Geophysical Research, B, Solid Earth and Planets*, Vol. 97, No. 12, p. 14513-14520.
- Carter, W.D.; Aguirre, L. 1965. Structural Geology of Aconcagua Province and its relationships to the Central Valley graben, Chile. *Geological Society of America, Bulletin*, Vol. 76, No. 6, p. 651-664.
- Castany, G. 1974. Tratado práctico de agua subterránea. *Ediciones Omega*, 672 p. Barcelona.
- Contreras, M.M.; Rodríguez, M.O. 1945. Sobre acción crenoterápica de algunos grupos de fuentes hidrominerales de Chile. *Ferrocarriles del Estado de Chile, Revista En Viaje, Edición Especial*, p. 104-114.
- Corporación de Fomento de la Producción. 1978. Catastro geotérmico II Región, 38 p.
- Custodio, E.; Llamas, M.R. 1976. Hidrogeología subterránea. *Ediciones Omega*, 2 Vols. Barcelona.
- Charlin, C.O. 1947. Geo-etimología de Isla de Pascua. *Instituto Geográfico Militar (Chile)*, 208 p.
- Darapski, L. 1890. Las aguas minerales de Chile. *Imprenta G. Helfmann*, 193 p. Valparaíso.
- Davis, S.N.; De Wiest, R. 1971. Hidrogeología. *Ediciones Ariel*, 583 p.
- De Gry, A. 1965. Some Observations on the Hot Springs of Central Chile. *Water Research*, Vol. 1, No. 3, p. 415-428.
- Díaz, F.F. 1983. Estudio Actual de la Geotermia en Chile. *In Seminario Latinoamericano sobre Exploración Geotérmica. Organización Latinoamericana de Energía*, 18 p. Quito.
- Diment, W.H.; Ortíz, R.; Silva, L.; Ruiz, C. 1965. Terrestrial heat flow at two localities near Vallenar, Chile. *Transactions of the American Geophysical Union (Abstract)*, Vol. 45, 175 p.
- Domeyko, I. 1871a. Estudio sobre las Aguas Minerales de Chile. *Imprenta Nacional*, 62 p.
- Domeyko, I. 1871b. Estudio sobre las aguas termales de Chile. *Anales de la Universidad de Chile*, Vol. 2, p. 221-260.
- Domeyko, I.; Domínguez, M.J. 1866. Las aguas minerales de Apoquindo. *Imprenta del Ferrocarril*, 19 p.
- Ellis, A.J.; Mahon, W.A.J. 1964. Natural hydrothermal systems and experimental hot water/rock interactions. *Geochimica et Cosmochimica, Acta*, Vol. 28, p. 1323-1357.
- En Viaje. 1944a. El agua mineral de Chusmisa, saludable como don del cielo. *Ferrocarriles del Estado de Chile, Revista*, No. 134, p. 2.
- En Viaje. 1944b. Las termas de Mamiña, paraíso invernal en medio de la Pampa. *Ferrocarriles del Estado de Chile, Revista*, No. 134, p. 2-7.
- En Viaje. 1944c. El Toro, termas de grandes posibilidades en el Norte Chico. *Ferrocarriles del Estado de Chile, Revista*, No. 134, p. 8-9.
- En Viaje. 1944d. Las termas de Socos y sus maravillosas cualidades curativas. *Ferrocarriles del Estado de Chile, Revista*, No. 134, p. 10-11.
- En Viaje. 1944e. El Balneario de Jahuel; jardín de los convalecientes. *Ferrocarriles del Estado de Chile, Revista*, No. 134, p. 16-17.
- En Viaje. 1944f. El prestigio de las termas de Colina data desde la época colonial. *Ferrocarriles del Estado de Chile, Revista*, No. 134, p. 18-22.

- En Viaje. 1944g. Porvenir, agua mineral chilena, similar a la de Vichy. *Ferrocarriles del Estado de Chile, Revista*, No. 134, p. 15.
- En Viaje. 1944h. Agua mineral de mesa Sorrento. *Ferrocarriles del Estado de Chile, Revista*, No. 134, p. 33.
- En Viaje. 1944i. En las termas de Cauquenes, O'Higgins y San Martín hallaron tregua a su fatiga. *Ferrocarriles del Estado de Chile, Revista*, No. 134, p. 28-32.
- En Viaje. 1944j. Tanhuao, baños termales entre alegres viñedos. *Ferrocarriles del Estado de Chile, Revista*, No. 134, p. 37-39.
- En Viaje. 1944k. Panimávida, magnífico exponente de estación termal. *Ferrocarriles del Estado de Chile, Revista*, No. 134, p. 40-45.
- En Viaje. 1944l. El agua Mineral Rari, agradable al paladar. *Ferrocarriles del Estado de Chile, Revista*, No. 134, p. 48-49.
- En Viaje. 1944m. Catillo, balneario termal en pleno campo chileno. *Ferrocarriles del Estado de Chile, Revista*, No. 134, p. 52-53.
- En Viaje. 1944n. Las Termas de Chillán, emporio de salud y sitio de recreo. *Ferrocarriles del Estado de Chile, Revista*, No. 134, p. 57-66.
- En Viaje. 1944o. Copahue, en el cráter de un volcán inmenso laboratorio de salud. *Ferrocarriles del Estado de Chile, Revista*, No. 134, p. 68-73.
- En Viaje. 1944p. Las termas de Tolhuaca están en un paraje de belleza sin par. *Ferrocarriles del Estado de Chile, Revista*, No. 134, p. 74-80.
- En Viaje. 1944q. Las Termas de Manzanar, en las serranías de Lonquimay. *Ferrocarriles del Estado de Chile, Revista*, No. 134, p. 88-89.
- En Viaje. 1944r. Las Termas de Río Blanco, oasis de paz y de salud. *Ferrocarriles del Estado de Chile, Revista*, No. 134, p. 83-88.
- En Viaje. 1944s. Las Termas de Palguín, al pie del volcán Villarrica. *Ferrocarriles del Estado de Chile, Revista*, No. 134, p. 90-91.
- En Viaje. 1944t. El gran Hotel Termas de Puyehue, una organización perfecta de servicio a la salud y el turista. *Ferrocarriles del Estado de Chile, Revista*, No. 134, p. 92-102.
- Evans, W.C.; Frank, D. 1981. Analysis of gas samples from the summit crater. *U.S. Geological Survey, Professional Paper*, No. 1250, p. 227-232.
- Felsh, J. 1947. Informe del origen geológico de las fuentes de agua termo-minerales de Catillo. Provincia de Linares, Departamento de Parral. *Ministerio de Fomento, Departamento de Minas y Petróleo*, 39 p.
- Fernandes, E.J.R.P.; Cruz, J.F. 1993. Aguas engarrafadas e termalismo em 1992. *Boletín Minas*, Vol. 30, No. 2, p. 85-102. Lisboa.
- Flores, H. 1944. Informe geológico sobre las vertientes termales de los Baños de Colina y Meulen. *Ministerio de Fomento, Departamento de Minas y Petróleo*, 10 p.
- Flores, H. 1947. Informe sobre el perímetro de protección de las fuentes termales de Catillo. *Ministerio de Fomento, Departamento de Minas y Petróleo*, 10 p.
- Fonck, F. 1869. Breve noticia sobre varias fuentes termales, descubiertas en la Cordillera de Llanquihue. Correspondencia a la Facultad de Ciencias Físicas i Matemáticas, Universidad de Chile. *Anales de la Universidad de Chile*, Vol. 32, Primer semestre, p. 405-416.
- Fournier, R.O.; Truesdell, A.H. 1970. Chemical Indicators of Subsurface Temperature Applied to Hot Spring Waters of Yellowstone National Park, Wyoming, U.S.A. In United Nations Symposium on the Development and Utilization of Geothermal Resources. *Geothermics, Special Issue*, Vol. 2, No. 2, p. 405-416.
- Gardeweg, M. 1980. Geología del área del Nevado de Longaví, Cordillera de Los Andes; VII Región del Maule. Memoria de Título (Inédito), *Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Geología*, 247 p.
- Geochronique. 1995. Eaux minerales et thermales. *Société Géologique de France*, No. 54, p. 31.
- George, L.D. 1994. Uses of springwater. *Environmental Geology*, Vol. 24, No. 2, p. 125-132.
- Geotimes. 1993. Hot springs and thermal waters. Vol. 38, No. 1, p. 7.
- González, O.; Vergara, M. 1962. Reconocimiento geológico de la alta Cordillera de los Andes entre los paralelos 35°-38° Latitud Sur, Chile. *Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Instituto de Geología*, Publicación No. 24, 121 p.
- González-Ferrán, O. 1995. Los volcanes de Chile. *Instituto Geográfico Militar (Chile)*, 640 p.

- Groeber, P. 1920. Estudio Geológico de las Termas de Copahue. *Ministerio de Agricultura de la Nación, Dirección General de Minas, Geología e Hidrología, Boletín*, No. 3, 30 p. Buenos Aires.
- Grunder, A.L.; Thomson, J. M.; Hildreth, W. 1987. The hydrothermal system of the Calabozos caldera, central Chilean Andes. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Vol. 32, p. 287-298.
- Hamza, V.L.; Muñoz, M. 1996. Heat flow map of South America. *Geothermics*, Vol. 25, No. 6, p. 599-646.
- Hauser, A. 1987. Fuente termal Apoquindo, caracterización y alternativas para optimizar su aprovechamiento (Inédito), *Servicio Nacional de Geología y Minería (Chile)*, 15 p.
- Hauser, A. 1989. Fuentes termales y minerales en torno a la Carretera Austral. Regiones X-XI Chile. *Revista Geológica de Chile*, Vol. 16, No. 2, p. 229-239.
- Hauser, A. 1990. Hoja Rancagua, VI Región. *Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Hidrogeológica de Chile*, No. 1, 73 p., 1 mapa 1:250.000.
- Hauser, A. 1993. Remociones en masa en Chile. *Servicio Nacional de Geología y Minería (Chile), Boletín*, No. 45, 75 p.
- Hauser, A. 1995. Hoja Talca, Región VII. *Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Hidrogeológica de Chile*, No. 2, 81 p.
- Healy, J. 1967. Geological Report on El Tatio Geothermal Field, Antofagasta province, Chile. Chapter Geothermal Resources (Abstract by O. Rodríguez M.). *New Zealand Geological Survey*, p. 25.
- Healy, J. 1969. Geological reconnaissance of hot spring localities in Tarapacá and Antofagasta Provinces, 2nd. Internal Report. *Corporación de Fomento de la Producción, Comité Geotérmico*, 35 p. Santiago.
- Hem, J.D. 1985. Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water (3rd. edition) *U.S. Geological Survey, Water-Supply Paper*, No. 2254, 264 p.
- Hervé, F.; Araya E.; Fuenzalida, R.; Solano, A. 1979. Edades radiométricas y tectónica neógena en el sector costero de Chiloé Continental. *In Congreso Geológico Chileno, No. 2, Actas*, Vol. 1, p. F1-F18. Arica.
- Hervé, M. 1984. La zona de falla Liquiñe-Ofqui, en Liquiñe. *Comunicaciones*, No. 34, p. 107-115.
- Hevia, M.I. 1950. Informe sobre las termas de El Manzanar. *Ministerio de Fomento, Departamento de Minas y Petróleo*, 2 p. Santiago.
- Holland, H.D.; Petersen, U. 1995. Living dangerously. *Princeton University Press*, 490 p.
- Ibérica de Especialidades Geotécnicas S.A. 1984. Mapa Geocientífico del Medio Natural, Provincia de la Coruña. *Ministerio de Industria y Energía. Secretaría General de la Energía y Recursos Minerales*, 90 p. Madrid.
- Ingeniería y Geología DOS Ltda. 1994. Estudio geoquímico en salares de Coposa, Michincha y Alconcha (Inédito), 68 p.
- Instituto Tecnológico GeoMinero de España. 1991. Las aguas minerales en España. *Dirección de Aguas Subterráneas*, 10 p. Madrid.
- Ingeniería y Geotecnia (INYG). 1991. Informe final, estudio, análisis y planificación de los recursos de agua en II Región de Antofagasta (Inédito), Volumen 1, Conclusiones y texto principal, 145 p.
- Ingeniería y Geotecnia (INYG). 1994. Estudio hidrogeológico destinado al aprovechamiento de las Termas de Puyehue (Inédito), 35 p.
- Karzulovic, J.; García, F. 1979. Evaluación de Recursos Hídricos Provincia de Iquique, I Región (Inédito), *Dirección General de Aguas-Secretaría Regional de Planificación y Coordinación Iquique, Primera Región*, 171 p. Santiago.
- Karzulovic, J.; Hauser, A. 1979. Estudio geológico y geotécnico Proyecto Central hidroeléctrica Alfalfal, Valle del río Colorado, Región Metropolitana (Inédito), *Ingeniería y Geotecnia Ltda.*, 60 p.
- Kay, S.M.; Maksaev, V.; Mpodozis, C.; Moscoso, R.; Nasi, C. 1987. Probing the Andean Lithosphere: Mid-Late Tertiary magmatism in Chile (20°-30.5°S) over the zone of subhorizontal subduction. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 92, No. 87, p. 6173-6189.
- Klohn, C. 1960. Geología de la Cordillera de los Andes de Chile central, Provincias de Santiago, O'Higgins, Colchagua y Curicó. *Instituto de Investigaciones Geológicas (Chile), Boletín*, No. 8, 95 p.
- Knowles, K. 1958. Las Termas de Mamiña: un paraíso invernal en medio del desierto (Inédito), *Instituto de Investigaciones Geológicas (Chile)*, 4 p.
- Korhonen, R.; Luttig, G.W. 1996. Peat in balneology and health care. Global peat resources. *International Peat Society, Geological Survey of Finland*, p. 339-345. Saarijärvi.
- Lahsen, A. 1969. Geología de la zona comprendida entre El Tatio y los cerros de Ayquina (Inédito),

- Corporación de Fomento de la Producción, Comité Geotérmico*, 20 p. Santiago.
- Lahsen, A. 1970. Estudio para el desarrollo geotérmico en el norte de Chile. Informe Preliminar sobre la geología de Puchuldiza (Inédito), *Corporación de Fomento de la Producción, Comité Geotérmico*, 31 p. Santiago
- Lahsen, A. 1975. La energía geotérmica y sus posibilidades de Desarrollo en Chile. *Revista Minerales*, Vol. 30, No. 132, p. 11-21.
- Lahsen, A. 1976. La Actividad Geotermal y sus Relaciones con la Tectónica y el Volcanismo en el Norte de Chile. In *Congreso Geológico Chileno, No. 1, Actas*, Vol. 1, p. B105-B127. Santiago.
- Lahsen, A. 1978. Características geoquímicas y origen de las aguas de las Termas de Chillán. *Comunicaciones*, No.24, p. 35-48.
- Lahsen, A. 1981. Características geoquímicas y condiciones de generación de un sistema geotermal en el Yacimiento de Río Blanco. *Comunicaciones*, No. 31, p. 1-13.
- Lahsen, A. 1986. Origen y potencial de energía geotérmica en los Andes de Chile. Geología y recursos minerales de Chile. *Editorial Universidad de Concepción*, Vol. 1, p. 425-438.
- Lahsen, A. 1988. Geoquímica de áreas geotermales de la Cordillera de los Andes del Sur de Chile, 39°-40° Lat. Sur. *Comunicaciones*, No. 36, p. 9-19.
- Lahsen, P.; Trujillo, P. 1975. El Campo Geotérmico de El Tatio, Chile. In *United Nations Symposium on the Development and Utilization of Geothermal Resources, No. 2*, p. 157-169, San Francisco.
- Lappalainen, E. 1996. Global Peat Resources. *International Peat Society-United Nations Education, Science and Culture Organization-Geological Survey of Finland*, 359 p.
- Legg, C.A. 1974. A reconnaissance survey of the hot and mineralized springs of Zambia. *Geological Survey Department, Economic Report*, No. 50, 60 p. Luzaka.
- Letelier, M. 1978. Informe para el Catastro Geotérmico sobre la visita en Octubre 1978 a las localidades de Aguas Calientes Norte, Central, Sur y NW de Volcán Lastarria, Lagunas Tara, Tuyacto y Alitar (Inédito), *Corporación de Fomento de la Producción, Comité Geotérmico*, 15 p.
- López, A.G. 1992. Metodología de los perímetros de protección de las aguas minerales y minero-medicinales. In *Jornadas de Aguas Minerales y Mineromedicinales en España. Instituto Tecnológico GeoMinero de España*, Vol. 4, p. 1-23. Madrid.
- López-Escobar, L.; Cembrano, J.; Moreno, H. 1995. Geochemistry and tectonics of the Chilean Southern Andes Basaltic Quaternary Volcanism (37-46°S). *Revista Geológica de Chile*, Vol. 22, No. 2, p. 219-234.
- Lund, J.W. 1996. Balneological use of thermal and mineral waters in the U.S.A. *Geothermics*, Vol. 25, No. 1, p. 103-147.
- Luttig, G.; Solovieva, P. 1996. Contributions on peat balneology, medicine and therapeutics. A review paper. In *International Peat Congress, No. 10, Summary Papers*, Vol. 3. p. 114-116. Bremen.
- Llamas, M.R. 1992. Caracterización hidrogeológica de las aguas minerales y minero-medicinales. In *Jornadas de Aguas Minerales y Mineromedicinales en España. Instituto Tecnológico GeoMinero de España*, Vol. 2, p. 3-11. Madrid.
- Marinovic, N.; Díaz, F.; Ramírez, C.; Travisany, V. 1976. Proyecto Prospección y Evaluación de Elementos Polimetálicos en la Alta Cordillera, II Región. Etapa I, Reconocimiento geológico escala 1:250.000 (Inédito), *Instituto de Investigaciones Geológicas (Chile)*, 150 p.
- Miquel, J. 1851. Medicina. Aguas termales i minerales de Chile. *Anales de la Universidad de Chile*. Enero-Febrero 1851. *Imprenta Chilena*, p. 336-340.
- Montecinos, E. 1969. Breve información acerca de la geología del área circunvecina a los Baños de Jurase, Subdelegación de Putre, Departamento de Arica (Inédito), *Instituto de Investigaciones Geológicas*, 2 p.
- Montero, G.; Navarrete, G.; Pino, M.; Riffo, P. 1981. Recursos Termales IX Región. *Universidad de La Frontera*, 139 p. Temuco, Chile.
- Moreno, H. 1974. Fuentes Termales y depósitos de azufre del área del volcán Puyehue, Provincia de Valdivia. *Revista Geográfica de Chile*, No. 22-23, p. 11-23.
- Moreno, H. 1975. Características Petrológicas del volcanismo Cenozoico Superior de los Andes del Sur de Chile (39°00'-41°30'S). In *Congreso Geológico Argentino, No. 6, Actas*, Vol. 2, p. 131-147, Bahía Blanca.
- Moreno, H. 1976. The Upper cenozoic volcanism in the Andes of Southern Chile. In *Proceedings of the International Association on Volcanology and Chemistry of the Earth Interior, Symposium on Andean and Antarctic Volcanology Problems* (González-Ferrán, O.; editor), p. 143-171. Santiago.



- Moreno, H. 1977. Geología del área volcánica Puyehue-Carrán en los Andes del Sur de Chile. Memoria de Título (Inédito), *Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Geología*, 181 p.
- Moreno, H.; Parada, M.A. 1974. Geología del área Liquiñe-Neltume y Lago Pirihueico (Inédito), *Instituto de Investigaciones Geológicas*, 51 p.
- Moxiang, C. 1993. A new map of the hot springs distribution in China and its explanation. *Scientia Geologica Sinica*, Vol. 2, No. 1, p. 101-110.
- Mpodozis, C.; Hervé, M.; Nasi, C.; Soffia, J.M.; Forsythe, R.D.; Nelson, E. 1985. Magmatismo plioceno, península Tres Montes. *Revista Geológica de Chile*, No. 25-26, p. 13-28.
- Muller, H.R. 1942. Informe técnico geológico sobre las aguas minerales de Panimávida. In Anales del Congreso Panamericano de Ingeniería de Minas y Geología. *Geología*, Vol. 3, p. 1278-1309. Santiago.
- Munnich, G. 1908. Excursión a la rejión volcánica de Valdivia. *Imprenta Alberto Lecourt*, 106 p. Valparaíso.
- Muñoz, M. 1981. Fuentes termales de baja entalpía. *Revista Minerale*s, Vol. No. 36, p.19-23.
- Muñoz, M. 1985. Estudio experimental del potencial espontáneo en el área de Termas de Chillán. *Revista Tralka*, Vol. 2, No. 4, p. 431-436.
- Muñoz, M. 1987. Flujo de calor en Chile con énfasis en las áreas de El Tatio y de la Cuenca de Santiago. *Revista Brasileira de Geofísica*, Vol. 5, p. 153-164.
- Muñoz, M.E. 1950. Potencial de aprovechamiento de los géysers de Puchuldiza. Provincia de Tarapacá (Inédito), *Ministerio de Fomento, Departamento de Minas y Petróleo*, 5 p.
- Oliver-Rodés, B. 1992. Revisión de parámetros contaminantes en relación a la propuesta de actualización de la directiva comunitaria. In *Jornadas de Aguas Minerales y Mineromedicinales en España. Instituto Tecnológico GeoMinero de España*, Vol. 6, p. 3-16. Madrid.
- Ota, J.; Matsushima, Y.; Yamazaki, H. 1990. Neotectonics Around Sagami Bay. In *International Geology Congress, No. 29, Field Trip C-11*, p. 83-118. Tokyo.
- Ovalle, L.A. 1984. Hacia una cultura termal chilena. *Editorial Look y Cía.*, 62 p. Santiago.
- Padilla, H.; Vergara, M. 1985. Control estructural y alteración tipo campo geotérmico en los intrusivos subvolcánicos miocénicos del área Cuesta de Chacabuco-Baños El Corazón, Chile Central. *Revista Geológica de Chile*, No. 24, p. 3-17.
- Parker, B.; Kodman, W. 1990. Aguas Minerales Naturales. *International Commission on Microbiological Specifications*, Paper No. 6, p. 1-19. London.
- Pérez-Díaz, J.S. 1992. Aspectos Socioeconómicos de las aguas de bebida envasadas. In *Jornadas de Aguas Minerales y Mineromedicinales en España. Instituto Tecnológico GeoMinero de España*, p. 17-19. Madrid.
- Philippi, R.A. 1869. Breve noticia sobre las aguas termales de Puyehue i Llanquihue. *Anales de la Universidad de Chile; Comunicación a la Facultad de Ciencias Físicas i Matemáticas*, p. 416-419.
- Philippi, R.A. 1862. Viaje a los baños i el nuevo volcán Chillán. *Anales de la Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas*, p. 279-306.
- Pinuaga, E.I.J. 1992. Infraestructura Hidrotermal. In *Jornadas de Aguas Minerales y Mineromedicinales en España. Instituto Tecnológico Geo Minero de España*, Vol. 3, p. 3-9. Madrid.
- Pomerol, C.; Ricour, J. 1992. Terroirs et Thermalisme. *Editions Bureau de Recherches Géologiques et Minières*, 288 p. Paris.
- Ramírez, C.F. 1976. Informe de reconocimiento geológico escala 1:250.000 del área comprendida entre 23°30' Lat. S y 68°00' Long. W. y límite con la República Argentina (Inédito), *Instituto de Investigaciones Geológicas (Chile)*, 20 p.
- Riso Patrón, L. 1924. Diccionario Jeográfico de Chile. *Imprenta Universitaria*, 958 p. Santiago.
- Rivera, M.O. 1947. Nuestra riqueza termal. *Imprenta Britania*, 77 p. La Serena.
- Rojo, M.; Cuadra, P. 1974. Recopilación de antecedentes bibliográficos y catastro general de vertientes de aguas termo-minerales en Chile. *Práctica de Vacaciones (Inédito, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Geología-Departamento de Obras Civiles*, 23 p.
- Ruíz, C. 1946. Informe geológico sobre las vertientes termales de Baños Morales. *Dirección General de Informaciones y Cultura. Departamento de Turismo, Departamento de Minas y Petróleo*, 7 p. Santiago.
- Rybach, I. 1995. Thermal waters in deep alpine tunnels. *Geothermics*, Vol. 24, No. 5-6, p. 631-637.
- Salas, R. 1972. Informe geológico en el Salar de Surire, Arica. In *Jornadas de Trabajo, Instituto de Investigaciones Geológicas (Chile)*, Vol. 3, p. 198-200.

- Salas, R.O.; Kast, R.; Montecinos, F.; Salas, I. 1966. Recursos minerales. Provincia de Arica. *Instituto de Investigaciones Geológicas (Chile), Boletín*, No. 21, 113 p.
- San Román, F.J. 1896. Desierto i Cordilleras de Atacama. Tomo 3, Hidrología. *Imprenta Nacional*, 414 p.
- Sanches, R. J. 1969. Thermal waters in Chile. *In International Geological Congress, No. 23*, Vol. 19, p. 257-263. Praga.
- Sánchez, J. 1963. Levantamiento geológico de la zona de los géysers de El Tatio, Provincia de Antofagasta (Inédito), *Instituto de Investigaciones Geológicas (Chile)*, 39 p.
- Sasaki, Y. 1994. Aguas agitadas. *Revista Look Japan*, Vol. 4, No. 48, p. 15.
- Schwartz, M. 1995. Arsenic in Porphyry Copper Deposits. Economic Geology of the Polluting Element. *International Geology Review*, Vol. 37, p. 9-25.
- Shevenell, L.; Goff, F. 1995. Evolution of hydrothermal waters at Mount St. Helens, Washington, U.S.A. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, No. 69, p. 73-94.
- Simkin, T.; Siebert, L. 1994. Volcanoes of the World. *Geoscience Press, Inc. Smithsonian Institution*, 349 p.
- Steffen, H. 1947. Patagonia Occidental. Las Cordilleras Patagónicas y sus Regiones Circundantes. *Ediciones Universidad de Chile*, Vol. 2, 586 p.
- Swanberg, C.A.; Morgan, P. 1978. The linear relation between temperature based on the silica content of groundwater and regional heat flow. A new heat flow map of the United States. *Pure Applied Geophysics*, Vol. 117, p. 227-241.
- Thiele, R. 1980. Hoja Santiago. Región Metropolitana. *Instituto de Investigaciones Geológicas, Carta Geológica de Chile*, No. 39, 41 p.
- Tidy, E. 1984. Lineamientos identificados en imágenes Landsat y la localización de pórfidos cupríferos. *Comunicaciones*, No. 34, p. 81-99. Santiago.
- Tornero, S. 1882. Chile Ilustrado; Capítulo IV; Aguas Minerales de Chile. *Librerías Agencias de El Mercurio*, 20 p. Valparaíso.
- Trujillo, P. 1972. Estudio de las manifestaciones termales de Suriri (Inédito), *Corporación de Fomento de la Producción, Comité Geotérmico*, 8 p.
- Trujillo, P. 1974. Catastro de Recursos Geotérmicos de Chile. *In Seminario sobre los recursos energéticos de Chile. Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica*, 20 p. Santiago.
- Turistel. 1988. Guía turística de todo Chile. *Guías y Publicidad S.A.*, 449 p. Santiago.
- Uyeda, S.; Watanabe, T.; Kausel, E.; Kubo, M.; Yashiro, Y. 1978. Report of heat flow measurements in Chile. *Earthquakes Research Institute, Bulletin*, Vol. 53, p. 131-163.
- Waring, G. 1965. Thermal springs of the United States and other countries of the world. A Summary. *U.S. Geological Survey, Professional Paper*, No. 492, 383 p.
- White, D.E. 1957. Magmatic connate and metamorphic waters. *Geological Society of America, Bulletin*, No. 68, p. 1659-1682.
- Wohletz, K.; Heiken, G. 1992. Volcanology and Geothermal Energy. *University of California Press*, 432 p.
- Zembruski, S.G.; Hung Kiang, C. 1989. Gradiente geotérmico das bacias sedimentares. *Boletín Geociencias (PETROBRAS)*, Vol. 3, No. 3, p. 215-227. Río de Janeiro.

*IN MEMORIAM*

CARMEN SAENZ CERDA†  
(1944-1997)

El día sábado 27 de diciembre de 1997, fallece inesperadamente Carmen Sáenz Cerda, funcionaria de la Unidad de Publicaciones de la Subdirección Nacional de Geología del Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN). Su actividad profesional estuvo muy ligada a la geología del país: primero en la Escuela de Geología de la Universidad de Chile y luego, a partir de 1991, en SERNAGEOMIN.

No debe ser asumido que la muerte valore a las personas, sino que les da una dimensión distinta, rescatando sus virtudes y capacidades que en vida muchas veces no son reconocidas. El destino quiso que los días previos a su partida, Carmen completara con particular dedicación y entusiasmo, la compaginación y diagramación del presente texto. El mismo contradictorio destino, dictaminó que, si bien con ello se cerraba el último capítulo de una vida plena y realizada, participara decisivamente de la puesta en circulación de este documento, situación que el autor agradece póstumamente con dolor y reconocimiento.

De sonrisa fácil, trato acogedor; sincera, optimista, solidaria y generosa; la muerte, inesperada como siempre, la sorprendió en el más inoportuno momento: en su intento por reiniciar plena de felicidad la búsqueda de un nuevo proyecto de vida, recobraba alegrías y expectativas en un futuro mejor, dejando atrás los dolorosos y lacerantes momentos vividos a partir de 1973.

Fiel y amada esposa; madre cariñosa, responsable y preocupada; abuela tierna, jovial y regalona; en el recuerdo de sus colegas, amigos y familiares perdurará la imagen de una MUJER INTEGRAL.

EL AUTOR

Santiago, Diciembre de 1997.

CARMEN BÁEZ CÉDAS  
(1914-1997)

El día sábado 23 de diciembre de 1997, fallece inesperadamente Carmen Báez Cédas, funcionaria de la Unidad de Publicaciones de la Subdirección Nacional de Geología del Servicio Nacional de Geología y Minería (SERVAGEOMIN). Su actividad profesional estuvo muy ligada a la geología del país; primero en la Escuela de Geología de la Universidad de Chile y luego, a partir de 1981, en SERVAGEOMIN.

No debe ser asumido que la muerte valore a las personas, sino que sea de una dimensión distinta, rescatando sus virtudes y capacidades que en vida muchas veces no son reconocidas. El destino que se le dio a su vida fue a su pérdida. Carmen completó con paciencia, dedicación y entusiasmo, la composición y diagramación del presente texto. El mismo contradictorio destino, determinó que, al fin con ella se cerraba el último capítulo de una vida plena y realizada, participando activamente de la puesta en circulación de este documento, situación que el autor agradece profundamente con dolor y reconocimiento.

La señora Báez, fue acogedora, sincera, optimista, solidaria y generosa; la muerte, inesperada como siempre, la sorprendió en el más importante momento: en su intento por reiniciar planes de la búsqueda de un nuevo proyecto de vida, recordada siempre y esperativa en un futuro mejor, dejando atrás los dolorosos y lacrimosos momentos vividos a partir de 1973. Fiel y amada esposa; madre cariñosa, responsable y preocupada; abuela tierna, jovial y cariñosa; en el recuerdo de sus colegas, amigos y familiares perdurará la imagen de una MUJER ÍNTEGRA.

EL AUTOR

Santiago, Chile, febrero de 1997.

ANEXOS

ANEXO

ANEXO I  
TABLA 1. CATASTRO DE FUENTES TERMALES Y MINERALES EN CHILE.

No.	Tipo	Denominación	Localización Coordenadas UTM		Región	Altura (m s.n.m.)	Temperatura (°C)	Aprovechamiento actual	Análisis químico	Referencias
			Latitud	Longitud						
1 <sup>1</sup>	T <sup>2</sup>	Vertiente Chuschuco	7.992.112	462.310	I	4.230		S/a <sup>3</sup>	X <sup>4</sup>	Riso Patrón (1924)
2	T	Baños de Jurase	7.987.580	443.601	I	3.850	66°	S/a		Montecinos* (1969); Sanches (1969); Lahsen (1975); Díaz (1983); Muñoz (1987); A-9 <sup>5</sup> .
3	T	Baños de Untupuju	7.985.785	470.041	I	4.410	15°	S/a	X	Lahsen (1975); Díaz (1983); Muñoz (1987)
4	T	Pozo Río Lauca	7.983.920	454.185	I	4.200	25°	S/a		R. Salas (comunicación oral, 1994)
5	T	Vertiente Termal Chirigualla	7.971.058	482.390	I	4.400	14°	S/a	X	Díaz (1983); A-17
6	T	Baños Polloquere (Surire)	7.909.115	499.580	I	4.225	85°	S/a		Riso Patrón (1924); Sanches (1969); Salas et al. (1966); Salas* (1972); Trujillo* (1972); Lahsen (1975); Lahsen (1978); Díaz (1983); Lahsen (1986).
7	M <sup>6</sup>	Manantial Agua Verde	7.893.613	492.985	I	1.475		S/a		Riso Patrón (1924)
8	M	Manantial Agua Amarilla	7.893.272	387.757	I	4.350		S/a		Riso Patrón (1924)
9	T	Baños de Chinchillani	7.891.550	513.840	I	4.240	29°	S/a		Lahsen (1976); Díaz (1983); Muñoz (1987); A-37.
10	T	Aguas Calientes de Parajalla	7.889.923	508.766	I	4.100	24-45°	S/a	X	R. Salas (comunicación oral, 1994)
11	T	Termas Engueiga	7.873.185	522.830	I	3.910	31-40°	S/a	X	Lahsen (1975); Díaz (1983); Turistel (1988); A-37.
12	M	Vertiente Arroyo Los Baños	7.871.474	480.732	I	3.665		S/a		Riso Patrón (1924)
13	T	Baños Berenguela	7.871.473	480.732	I	1.310	29-58°	EB <sup>7</sup>		Riso Patrón (1924); Díaz (1983)
14	T	Baños de Quitari	7.862.187	447.478	I	3.310	76-87°	S/a		Díaz (1983); A-43
15	T	Baños Puchuliza o Puchultiza	7.850.450	500.358	I	4.240	85-90°	EB	X	Muñoz* (1950); Healy (1967); Lahsen* (1970); Lahsen (1976); Lahsen (1978); Díaz (1983); Lahsen (1986); Muñoz (1987); Berrios (1990).
16	T	Baños de Chimisa	7.840.010	489.180	I	2.400	80-90°	S/a	X	Riso Patrón (1924)
17	T	Aguas Calientes o Laguna Churrucollo	7.837.795	505.125	I	4.130		S/a		A-53
18	T-M	Baños Chusmisa o Chismisa	7.824.015	481.310	I	3.280	40-46°	EB/PE <sup>8</sup>	X	En Viaje (1944a); Brüggen (1947); Sanches (1969); Díaz (1983); Ovalle (1984); Lahsen (1986); Muñoz (1987); Fig. 19. Turistel (1988); A-60
19	T	Baños de San Andrés, Quiguata o Jiguata	7.810.590	519.750	I	4.390	35-45°	EB		A-61
20	T	Aguas Calientes de Chalviri	7.809.415	528.150	I	4.300	50°-60°	S/a	X	Riso Patrón (1924); Lahsen (1975); Karzulovic y García* (1978); Díaz (1983); Lahsen (1986); Muñoz (1987); A-60.
21	T	Vertiente Termal Pampa Lirima	7.805.780	509.815	I	4.000	40-73°	S/a		

**Nota**

<sup>1</sup> Localización en la figura 1.

<sup>2</sup> Fuente de aguas termales.

<sup>3</sup> Sin aprovechamiento.

<sup>4</sup> Análisis disponible.

<sup>5</sup> Nomenclatura de Cartas Topográficas 1:50.000 del Instituto Geográfico Militar (IGM), con indicación de la fuente.

<sup>6</sup> Fuente de aguas minerales.

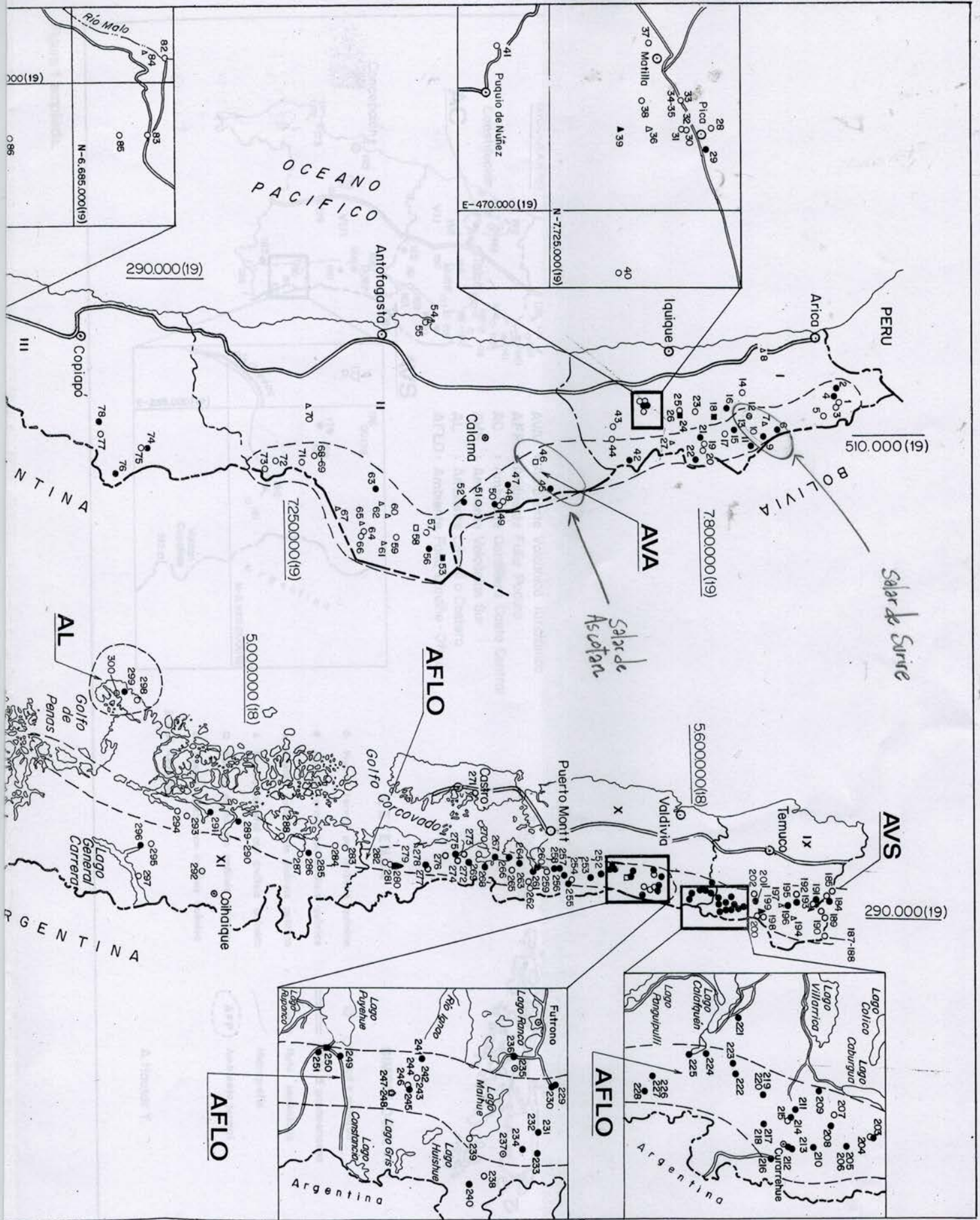
<sup>7</sup> Establecimiento balneológico, sin consignar nivel o categoría de las instalaciones.

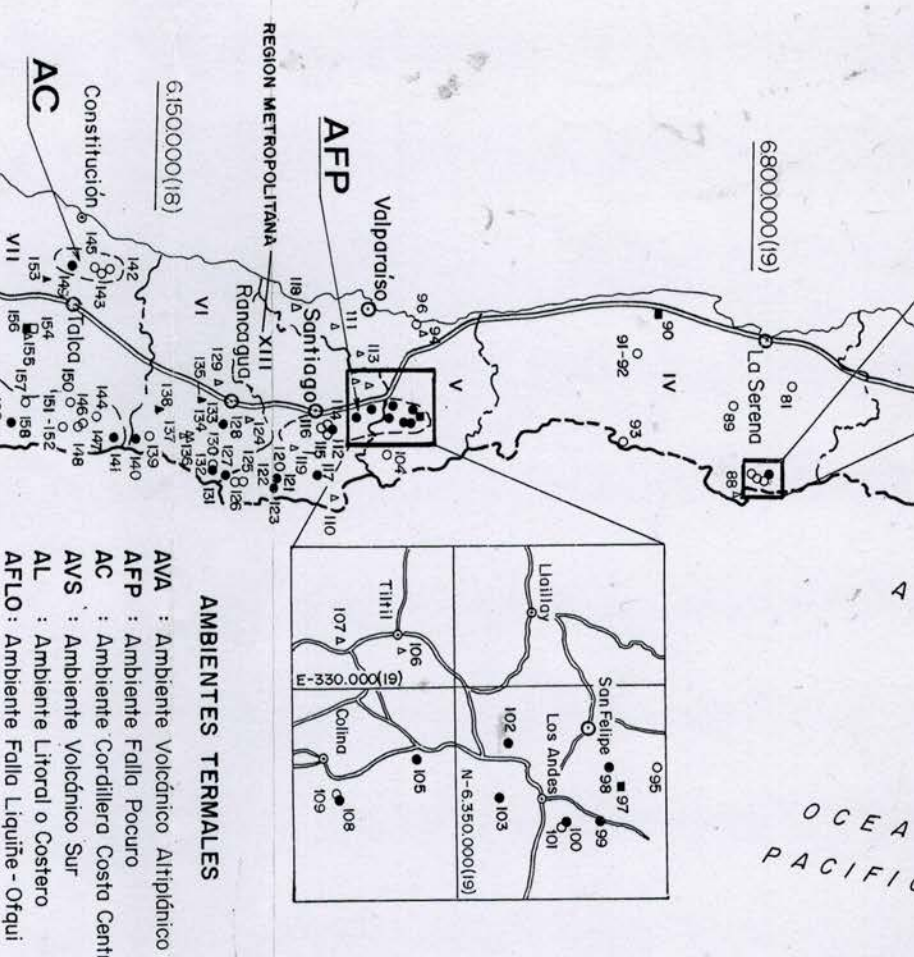
<sup>8</sup> Planta de envasado de aguas minerales.

\* Documento inédito.

No.	Tipo	Denominación	Localización UTM		Región	Altura (m s.n.m.)	Temperatura (°C)	Aprovechamiento actual	Análisis químico	Referencias
			Latitud	Longitud						
22	T	Vertiente Termal Cancosa	7.801.010	541.000	I	3.904	35-40°	S/a	X	Lahsen (1976); Díaz (1983); A-61.
23	T	Vertiente Jamaajagua, Mamiña	7.799.250	473.861	I	2.680		S/a		Riso Patrón (1924)
24	T-M	Termas Mamiña ('El Tambo')	7.780.050	478.030	I	2.760	45-57°	PE/EB	X	Billinghurst (1893); En Viaje (1944b); Brüggen (1947); Knowles (1958); Sanches (1969); Díaz (1983); Ovalle (1984); Lahsen (1986); Muñoz (1987); A-66.
25	M	Vertiente Termal Ipla (Oda. Mamiña)	7.779.250	473.861	I	2.650	30-35°	S/a		Riso Patrón (1924)
26	T	Vertiente Termal Sipuna	7.779.250	473.861	I	1.710	25-30°			Riso Patrón (1924)
27	M	Vertiente Cerro Batea	7.768.194	517.415	I	4.090	19°	S/a		Riso Patrón (1924)
28	T	Vertiente Concova	7.734.968	465.238	I	1.430	34°	S/a		Riso Patrón (1924)
29	T	Vertiente Termal Pica (Cocha)	7.734.650	466.510	I	1.470	34°	EB	X	Brüggen* (1934); Brüggen (1947); Waring (1965); Díaz (1983); Lahsen (1986); Fig. 20.
30	T	Galería Jesús-María	7.733.500	465.310	I	1.505	28°	S/a		Riso Patrón (1924)
31	T	Galería Caire	7.733.123	465.241	I	1.508	27°	S/a		Riso Patrón (1924)
32	T	Vertiente Galería Resbaladero	7.733.123	465.241	I	1.470	33°	S/a		Riso Patrón (1924)
33	T	Vertiente-Galería Santa Cruz	7.733.119	463.503	I	1.430	30°	S/a		Riso Patrón (1924)
34	T	Galería Comina	7.733.119	463.503	I	1.510	28°	S/a		Riso Patrón (1924)
35	T	Baños de Las Animas	7.733.119	463.503	I	1.490	31°	S/a		Riso Patrón (1924)
36	M	Vertiente Chintaguay	7.731.278	465.245	I	1.280	30-33°	S/a		Riso Patrón (1924); Brüggen (1934); A-79.
37	T	Vertiente Sangue	7.731.267	460.032	I	1.505	28°	S/a		Riso Patrón (1924)
38	T	Galería Loreto	7.730.800	463.496	I	280	35°	S/a		Riso Patrón (1924)
39	M	Vertiente Termal Colpagua	7.729.434	465.248	I	3.790	40-45°	S/a	X	Riso Patrón (1924); Díaz (1983); A-61.
40	T	Vertiente Guapata	7.729.250	473.861	I	1.530		S/a		Riso Patrón (1924)
41	T	Galería San Lúcar	7.722.045	460.054	I	1.490	26°	S/a		Riso Patrón (1924)
42	T	Vertiente Termal Urruputunco	7.710.000	542.500	I	3.960	55°	S/a	X	INGEDOS* (1994); A-82. Billinghurst (1893); Riso Patrón (1924); Sanches (1969).
43	T	Baños Majala o Majada	7.688.050	494.030	I	2.270	35°	S/a		A-89.
44	T	Baños Copaquiri	7.686.195	512.005	I	3.550	25-35°	S/a	X	Riso Patrón (1924); Brüggen (1947); Waring (1965); Healy (1967);
45	T	Ojos de Ascotán	7.602.491	580.000	II	3.680	25-33°	S/a		Lahsen (1976); CORFO* (1978); Sanches (1969); Díaz (1983); Ovalle (1984); Lahsen (1986).
46	T-M	Baños de Taira	7.584.570	542.005	II	3.125	25-30°	S/a		Riso Patrón (1924); Rojo y Cuadra* (1974); Marinovic <i>et al.</i> * (1976); Ramírez (1976)*; Baker (1977); B-33.
47	T	Ojos de Turi	7.547.510	573.890	II	3.050	18-23°	S/a	X	Riso Patrón (1924); Brüggen (1947); Healy (1967); CORFO* (1978); Ovalle (1985); Lahsen (1986); INYGE* (1991); Fig. 9.
48	T	Vertiente Copacoya	7.539.162	597.894	I	4.230	25-30°	S/a		Riso Patrón (1924)
49	T	Aguas Calientes (Oda. Chillagur)	7.534.180	603.210	II	4.300		S/a		Lahsen (1976); B-55

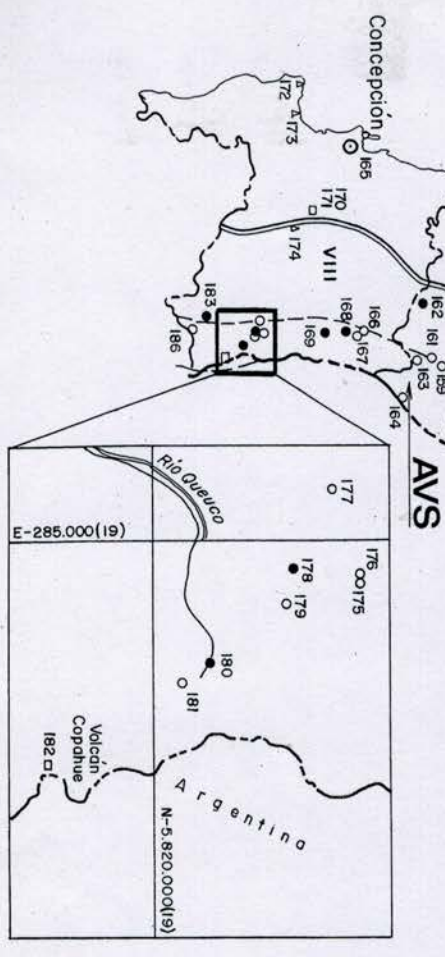




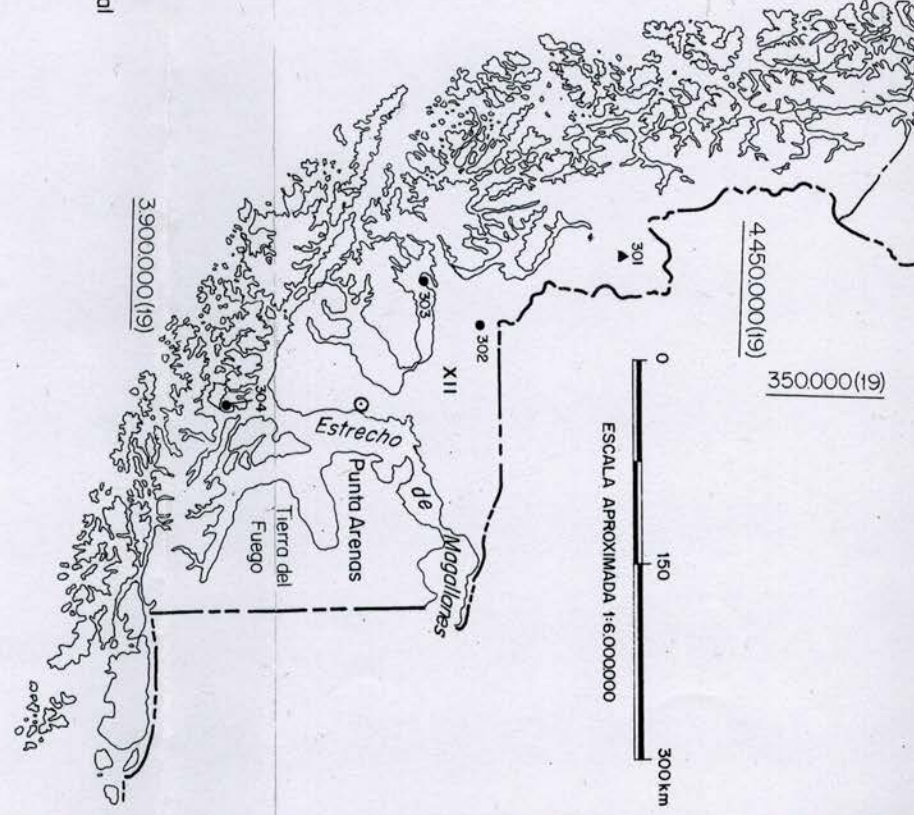


**AMBIENTES TERMALES**

AVA : Ambiente Volcánico Altiplánico  
 AFP : Ambiente Faja Pocucho  
 AC : Ambiente Cordillera Costa Central  
 AVS : Ambiente Volcánico Sur  
 AL : Ambiente Litoral o Costero  
 AFLO : Ambiente Faja Liquiñe - Ofqui



OCEA  
PACIFIC



- LEYENDA**
- Fuente termal sin análisis químico
  - Fuente termal con análisis químico
  - ▲ Fuente mineral sin análisis químico
  - ▲ Fuente mineral con análisis químico
  - Fuente mixta sin análisis químico
  - Fuente mixta con análisis químico

- SIMBOLOGIA**
- Ciudad o poblado
  - ==== Ruta 5 panamericana
  - ==== Ruta secundaria
  - Hidrografía
  - AFP Ambiente termal

A. HAUSER Y.

Figura 1 ampliada.

No.	Tipo	Denominación	Localización Coordenadas UTM		Región	Altura (m s.n.m.)	Temperatura (°C)	Aprovechamiento actual	Análisis químico	Referencias
			Latitud	Longitud						
50	T	Géiseres El Tatio	7.530.110	602.135	II	4.250	78-86°	S/a	X	Riso Patrón (1924); Brügger (1943a); Brügger (1945); Brügger (1947); Brügger (1950); Sánchez* (1963); Waring (1965); Lahsen* (1969); Lahsen (1976); Lahsen y Trujillo* (1975); Lahsen (1976); Díaz (1983); Lahsen (1986); Muñoz (1987); Berrios (1990); Fig. 7. Healy (1969)*; Trujillo* (1974); Lahsen (1975); CORFO* (1978); Lahsen (1986).
51	T	Baños Putana	7.508.175	599.495	II	4.230	18°	S/a		San Román (1896); Riso Patrón (1924); Brügger (1947); Healy (1967); Sanches (1969); CORFO* (1978); Ovalle (1984); Lahsen (1986); Fig. 14.
52	T	Baños Puritama	7.487.505	598.410	II	3.475	30-35°	S/a	X	CORFO* (1978); Letellier* (1978); INYGE (1991); Fig. 10.
53	T-M	Ojos de Tara	7.458.315	675.000	II	4.320	18-20°	S/a	X	Arce (1930)
54	M	Vertiente Cerro Moreno	7.449.481	345.504	II	240		S/a		Domeyko (1871b); Waring (1965); Healy (1967); Rojo y Cuadra*
55	T	Baños Mejillones	7.445.210	348.091	II	5	36°-37°	S/a		(1974); CORFO* (1978).
56	T	Baños Aguas Calientes	7.440.110	661.760	II	4.250	30-45°	S/a	X	CORFO* (1978); Letellier* (1978)
57	T	Baños Allitar	7.437.010	640.010	II	4.690	37-66°	S/a		Marinovic et al. (1976); CORFO* (1978); Letellier* (1978); Díaz (1983); Lahsen (1986).
58	M-T	Vertiente Termal Ojos de Hécar	7.424.010	632.803	II	4.240	30°	S/a		CORFO* (1978); B-108
59	T	Vertiente Termal Salar -Aguas Calientes	7.397.230	644.895	II	4.150	15-18°	S/a		Healy (1967); CORFO* (1978); Letellier* (1978); INYGE* (1991); Fig. 8.
60	M	Aguada Quepe (Socaire)	7.387.720	615.621	II	3.540	Tibia	S/a		CORFO* (1978)
61	M	Aguada de la Perdiz	7.381.839	652.975	II	4.480	Tibia	S/a		CORFO* (1978)
62	M	Aguada Quebrada Peine	7.379.605	598.175	II	2.640	15-18°	S/a		CORFO* (1978); B-120
63	T	Baños Tilopozo	7.370.015	577.780	II	2.340	25-27°	S/a	X	Riso Patrón (1924); Brügger (1947); Healy (1967); Lahsen (1976); CORFO* (1978); Díaz (1983); B-134.
64	T	Aguas Calientes Sur (Umorchota)	7.354.308	637.413	II	3.940	27-30°	S/a		Riso Patrón (1924); Trujillo* (1974); CORFO* (1978); Díaz (1983).
65	M	Salar Talar o Capur	7.352.505	625.615	II	3.920	Tibia	S/a		CORFO* (1978)
66	T	Baños Tuyaíto	7.350.760	643.805	II	4.040	28-33°	S/a		Marinovic et al. (1976); CORFO* (1978); Letellier* (1978); Díaz (1984); Lahsen (1986); B-136.
67	M	Baños Vega Pújar	7.320.000	606.610	II	3.560	40-45°	S/a		CORFO (1978); B-148
68	T	Ojos de Zorritas	7.290.345	530.395	II	4.186	19°	S/a		Riso Patrón (1924); CORFO* (1978).
69	T	Vertiente Termal Quebrada Las Zorras	7.290.020	530.310	II	3.620	19°	S/a		Domeyko (1871b); Riso Patrón (1924).
70	M	Aguas de la Providencia	7.284.793	462.864	II	2.385	20°	S/a		Riso Patrón (1924)
71	T	Vertiente Termal Zorritas (Salar Punta Negra)	7.273.715	538.792	II	4.066		S/a		Riso Patrón (1924); CORFO* (1978).

No.	Tipo	Denominación	Localización		Región	Altura (m s.n.m.)	Temperatura (°C)	Aprovechamiento actual	Análisis químico	Referencias
			Coordenadas UTM Latitud	Longitud						
72	T	Vertiente Termal Aguas Calientes (Volcán Lastarria)	7.238.215	537.908	II	3.672	21-24°	S/a	X	Riso Patrón (1924); CORFO* (1978); Letelier* (1978).
73	T	Vertiente Termal Laguna Azufrera (Volcán Lastarria)	7.224.010	548.605	II	4.380	30°	S/a	X	San Román (1869); CORFO* (1978); C-8.
74	T	Baños de Río Negro	7.068.000	518.120	III	4.150	35°	S/a	X	C.F. Ramirez (comunicación oral, 1993); C-65; Fig. 15.
75	T	Termas Juncalito	7.059.800	518.495	III	4.180	30-40°	S/a	X	Riso Patrón (1924); C-65.
76	T	Termas Laguna Verde	7.026.110	551.995	III	4.330	45-48°	S/a	X	C-78
77	T	Vertiente Termal Quebrada Las Lamas	7.006.220	500.000	III	3.910	27°	S/a	X	C-86
78	T	Baños Laguna Santa Rosa	7.004.190	483.160	III	3.760	35-45°	S/a	X	C. Bello (comunicación oral, 1994); C-86.
79	T	Baños de Montosa	6856750	415152	III	1.550		S/a		Riso Patrón (1924); D-6.
80	T	Baños de Maniflas	6843410	407430	III	3.125	20-25°	S/a		R. Moscoso (comunicación oral, 1994); D-22.
81	T	El Baño de Condoriaco	6.712.800	322.010	IV	1.325		S/a		S. Vogel (comunicación oral, 1994); D-47.
82	T	Baños del Toro	6.691.225	398.313	IV	2.512	45-60°	EB	X	Domeyko (1871a, b); En Viaje (1944c); Brüggen (1947); Waring (1964); Ovalle (1984); Riso Patrón (1924).
83	T	Baños Pastalitos	6.689.980	403.465	IV	4.000	35-45°	S/a		Riso Patrón (1924)
84	M	Manantial Agua de Las Animas	6.689.937	398.000	IV	2.485		S/a		Riso Patrón (1924)
85	T	Aguas Termiales Las Hediondas	6.688.133	403.481	IV	2.575	40°	S/a		Riso Patrón (1924)
86	T	Agua Termal El Volcán (Qda. Las Animas)	6.680.750	403.610	IV	3.850		S/a		Domeyko (1871)
87	T	Aguas del Volcán	6.678.950	401.800	IV	4.008	22°	S/a		Waring (1965)
88	M	Vertiente Aguas Negras	6.668.000	420.300	IV	4.600		S/a		Riso Patrón (1924)
89	T	Baños de Pangue	6.661.524	339.505	IV	1.600	35°	S/a		Riso Patrón (1924)
90	T-M	Termas Socos ('Sococs').	6.597.490	261.510	IV	75	26-30°	EB/PE	X	Domeyko (1871a); Darapski (1890); Riso Patrón (1924); En Viaje (1944d); Brüggen (1947); Brüggen* (1960); Sanches (1969); Muñoz (1981); Ovalle (1984).
91	T	Termas Los Baños	6.578.050	295.225	IV	800		S/a		D-83
92	T	Baños El Altar Punitaqui	6.578.000	295.400	IV	800	25-30°	S/a		S. Rivano (comunicación oral, 1994); D-83.
93	T	Baños El Gordito	6.565.750	371.810	IV	2.975	30°	S/a		S. Rivano (comunicación oral, 1994); G-6.
94	M	Aguas de Cataplico	6.388.749	281.057	V	220	19°	S/a		Domeyko (1871a); Darapski (1890); Riso Patrón (1924); Brüggen (1947); Waring (1965); Sanches (1969); Ovalle (1984).
95	T	Baños El Parrón	6.388.090	345.612	V	1.100		S/a		Riso Patrón (1924)
96	T	Baños Aguas Blancas	6.382.922	272.000	V	30		S/a		Domeyko (1871a); Darapski (1890); Riso Patrón (1924); En Viaje (1944e); Brüggen (1947); De Grys (1965); Waring (1965); Ovalle (1984).
97	T-M	Termas de Jahuel	6.381.210	348.810	V	875	20-22°	EB	X	Waring (1965); E-37
98	T	Baños La Higuera	6.379.090	345.510	V	775	25-30°	S/a	X	Waring (1965); E-37

No.	Tipo	Denominación	Localización		Región	Altura (m s.n.m.)	Temperatura (°C)	Aprovechamiento actual	Análisis químico	Referencias
			Coordenadas UTM Latitud	Longitud						
99	T	Baños Los Barros	6.377.000	355.215	V	1.125	20-25°	S/a	X	E-37
100	T	Baños El Corazón	6.370.510	355.460	V	930	21-25°	EB	X	Ovalle (1984); Padilla y Vergara (1985). Riso Patrón (1924)
101	T	Baños del Lobo	6.369.788	356.427	V	970	25-35°	S/a	X	Riso Patrón (1924); Brügger (1947); Ovalle (1984).
102	T	Baños de Aucó	6.360.100	340.690	V	975	16-30°	S/a	X	Riso Patrón (1924)
103	T	Baños La Totorá	6.358.110	350.860	V	975	25-30°	S/a	X	Brügger (1947); Ovalle (1984)
104	T	El Saladillo (Baños Agua Salada)	6.355.995	381.450	V	1.750	15-25°	S/a	X	Riso Patrón (1924)
105	T	Baños de Chacabuco	6.342.270	343.370	XIII	715	25°	S/a	X	Brügger (1947); Ovalle (1984)
106	M	La Maravillosa (Tiliti)	6.340.070	323.545	XIII	600		S/a		Riso Patrón (1924)
107	M	Manantial Aguas de Santa Elena	6.328.544	321.269	XIII	915	30-32°	S/a	X	Miquel (1851); Domeyko (1871b); Tomero (1872); Darapski (1890); Flores* (1944); En Viaje (1944f); Brügger (1947); Brügger (1950); De Grys (1965); Waring (1965); Sanches (1969); Ovalle (1984); Muñoz (1987).
108	T	Baños Collina (Peidehue)	6.327.610	351.030	XIII	915		EB		Flores* (1944); Brügger (1947); Ovalle (1984).
109	T	Baños Carvaján o Meulén (Peidehue)	6.327.230	349.890	XIII	800	22-25°	EB		Riso Patrón (1924)
110	M	Manantial Aguas Blancas	6.326.000	414.000	V	1.004		S/a	X	Riso Patrón (1924)
111	M	Vertiente Casablanca (Porvenir)	6.310.010	275.015	V	260		PE		Riso Patrón (1924)
112	T	Vertiente Termal San Enrique	6.307.810	361.350	XIII	885	25°	S/a	X	En Viaje (1944g)
113	M	Vertiente Mineral Bosques del Mauco	6.306.100	296.810	V	235		PE		E-56
114	T	Baños de Apoquindo	6.302.200	358.450	XIII	805	23-25°	S/a		Miquel (1851); Domeyko (1871b); Tomero (1872); Darapski (1890); Brügger (1947); De Grys (1964); Waring (1965); Ovalle (1984); Muñoz (1987); Hauser* (1987).
115	M	Vertiente Mineral Vital Apoquindo	6.301.050	358.830	XIII	850	19-21°	S/a	X	Domeyko (1871a); Domeyko y Dominguez (1866); Brügger (1947). Brügger* (1944)
116	T	Vertientes de Peñalolén	6.296.210	359.210	XIII	900	15-25°	S/a	X	Riso Patrón (1924); Waring (1965); Kazulovic y Hauser* (1979); Lahsen (1986).
117	T	Baños de Salinillas o Tupungato	6.293.100	398.800	XIII	1.640	27-33°	S/a		En Viaje (1944h); Brügger (1947); Rivera (1947).
118	M	Vertiente Sorrento	6.278.105	257.050	XIII	5-7		S/a		Ruiz* (1946); Brügger (1947); De Grys (1964); Sanches (1969); Ovalle (1984); Lahsen (1986); Muñoz (1987).
119	M	Fuente Mineral Millahue	6.271.980	376.510	XIII	1.050	15-14°	S/a	X	Riso Patrón (1924)
120	T	Baños Morales	6.257.050	401.950	XIII	1.850	22-28°	EB	X	Lahsen (1986)
121	M	Quebrada de Los Bañitos	6.255.831	409.009	XIII	2.190		S/a		Muñoz (1987)
122	T	Los Bañitos	6.255.830	409.008	XIII	2.165	80-90°	S/a		Rivera (1947); Waring (1965); Lahsen (1986).
123	T	Baños de Collina	6.254.100	409.150	XIII	2.450	50°	EB	X	Muñoz (1987)
124	M	La Leonera (Las Marcas)	6.232.890	353.110	VI	705	20-25°	EB		Ovalle (1984)

No.	Tipo	Denominación	Localización Coordenadas UTM		Región	Altura (m s.n.m.)	Temperatura (°C)	Aprovechamiento actual	Análisis químico	Referencias
			Latitud	Longitud						
125	T	Puente de Tierra (Río Maipo)	6.227.000	404.500	XIII	2.200	30-45°	S/a		Domeyko (1871a); Riso Patrón (1924); Figs. 12 y 13. Este estudio
126	T	Baños Azules (Río Barroso)	6.219.720	405.130	XIII	2.500	31-35°	S/a	X	M. Letelier (comunicación oral, 1994)
127	T	Baños La Mamá	6.211.540	399.320	VI	2.920	37°	S/a	X	Miquel (1851); Domeyko (1871b); Darapski (1890); Tornero (1872); Riso Patrón (1924); En Viaje (1944); Brügger (1947); Rodríguez (1951); De Grys (1964); Waring (1965); Lahsen (1974); Ovalle (1984); Muñoz (1987). Hauser (1990)
128	T	Termas de Cauquenes	6.209.505	356.910	VI	715	35-48°	EB		
129	M	Vertiente Copequén (‘Cachantún’)	6.205.500	322.815	VI	320	20-25°	PE		
130	T	Termas Los Bañitos	6.200.208	392.676	VI	2.160	61°	S/a		Riso Patrón (1924)
131	T	Baños Río de los Bañitos	6.200.208	392.676	VI	2.600	35°	S/a		Riso Patrón (1924)
132	T	Baños Las Calerías	6.199.340	395.150	VI	2.190	40-45°	S/a	X	M. Letelier (comunicación oral, 1994)
133	M	Vertiente Chanqueahue (‘Vital’)	6.190.250	336.810	VI	435		PE	X	Hauser (1990)
134	M	Agua del Patrón	6.180.810	369.315	VI	1.500		S/a		Riso Patrón (1924); F-27.
135	M	Agua de la Vida	6.180.410	369.000	VI	1.550		S/a		F-27
136	M	Agua de la Vida (Río Cipreses)	6.179.518	365.370	VI	1.560	13,5°	S/a		Domeyko (1871a); Riso Patrón (1924).
137	M	Agua del Muerto (de la Muerte)	6.176.320	368.562	VI	1.620	25°	S/a		Riso Patrón (1924); F-27.
138	M	Agua de la Iglesia	6.152.400	344.810	VI	850	20°	S/a	X	M. Letelier (comunicación oral, 1994)
139	T	Baños Los Humos	6.144.420	367.407	VI	2.500	70-90°	S/a		Este estudio
140	T	Termas del Flaco	6.131.050	369.179	VI	1.720	77°	EB	X	Domeyko (1871b); Riso Patrón (1924); Rivera (1947); Brügger (1947); De Grys (1964); Waring (1965); Sanches (1969); Ovalle (1984); Muñoz (1987); Fig. 21.
141	T	Termas San Pedro Teno	6.111.147	367.890	VI	2.300	34°	S/a	X	Klohn (1960); De Grys (1964); Lahsen (1986); Muñoz (1987). Riso Patrón (1924)
142	T	Baños Rapierno	6.108.800	231.810	VII	50	15-20°	S/a		Este estudio
143	T	Baños Higuierillas	6.101.000	235.210	VII	150	15-20°	S/a		Riso Patrón (1924); Klohn (1960); De Grys (1964); Muñoz (1987).
144	T	Baños del Azufre o Peteroa	6.096.110	351.427	VI	3.350	39°	S/a		Este estudio
145	T	Baños Gualleco	6.094.495	230.010	VII	110	15-20°	EB		F-35
146	T	Baños Las Yeguas	6.084.910	357.455	VI	1.950	25-35°	S/a	X	Riso Patrón (1924); Grunder (1987); F-35.
147	T	Baños de Llolli	6.084.120	357.790	VI	1.800	25-35°	S/a		Grunder (1987); F-35.
148	T	Baños de Pellejos	6.082.400	360.820	VI	2.100	35°	S/a		Riso Patrón (1924); En Viaje (1944); Brügger (1947); Ovalle (1984); Hauser (1995).
149	T	Baños Tanguao	6.076.505	229.795	VII	125	15-20°	EB	X	Domeyko (1871b); Tornero (1872); Riso Patrón (1924); Waring (1965); F-52.
150	T	Baños de Mondaca	6.074.410	340.505	VI	1.540	50-55°	S/a		Este estudio
151	T	Vertiente Termal Aguas Calientes	6.067.515	360.750	VII	2.600		S/a		F-73
152	T	Vertiente Termal Aguas Calientes (Descabezado Chico)	6.067.210	360.830	VII	2.600		S/a		

No.	Tipo	Denominación	Localización Coordenadas UTM Latitud Longitud	Región	Altura (m s.n.m.)	Temperatura (°C)	Aprovechamiento actual	Análisis químico	Referencias
153	M	Vertiente Pichiboque (Villa Alegre)	6.055.010 241.650	VII	150	15-25°	PE	X	Hauser (1995)
154	T-M	Termas de Panimávida Panimávida	6.040.450 281.990	VII	180	30-35°	PE/EB	X	Miquel (1851); Domeyko (1871a, b); Tomero (1875); Darapski (1890); Muller (1942); En Viaje (1944k); Contreras y Rodríguez (1945); Rivera (1947); Brügger (1947); De Grys (1964); Waring (1965); Sanches (1969); Ovalle (1984); Muñoz (1987); Hauser.
155	M	Vertiente Termal Rari	6.038.900 284.050	VII	220	21-25°			En Viaje (1944l); Rivera (1947).
156	T-M	Termas de Quinamávida ('Rari')	6.036.250 280.810	VII	200	17-30°	EB/PE	X	De Grys (1964); En Viaje (1944l); Ovalle (1984).
157	T	Baños de Isla	6.034.882 340.392	VII	2.320	26-31°	S/a	X	Riso Patrón (1924)
158	T	Baños de Campanario o Los Volcanes	6.022.615 357.125	VII	1.570	51-54°	S/a		Riso Patrón (1924); González y Vergara (1962); De Grys (1964); Muñoz (1981); Muñoz (1987).
159	T	Baños de Maule	6.006.830 361.105	VII	2.200	40-55°	S/a		Domeyko (1871b); Riso Patrón (1924). Gardeweg* (1980)
160	T	Baños del Salitre	5.997.450 311.110	VII	1.200	10-15°	S/a		Gardeweg* (1980)
161	T	Baños de la Turbia	5.988.500 305.180	VII	1.600	45-50°	S/a		Miquel (1851); Domeyko (1871b); Darapski (1890); Riso Patrón (1924); En Viaje (1944 m); Brügger (1947); Felsh (1947); Rivera (1947); Flores*
162	T	Termas de Catillo	5.980.815 262.235	VII	220	35-30°	EB	X	(1947); De Grys (1964); Waring (1965); Sanches (1969); Muñoz (1987); F-91.
163	T	Baños Longavi, Cajón de Ibáñez o Pablos	5.974.615 307.805	VII	1.400	81°	S/a		Domeyko (1871b); Riso Patrón (1924); Brügger (1947); Rivera (1947); Waring (1965); Ovalle (1984); F-93.
164	T	Vertiente Termal Las Zorras	5.964.300 340.000	VIII	1.280	13-17°	S/a		F-93
165	T	Baños Talcahuano	5.935.000 669.050	VIII	20	13-17°	S/a		Brügger (1947); Rivera (1947); Ovalle (1984).
166	T	Baños San Lorenzo (Nevados de Chillán)	5.928.800 285.905	VII	1.610	40-60°	S/a		Este estudio
167	T	Baños de Cato	5.924.310 290.180	VIII	1.570	33-36°		X	Tomero (1872); Riso Patrón (1924).
168	T	Termas de Chillán	5.913.618 285.890	VII	1.780	89°	EB		Miquel (1851); Domeyko (1871b); Tomero (1872); Phillipi (1899); Riso Patrón (1924); Brügger (1943a); En Viaje (1944n); Brügger (1947); De Grys (1964); Waring (1965); Lahsen (1978); Ovalle (1984); Muñoz (1985); Lahsen (1986); Muñoz (1987).
169	T	Baños Los Peucons	5.894.970 286.617	VIII	1.200	86°	S/a	X	Brügger (1947); Rivera (1947); F-112; C. Bello (comunicación oral, 1994).
170	T-M	Agua de la Vida	5.887.264 725.041	VIII	1.560	11-13,5°	S/a		Riso Patrón (1924); Brügger (1947).
171	M-T	Agua de la Vida (Estero Tapihue)	5.887.205 724.690	VIII	113		S/a		Domeyko (1871a); Riso Patrón (1924); Rivera (1947); Ovalle (1984).
172	M	Vertiente de la Providencia	5.886.110 626.380	VIII	5		S/a		Riso Patrón (1924)

No.	Tipo	Denominación	Localización UTM		Región	Altura (m s.n.m.)	Temperatura (°C)	Aprovechamiento actual	Análisis químico	Referencias
			Latitud	Longitud						
173	M	Vertiente La Cruz	5.876.025	647.818	VIII	500		S/a		Riso Patrón (1924)
174	M	Vertiente Colo Colo	5.870.294	736.419	VIII	30		S/a		Riso Patrón (1924)
175	T	Vertiente Termal Allin	5.842.000	289.410	VIII	1.500	50-60°	S/a		G-32
176	T	Vertiente Termal Allin-1	5.842.100	288.510	VIII	1.500		S/a		G-32
177	T	Baños San Lorenzo o Villucura	5.839.150	279.465	VIII	920		S/a		Domeyko (1871b); Rivera (1947); Waring (1965); Ovalle (1984); G-32. I. Zunino (comunicación oral, 1995); G-32. G-32
178	T	Baños de Quilaquin	5.834.880	287.885	VIII	1.240	70-75°	S/a	X	
179	T	Baños Ceniciento	5.834.250	291.550	VIII	1.275		S/a		Turistel (1988); G-32.
180	T	Baños de Nitrao	5.826.000	297.995	VIII	850	50-60°	EB	X	Domeyko (1871b); Tornero (1872); Riso Patrón (1924); Brügger (1947); Waring (1965); Ovalle (1984); Lahsen (1986); Turistel (1988).
181	T	Baños de Trapa-Trapa	5.823.105	300.100	VIII	916	50-60°	S/a		Groeber (1920); Riso Patrón (1924); En Viaje (1944); Brügger (1947); Rivera (1947); Ovalle (1984); Lahsen (1986).
182	T-M	Baños de Copahue	5.808.546	309.366	VIII	3.010	60-70°	EB		H. Moreno (comunicación oral, 1993) De Grys (1964); Aguirre y Levi (1974); Montero et al. (1981); Lahsen (1986); Muñoz (1987); Turistel (1988). Montero et al. (1981)
183	T	Baños de El Avellano	5.792.570	278.050	VIII	525		S/a	X	
184	T	Termas Pemehue	5.782.800	263.210	IX	700	37°	EB	X	
185	T	Termas de Havert	5.780.815	255.550	IX	495	30°	EB		
186	T	Baños de Lomin	5.780.000	289.000	VIII	625		S/a		G-53
187	T	Baños del Bajo	5.779.000	318.000	IX	1.700		S/a		G-54
188	T	Baños Pelehue	5.778.810	319.770	IX	2.011		S/a		G-54
189	T	Baños de Lolco	5.778.800	288.770	IX	650	25-35°	S/a	X	G-53
190	T	Termas Cuchillaue	5.771.885	278.915	IX	775	35-40°	S/a		G-52
191	T	Termas de Tolguaca	5.765.050	261.310	IX	1.150	82-50°	EB	X	Riso Patrón (1924); En Viaje (1944p); Brügger (1947); Rivera (1947); De Grys (1964); Montero et al. (1981); Ovalle (1984); Lahsen (1986); Muñoz (1987). C. Bello (comunicación oral, 1994)
192	T	Baños Santa Rosa	5.739.815	252.895	IX	570	58°	S/a		Riso Patrón (1924); En Viaje (1944q); Brügger (1947); Rivera (1947); Hevia* (1950); De Grys (1964); Sanches (1969); Montero et al. (1981); Ovalle (1984); Lahsen (1986); Muñoz (1987); Lahsen (1988).
193	T	Termas de Manzanar	5.739.230	264.910	IX	1.280	48°	EB	X	
194	M	Manantial Pozo de Oro	5.738.470	290.600	IX	920	Tibia	S/a		G-65
195	T	Baños del Toro (R. Blanco)	5.727.500	272.315	IX	1.375	40-95°	EB	X	G-75
196	T	Termas de Río Blanco	5.727.400	271.480	IX	1.080	90°	EB	X	En Viaje (1944r); Rivera (1947); Hevia* (1950); De Grys (1964); Montero et al. (1981); Ovalle (1984); Lahsen (1988); Muñoz (1987); G-75.
197	M	Agua de la Vaca	5.721.810	271.290	IX	1.150	60°	S/a		Muñoz (1987); G-75
198	T	Baños de Queipué	5.695.132	288.875	IX	2.200		S/a		Montero et al. (1981)
199	M	Baños Huechulepún	5.693.650	282.100	IX	800	20-22°	S/a	X	Montero et al. (1981)
200	T	Vertiente Termal Carliatquén	5.688.300	286.880	IX	1.240	25-30°	S/a		Este estudio



No.	Tipo	Denominación	Localización		Región	Altura (m s.n.m.)	Temperatura (°C)	Aprovechamiento actual	Análisis químico	Referencias
			Coordenadas UTM Latitud	Longitud						
201	T	Baños Molluco o Balboa	5.684.510	265.210	IX	800	74°	S/a	X	Montero <i>et al.</i> (1981); Turistel (1988).
202	T	Vertiente Itatino	5.683.031	254.509	IX	865	10-15°	S/a	X	Riso Patrón (1924)
203	T	Termas Río Blanco de Caburga	5.688.810	274.185	IX	865	49°	S/a	X	Montero <i>et al.</i> (1981); G-96.
204	T	Termas Río Blanco	5.688.213	274.038	IX	750	49°	EB	X	Y. Pérez (comunicación oral, 1996)
205	T	Termas de Toledo	5.659.896	276.721	IX	910	41°	S/a	X	Y. Pérez (comunicación oral, 1996)
206	T	Termas de Huife Alto o Los Pozones	5.659.893	276.721	IX	545	40°	EB	X	Montero <i>et al.</i> (1981)
207	T	Termas Quimey-Co	5.655.586	267.159	IX	470	51°	EB	X	Y. Pérez (comunicación oral, 1996)
208	T	Termas Huife Bajo	5.654.905	270.707	IX	525	55-60°	EB	X	Montero <i>et al.</i> (1981); Turistel (1988); G-96.
209	T	Pozos de Liucura	5.650.771	259.507	X	350	28°	EB	X	Y. Pérez (comunicación oral, 1996)
210	T	Termas de Pangui	5.649.515	277.510	X	900	48°	S/a	X	H. Moreno (comunicación oral, 1993)
211	T	Termas de Minelúe	5.643.510	265.685	IX	360	36-46°	EB	X	Tornero (1872); Riso Patrón (1924); Brüggen (1947); Rivera (1947); De Grys (1964); Aguirre y Levi (1964); Montero <i>et al.</i> (1981); Ovalle (1984); Lahsen (1986); Muñoz (1987); G-105.
212	T	Termas de Maichín	5.643.050	278.000	X	420	30°	S/a	X	H. Moreno (comunicación oral, 1993)
213	T	Termas de Ancamil	5.642.379	277.545	X	400	37°	S/a	X	Montero <i>et al.</i> (1981)
214	T	Termas San Luis	5.642.177	268.395	X	385	24-45°	EB	X	De Grys (1964); Montero <i>et al.</i> (1981); Lahsen (1986); Muñoz (1987); G-105.
215	M	Aguas Medicinales del Toro	5.641.559	269.330	IX	385	17°	S/a	X	Y. Pérez (comunicación oral, 1996)
216	T	Termas Trancura	5.636.048	281.205	X	410	25°	S/a	X	H. Moreno (comunicación oral, 1993)
217	T	Termas Rinconada 2	5.633.400	270.400	IX	620	26°	S/a	X	H. Moreno (comunicación oral, 1993)
218	T	Termas Rinconada 1	5.633.310	270.500	IX	600	40°	S/a	X	H. Moreno (comunicación oral, 1993)
219	T	Termas de Palguin	5.633.050	260.967	IX	850	35-46°	EB	X	En Viaje (1944s); Brüggen (1947); De Grys (1964); Sanches (1969); Montero <i>et al.</i> (1981); Ovalle (1984); Lahsen (1986); Muñoz (1987); Turistel (1988); G-104.
220	T	Termas Palguin 1	5.633.028	260.957	IX	730	39-46°	EB	X	Y. Pérez (comunicación oral, 1996)
221	T	Termas Cajón Negro	5.625.010	252.871	X	915	55-60°	S/a	X	C. Schiappacase (comunicación oral, 1992)
222	T	Termas Cajón Blanco	5.624.100	254.730	IX	890	37°	S/a	X	Y. Pérez (comunicación oral, 1996)
223	T	Termas Vergara	5.623.159	251.530	IX	730	45°	EB	X	Y. Pérez (comunicación oral, 1996)
224	T	Pozos de Cullán	5.614.421	248.616	IX	370	41°	EB	X	Y. Pérez (comunicación oral, 1996)
225	T	Termas Coñaripe o Pellatifa	5.608.870	249.370	X	265	75-80°	S/a	X	C. Schiappacase (comunicación oral, 1992)
226	T	Termas Liquife	5.597.710	256.330	X	340		EB	X	Riso Patrón (1924); Rivera (1947); Lahsen (1986); Turistel (1988); C. Schiappacase (comunicación oral, 1992).
227	T	Termas Quintoman-Punulaf	5.597.691	256.380	IX	350	62-82°	EB	X	Y. Pérez (comunicación oral, 1996)
228	T	Termas Hipólito Muñoz	5.595.233	261.213	IX	470	85°	EB	X	Y. Pérez (comunicación oral, 1996)
229	T	Termas Río Florín	5.557.916	743.327	X	240	55°	S/a	X	Y. Pérez (comunicación oral, 1996)
230	T	Termas Cerrillos	5.557.020	743.327	X	325	40°	EB	X	Y. Pérez (comunicación oral, 1996)
231	T	Termas de Oporto	5.551.901	245.650	X	310		EB	X	Turistel (1988)
232	T	Los Baños de Pillanleufú	5.551.750	245.360	X	275	30-50°	S/a	X	H-8
233	T	Baños Cupido	5.551.310	251.800	X	470	30-40°	EB	X	Y. Pérez (comunicación oral, 1996); H-8.
234	T	Baños Chihufo	5.547.010	250.355	X	330	82°	EB	X	Munnich (1908); Riso Patrón (1924); Lahsen (1986).
235	T	Termas de Ranco o Llifén	5.546.252	736.916	X	125	48°	S/a	X	Fonck (1869); Munnich (1908); Riso Patrón (1924); Waring (1965).

No.	Tipo	Denominación	Localización Coordenadas UTM		Región	Altura (m s.n.m.)	Temperatura (°C)	Aprovechamiento actual	Análisis químico	Referencias
			Latitud	Longitud						
236	T	Baños de Lillén	5.546.200	733.533	X	120	17°	S/a	X	Munnich (1908); Rivera (1947); De Grys (1964); Sanches (1969); Lahsen (1986); Muñoz (1987); Y. Pérez (comunicación oral, 1996). Riso Patrón (1924)
237	T	Vertiente Termal Huentelufú	5.541.245	251.500	X	500	24°	S/a	X	Y. Pérez (comunicación oral, 1996)
238	T	Vertiente Termal Los Baños	5.535.579	258.163	X	505	43°	S/a	X	Lahsen (1986)
239	T	Vertiente Termal Rupumeica	5.531.400	247.000	X	170	30-60°	S/a	X	Y. Pérez (comunicación oral, 1996)
240	T	Baños La Esperanza	5.530.931	260.521	X	620	60°	S/a	X	Y. Pérez (comunicación oral, 1996)
241	T	Baños Trahuico	5.518.629	731.802	XI	1.340		S/a	X	Moreno (1974); Moreno (1977); H-16.
242	T	Baños Los Venados	5.516.601	737.398	XI	1.510		S/a	X	Moreno (1974); Moreno* (1977).
243	T	Baños Las Sopas 1	5.514.170	740.793	X	1.555	83°	S/a	X	Y. Pérez (comunicación oral, 1996)
244	T	Baños Las Sopas 2	5.513.761	740.541	XI	1.560		S/a	X	Moreno (1974); Moreno* (1977); Y. Pérez (comunicación oral, 1996).
245	T	Baños Domos de Azufre	5.513.758	739.429	XI	1.580		S/a	X	Moreno (1974); Moreno* (1977)
246	T	Baños Las Sopas	5.513.447	740.445	X	1.570	83°	S/a	X	Y. Pérez (comunicación oral, 1996)
247	T	Vertiente Termal Las Azufreras	5.509.064	741.430	X	1.671		S/a	X	Moreno (1974); Moreno* (1977); Lahsen (1986); H-27.
248	M	Manantial Morro Solfataras	5.509.064	741.398	X			S/a	X	Moreno (1974); Moreno* (1977).
249	T	Vertiente Pangal	5.494.043	729.347	X	130	35°	S/a	X	Y. Pérez (comunicación oral, 1996)
250	T-M	Termas de Puyehue	5.489.901	726.101	X	350	50-75°	EB	X	Domeyko (1871b); Phillipi (1869); Riso Patrón (1924); En Viaje (1944); Brüggén (1947); Rivera (1947); De Grys (1964); Waring (1965); Sanches (1969); Moreno* (1977); Ovalle (1984); Lahsen (1986); Muñoz (1987); INYGE* (1994); H-26.
251	T	Baños Aguas Calientes	5.487.500	727.502	X	467	50-60°	EB	X	Y. Pérez (comunicación oral 1996); H-26.
252	T	Baños de Rupanco	5.473.466	733.959	X	150	70-80°	S/a	X	Fonck (1869); Riso Patrón (1924); Brüggén (1947); Ovalle (1984); S. Vogel (comunicación oral, 1994); Y. Pérez (comunicación oral, 1996).
253	T	Baños El Caillao	5.460.116	738.672	X	425	59°	EB	X	Y. Pérez (comunicación oral, 1996)
254	T	Baños Vuriloche o Liahuari	5.433.170	741.205	XI	210	35-45°	S/a	X	Riso Patrón (1924); Lahsen (1986); H-45.
255	T	Baños Las Juntas	5.429.762	747.729	X	350	73°	S/a	X	Y. Pérez (comunicación oral, 1996)
256	T	Baños de Cayutué	5.423.510	733.917	XI	190	30-35°	S/a	X	Y. Pérez (comunicación oral 1996); H-44.
257	T	Termas de Cochamó (Ralún)	5.417.778	723.773	X	0-5	17-28°	S/a	X	Fonck (1864); Domeyko (1871b); Riso Patrón (1924); Brüggén (1947); Rivera (1947); Waring (1965); Ovalle (1984). H-62
258	T	Vertientes Rollizos	5.410.726	723.829	X	0-5	23°	S/a	X	Y. Pérez (comunicación oral 1996); H-53.
259	T	Vertiente de Lobada o Baños Concha	5.401.815	726.905	X	0-5	20-25°	S/a	X	
260	T	Baños Sotomó (San Luis)	5.385.683	718.094	X	0-5	22-40°	EB	X	Fonck (1864); Domeyko (1871b); Riso Patrón (1924); Brüggén (1947); Rivera (1947); Steffen (1947); Waring (1965); Ovalle (1984); Lahsen (1986).
261	T	Baños de Puelo	5.382.128	722.929	X	70	25-40°	S/a	X	C. Arávalo (comunicación oral, 1994)
262	T	Vertiente Termal La Poza	5.376.500	747.500	X	30	30-35°	S/a	X	Este estudio
263	T	Vertiente Termal Mallín	5.375.000	742.000	X	25	35-45°	S/a	X	Este estudio
264	T	Vertiente Lago Cabrera	5.364.860	713.922	X	65	40°	S/a	X	Y. Pérez (comunicación oral, 1996)

No.	Tipo	Denominación	Localización		Región	Altura (m s.n.m.)	Temperatura (°C)	Aprovechamiento actual	Análisis químico	Referencias
			Coordenadas UTM Latitud	Longitud						
265	T	Vertiente Terminal Río Blanco	5.353.570	723.900	X	50	35-45°	S/a	X	Hauser (1989)
266	T	Baños Pichicolo	5.350.304	703.050	X	65	27°	S/a	X	Hauser (1989)
267	T	Termas Llancahué	5.332.470	702.550	X	0-5	23°	EB	X	Fonck (1864); Domeyko (1871b); Steffen (1947); Waring (1965); Hauser (1989).
268	T	Baños Cahuelmó	5.318.565	716.453	X	0-5	84°	S/a	X	Fonck (1864); Domeyko (1871); Waring (1965); Hauser (1989).
269	T	Termas Leiteú (Estero Soledad)	5.310.180	705.495	X	3-5		S/a		Fonck (1869); Riso Patrón (1924)
270	M	Fuente Ica (Bull)	5.308.500	683.630	X	0-5		S/a		Riso Patrón (1924)
271	T	Baños de Quinchao	5.306.750	611.000	X	0-5	17°	S/a		Riso Patrón (1924); Waring (1965).
272	T	Baños Porcelana	5.296.485	709.165	X	0-5	42°	S/a	X	Hauser (1989)
273	T	Vertiente Terminal Chilco	5.290.198	695.951	X	5-10	30-45°	S/a		Hauser (1989)
274	T	Vertiente Refñihué	5.282.000	705.000	X	15	35-40°	S/a	X	Riso Patrón (1924)
275	T	Vertiente Terminal El Peñón	5.280.000	698.910	X	105	31°	S/a	X	Hauser (1989)
276	T	Vertiente Terminal Lago Negro	5.266.135	697.580	X	103	30°	S/a	X	Hauser (1989)
277	T	Vertiente Termas Michinmahuida	5.239.810	713.125	X	375	50-65°	S/a	X	Hauser (1989); Fig. 22.
278	T	Termas El Amarillo	5.238.615	711.315	X	250	50-60°	EB	X	Hauser (1989); Fig. 11.
279	M	Mananital Yelcho	5.206.510	709.435	X	75	15-20°	S/a	X	Hauser (1989)
280	T-M	Baños Moraga	5.198.130	710.455	X	310	18-20°	S/a		Hauser (1989)
281	T	Vertiente Terminal Santa Lucía	5.189.350	708.175	X	280	30-40°	S/a		Hauser (1989)
282	T	Vertiente Terminal Río Frio	5.183.229	704.903	X	370	50-70°	S/a		A. Amigo y D. Segpi (comunicación oral, 1994)
283	T	Baños Puerto Bonito	5.130.750	682.195	XI	70	60-70°	S/a		Hauser (1989)
284	T	Baños de Risopatrón	5.122.452	689.810	XI	115	50-60°	S/a		J. Bravo (comunicación oral, 1997)
285	T	Vertiente Terminal Aeropuerto	5.092.980	690.000	XI	5	15-25°	EB	X	Hauser (1989)
286	T	Termas Puyuguapi	5.079.510	687.515	XI	5-15	80°	EB		Steffen (1947); Ovalle (1984); Hauser (1989).
287	T-M	Vertiente Terminal Queulat	5.067.890	694.810	XI	10	20-25°	S/a		Hauser (1989)
288	T	Vertiente Terminal Trapananda	5.042.210	666.830	XI	5-10	30-45°	S/a		Hauser (1989)
289	T	Baños Puerto Pérez (Chilconal)	4.989.115	640.560	XI	0-5	40-90°	S/a	X	Fonck (1864); Riso Patrón (1924); Waring (1965); Hauser (1989).
290	T	El Baño	4.988.310	636.490	XI	0-5	86°	S/a		Riso Patrón (1924); I-94.
291	T	Termas Quitralco	4.950.880	626.124	XI	15	50-65°	EB	X	Hauser (1989)
292	T	Vertiente Terminal Estero Negro	4.936.480	707.810	XI	480	50-60°	S/a		A. Amigo (comunicación oral, 1995)
293	T	Vertiente Terminal Huemules	4.918.000	632.610	XI		40-60°	S/a		Hauser (1989)
294	T	Vertiente Terminal Cupuelán	4.905.210	624.500	XI		40-60°	S/a		Hauser (1989)
295	T	Baños Huiña	4.868.360	668.350	XI	285	40-55°	S/a	X	Hauser (1989)
296	T	Termas El Engaño	4.853.110	669.810	XI	310	35-40°	S/a		Hauser (1989)
297	T	Baños Puerto Cristal	4.839.110	699.400	XI	206	30-40°	S/a		Hauser (1989)
298	T	Fuente Terminal Caleta Román	4.839.057	460.426	XI	5-10	50-65°	S/a	X	C. Porter (comunicación oral, 1994)
299	T	Fuente Terminal Bahía Astruیدا	4.835.352	460.450	XI	10-15	40-50°	S/a		C. Porter (comunicación oral, 1994)
300	T	Fuente Terminal Bahía Charles	4.826.130	466.880	XI	5-10	40-50°	S/a		R. Cortés (comunicación oral, 1993)
301	M	Vertiente Laguna Amarga	4.349.467	659.107	XII	330		S/a	X	J. Rojas (comunicación oral, 1997)
302	T	Pozo El Zurdo**	4.215.897	350.580	XII	191	100°	S/a		F. García (comunicación oral, 1993)
303	T	Fuente Terminal Punta Laura (Aguas Calientes)	4.159.700	674.627	XII	10	50-55°	S/a	X	F. García (comunicación oral, 1993)
304	T	Fuente Terminal Seno Mercurio	3.980.458	348.158	XII	10	50-70°	S/a		R. Cortés (comunicación oral, 1994)

\*\* Cuando la perforación de este pozo de exploración petrolífera se encontraba a 3.764 m de profundidad, fluyó a la superficie por el interior de las barras de perforación, vapor a una temperatura de 120°C, con una presión de 200 a 300 p.s.i.

Very faint, illegible text at the top left of the page.

A large, faint block of illegible text spanning the upper middle and right portions of the page.

A block of faint, illegible text located in the middle section of the page.



A block of faint, illegible text located in the lower middle and right portions of the page, below the diagram.

A block of faint, illegible text at the bottom of the page.



