

## FUENTES TERMALES Y MINERALES EN TORNO A LA CARRETERA AUSTRAL, REGIONES X-XI, CHILE

ARTURO HAUSER

Servicio Nacional de Geología y Minería, Casilla 10465, Santiago, Chile

### RESUMEN

Durante los trabajos de construcción de la Carretera Longitudinal Austral, a partir de 1982, se registraron 25 fuentes termales (24 propiamente termales y una mineral), en las Regiones X y XI. Cinco de ellas poseen instalaciones para aprovechamiento como balneario termal (Llancahué, El Amarillo, Puerto Bonito, Puyuhuapi y Quitrilco). Los análisis químicos indican que la mayoría de las aguas termales son cloruradas y/o sulfuradas y sódicas. Son predominantemente neutras y afloran a temperaturas entre 23° y 84°C, lo que permite calificarlas de hipotermales. Los regímenes de descarga son, generalmente, continuos, con leves oscilaciones atribuibles a precipitaciones pluviales y/o acción de mareas. La mayoría de las fuentes guarda una estrecha relación espacial con las zonas de falla Liquiñe-Ofqui y Yanteles-Melimoyu. Estas constituyen vías de infiltración para las aguas meteóricas; su posterior calentamiento en profundidad, debido al elevado gradiente geotérmico local, favoreció su ascenso convectivo, portando elementos minerales extraídos por lixiviación, a partir de los granitoides del Batolito Norpatagónico.

*Palabras claves:* Termas, Falla Liquiñe-Ofqui, Carretera Austral, Hidroquímica, Chile austral.

### ABSTRACT

Twenty-five hot springs (24 thermal and 1 mineral water occurrences) were identified and studied in Regiones X and XI, during the construction of the Carretera Longitudinal Austral (Southern Longitudinal Road), in the past seven years. Five of them have some kind of development as bathing resorts (Llancahué, El Amarillo, Puerto Bonito, Puyuhuapi and Quitrilco). Hydrochemical analyses indicate that nearly all the waters are neutral, and rich in chloride, sulfate and sodium. They reach the surface at temperatures between 23° and 84°C. Water flux is continuous, with slight fluctuations related to rains and/or tidal influences. Most of the springs are closely related to the Liquiñe-Ofqui and Yanteles-Melimoyu fault zones. These faults seem to control the inflow of meteoric waters; their subsequent heating at depth in a high geothermal gradient environment favours their convective rising, carrying dissolved minerals leached from the granitoids of the North-Patagonian Batholith.

*Key words:* Thermal springs, Liquiñe-Ofqui fault, Carretera Austral, Hydrochemistry, Southern Chile.

### INTRODUCCION

La construcción de la Carretera Longitudinal Austral (CLA), en su tramo Puerto Montt-Cochrane (41°30' y 47°00'S, Regiones X y XI) permitió mejorar el acceso a numerosas fuentes termales y descubrir una importante cantidad de ellas. Los hallazgos se produjeron durante las campañas de exploración realizadas para estudiar diversas alternativas de trazado. En comparación con otras zonas del país, el segmento estudiado incluye un gran número de fuentes termales. Su abundancia se debe, en parte, a las características estructura-

les y volcánicas de la región. Además, el régimen pluvial provee de importantes caudales capaces de descender, a través de fisuras (fallas), hasta profundidades corticales, donde imperan elevadas gradientes térmicas, vinculadas a la actividad volcánica regional, parte de la cual está, a su vez, controlada por las fallas regionales de gran desarrollo.

El aumento del flujo de viajeros, debido a la habilitación de la CLA, ha permitido que un creciente número de ellos derive hacia aquellas áreas que

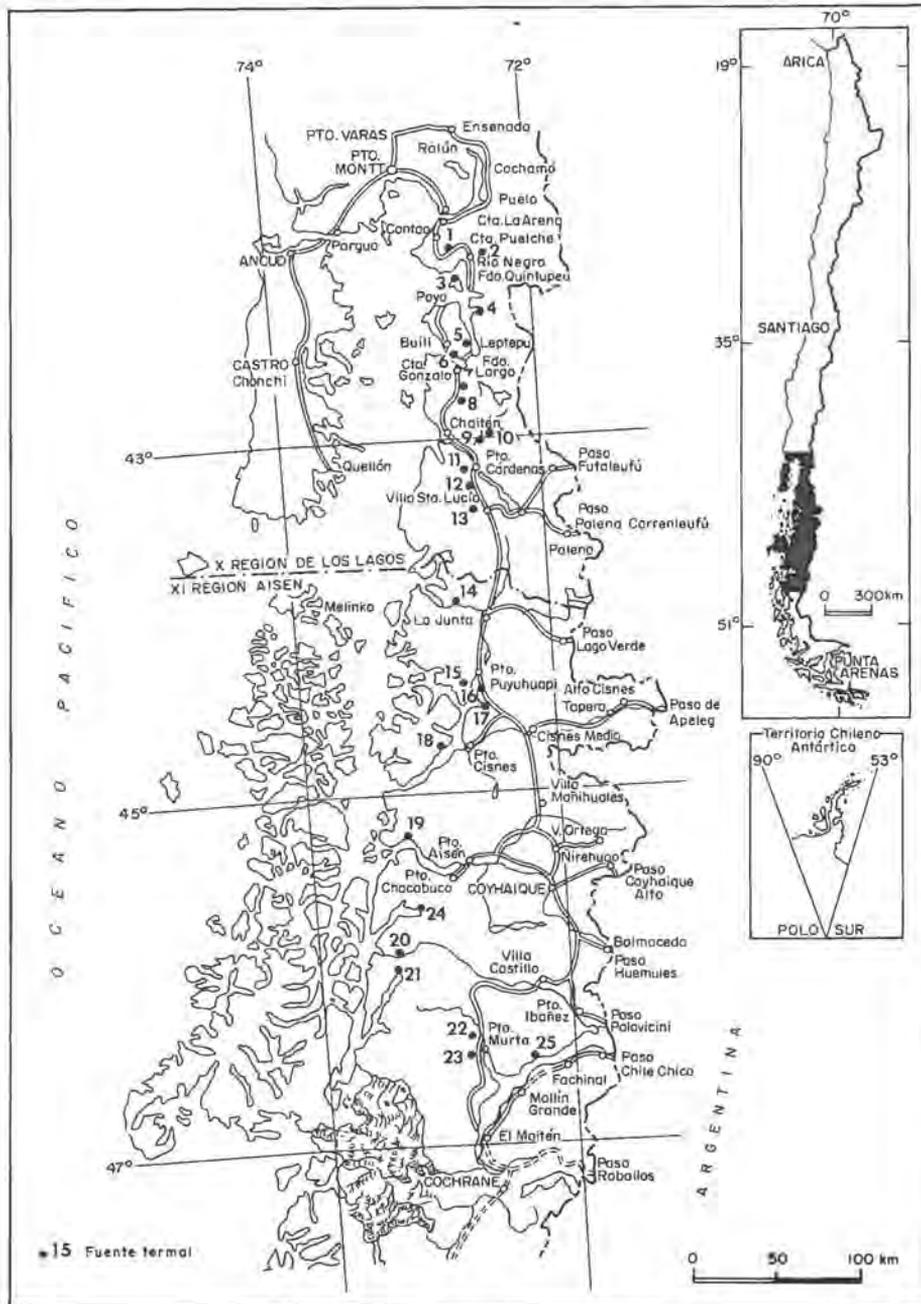


FIG. 1. Zona del estudio y ubicación de las fuentes termales. 1. Pichicolo; 2. Río Blanco; 3. Llancahué; 4. Cahuelmó; 5. Porcelana; 6. Chilco; 7. El Peñón; 8. Lago Negro; 9. El Amarillo; 10. Michinmahuida; 11. Yelcho; 12. Moraga; 13. Santa Lucía; 14. Puerto Bonito; 15. Puyuhuapi; 16. Aeropuerto; 17. Queulat; 18. Trapananda; 19. Chilconal (Puerto Pérez); 20. Huemules; 21. Cupquellán (Bahía Erasmo); 22. Huiña; 23. El Engaño; 24. Quitralco; 25. Cristal.

cuentan con instalaciones para aprovechar los recursos termales. El difícil acceso para algunas fuentes termales, especialmente aquéllas ubicadas en torno a canales y fiordos, constituyó una limitación en la ejecución del estudio. Para estos casos, se contó con la colaboración de personas que, aprovechando la realización de viajes de trabajo, accedieron a tomar muestras de agua. A ellas se le proporcionaron envases especiales, incluyendo fracciones acidificadas, para la determinación confiable del hierro en el laboratorio. Debido a lo anterior, y en el caso de algunas muestras, transcurrieron lapsos cercanos a los 45 días entre la fecha de toma y la ejecución del análisis; situación que tiende a provocar incertidumbres puntuales en la determinación de algunos elementos. La tabla 1 detalla la ubicación de las fuentes identificadas en el estudio.

No existen criterios rigurosos que permitan establecer a partir de qué temperatura una fuente de agua puede ser considerada termal. La bibliografía

proporciona variados criterios que consideran aspectos asociados al clima y temperatura absoluta del agua.

Bogamdiv (*in* IGME, 1984, p. 48) calificó las aguas como tibias a partir de los 18°C y calientes a partir de los 37°C. Según Schoeller (*in* IGME, 1984, p. 48), las aguas pueden clasificarse como: hipertermales o termales:  $t > t_m + 4^\circ\text{C}$ ; ortotermales o normales:  $t_m \leq t < t_m + 4^\circ\text{C}$ ; hipotermales o frías:  $t < t_m$ ; siendo  $t$  = temperatura del agua y  $t_m$  = temperatura media anual del lugar.

En general, se consideran aguas minerales a aquéllas que contienen concentraciones anormalmente altas de sustancias disueltas y oligominerales, si el residuo seco, a los 100°C es superior a 500 mg/l y, de mineralización media si el residuo seco, a 180°C, es superior a 1000 mg/l. Por otra parte, si la temperatura es elevada, se las considera termominerales. A unas y otras, se les atribuyen propiedades curativas (aguas medicinales y/o minero-medicinales). Estas propiedades estarían

TABLA 1. NOMENCLATURA Y UBICACION DE FUENTES TERMALES Y MINERALES\*

Número asignado a la Fuente	Nombre de la Fuente	Coordenadas UTM	
		Latitud	Longitud
1	Pichicolo	702.751	5.350.121
2	Río Blanco**	723.100	5.353.570
3	Llancahué	702.550	5.332.471
4	Cahuelmó	716.453	5.318.555
5	Porcelana	709.765	5.296.445
6	Chilco	695.951	5.290.198
7	El Peñón	698.910	5.280.090
8	Lago Negro**	696.880	5.266.135
9	El Amarillo	711.315	5.238.615
10	Michinmahuida**	713.125	5.239.810
11	Yelcho	709.435	5.206.510
12	Moraga	710.455	5.198.130
13	Santa Lucía**	708.175	5.189.350
14	Puerto Bonito	682.195	5.130.750
15	Puyuhuapi	687.515	5.079.510
16	Aeropuerto	690.000	5.092.990
17	Queulat	694.810	5.067.890
18	Trapananda**	666.830	5.042.210
19	Chilconal (Puerto Pérez)	640.560	4.989.115
20	Huemules**	632.610	4.918.000
21	Cupquelán (Bahía Erasmo)	624.500	4.905.210
22	Huiña	668.350	4.868.360
23	El Engaño	669.810	4.853.110
24	Quitralco	-----	4.950.880
25	Cristal	699.400	4.839.110

\* Ubicación calculada a partir de cartas 1:50.000 del Instituto Geográfico Militar.

\*\* Ubicación aproximada.

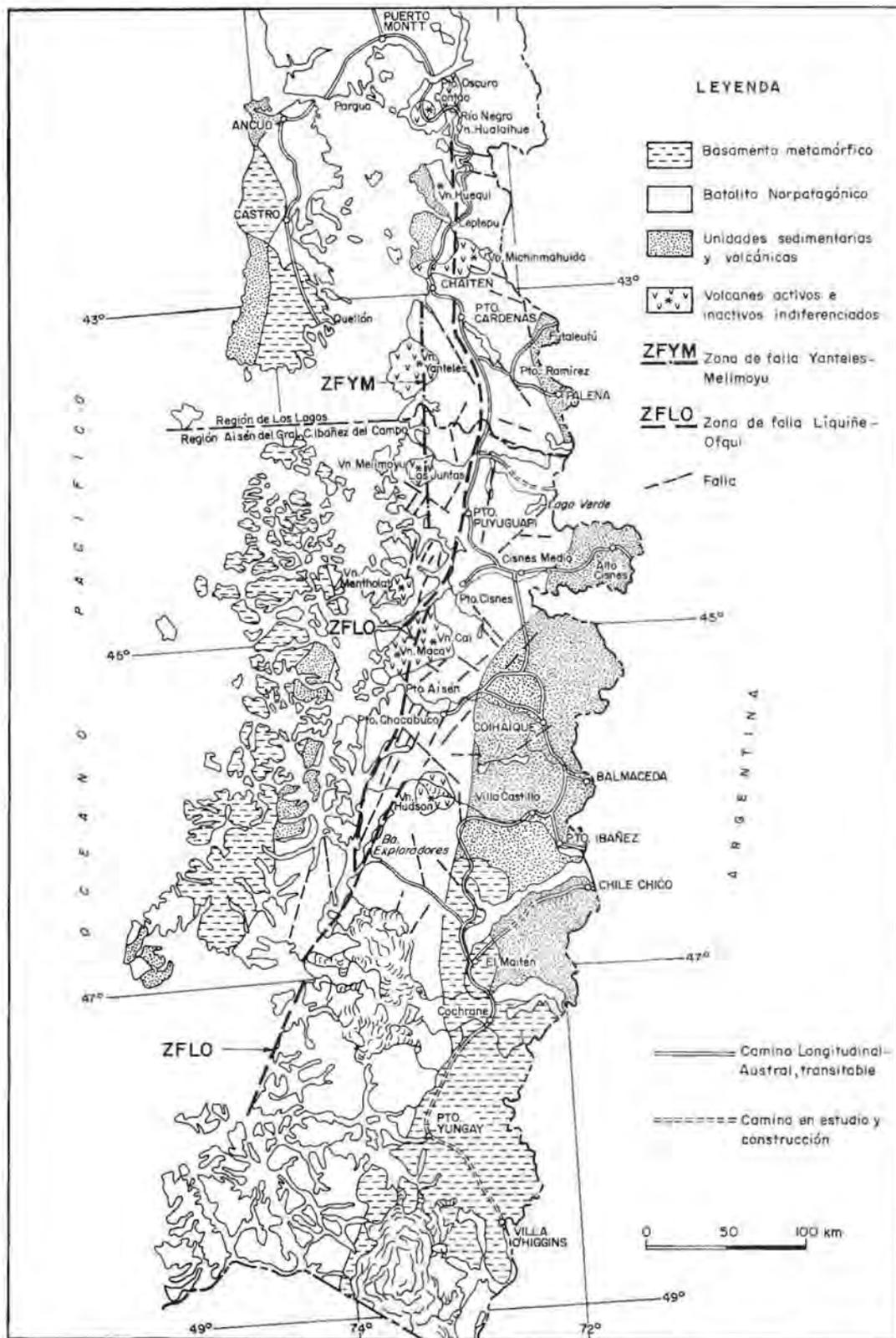


FIG. 2. Principales rasgos geológicos y estructurales de la zona

vinculadas con la presencia de ciertos elementos traza (hierro, calcio, magnesio, fluor, yodo, sodio, potasio y otros). Muchas aguas termales presentan una calidad superior a las aguas potables normales, por su bajo contenido de bacterias y virus.

El presente estudio tiene por objetivo proporcionar un catastro y descripción de las fuentes terma-

les conocidas hasta la fecha en la zona, acompañada de una caracterización hidroquímica de sus aguas. Un breve análisis geológico y estructural se utiliza para establecer el origen y comportamiento de las fuentes termales, determinando su vinculación con megafallas y actividad volcánica.

## MARCO GEOLOGICO

Un mapa geológico regional, del territorio objeto de estudio, se presenta en la figura 1. Desde su extremo norte, en la localidad de Río Negro de Hualaihué (conocida en la actualidad como Hornopirén), hasta los 45°S, la CLA atraviesa terrenos modelados en rocas graníticas del Batolito Norpatagónico, de edad jurásico-terciaria. Desde la latitud 45°S, hasta la localidad de Cochrane, la carretera atraviesa terrenos sedimentarios, volcánicos y rocas metamórficas, de edad cretácica y paleozoica. En la figura 3 se presenta un mapa con los rasgos lineales o 'lineamientos' de la región, realizado con apoyo de imágenes satélites. En la zona de Aisén, el lineamiento más importante coincide con la Zona de Falla Liquiñe-Ofqui (ZFLO). Su traza, con un desarrollo cercano a los 950 km, la transforma en una de las mayores del país. Moreno y Parada<sup>1</sup> la identificaron en el segmento andino de la X Región entre Liquiñe y Reloncaví. Con posterioridad, Hervé *et al.* (1979) detectaron su presencia en Chiloé continental y Región de Aisén, desde donde alcanza, hacia el sur, hasta Itsmo de Ofqui y Golfo de Penas. De acuerdo con Hervé, F. (1984), la ZFLO posee, en su mitad norte, un rumbo cercano a N10°E; en su extremo sur, en la zona de Aisén, se asocia a un sistema de fallas en 'cola de caballo', cóncavas hacia el oeste. La ZFLO afecta, principalmente, a rocas graníticas del Batolito Norpatagónico y, en distintos segmentos, se asocia con zonas cataclásticas y/o miloníticas que según Hervé, M. (1976), pueden alcanzar hasta 3 km de ancho.

Originalmente, Hervé, M. (1976) sugirió que la falla sería una estructura transcurrente dextral, cuyo desplazamiento habría ocurrido entre el Cretácico Superior y el Terciario inferior. Posteriormente, Hervé *et al.* (1979) indicaron que la falla habría tenido movimiento tanto dextral como normal. Recientemente, García *et al.* (1988), basándose

en estudios paleomagnéticos, indicaron que la ZFLO sería una estructura transcurrente dextral cuyo bloque occidental se habría desplazado hasta 500 km hacia el norte durante los últimos 50 Ma; postulando su actividad incluso durante el Mioceno tardío-Pleistoceno temprano. Cortes de camino efectuados durante la construcción de la CLA en la zona de Cuesta Moraga (Fig. 3), permiten establecer que la ZFLO interrumpe una secuencia de depósitos fluviales holocenos deformados y afectados por microfalloamiento, lo cual sugiere, al menos allí, una actividad post-holocena. De acuerdo con Hervé, M. (1976), la ZFLO correspondería a una estructura producida por subducción oblicua de la corteza oceánica del Pacífico, mientras que, según Forsythe y Nelson (1985), ella estaría relacionada, más bien, al efecto 'indenter' causado por la

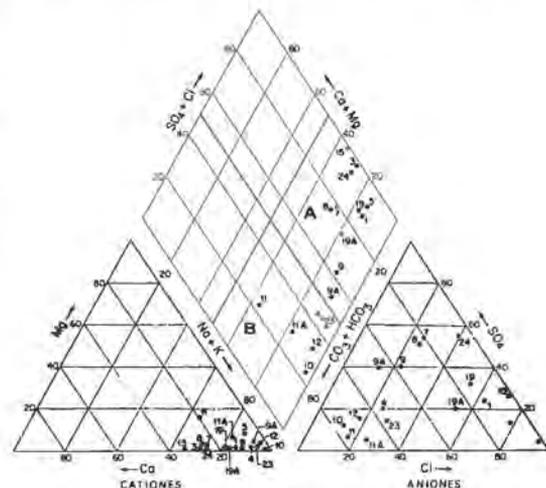


FIG. 3. Gráfico trilineal de Piper que muestra la composición y clasificación de las aguas analizadas. A. Aguas cloruradas y/o sulfatadas, sódicas; B. Aguas bicarbonatadas, sódicas. Números correspondientes a las fuentes citadas en la tabla 1.

<sup>1</sup> 1974. Geología del área Liquiñe-Neltume y Lago Pihueico. Instituto de Investigaciones Geológicas (Inédito), 55 p. En Archivo del Servicio Nacional de Geología y Minería.

colisión de la Dorsal de Chile con la fosa de Chile-Perú, frente a la Península de Taitao.

De acuerdo con Munizaga *et al.* (1988), durante el Mioceno, se emplazaron plutones graníticos a lo largo de la falla. Esta ejerce, además, un notable control sobre la distribución de los centros volcánicos cuaternarios de los Andes del sur de Chile. En el extremo norte de la ZFLO (región de Valdivia), los mayores centros volcánicos se sitúan al este de la falla; mientras que, al sur de Osorno, los principales estrato-volcanes cuaternarios (Calbuco-Hornopirén, Huequi, Yanteles, Melimoyu, Mentolat, Macá, Cai) se ubican al oeste. También, en el eje de los valles glaciales de los ríos Amarillo, Michinmahuida, Frío, Palena y Risopatrón y, directamente sobre la ZFLO, se encuentran numerosos

conos volcánicos monogenéticos, post-glaciales.

Otro importante megalineamiento, que aquí se denomina Zona de Falla Yanteles-Mentolat (ZFYM), se reconoce en imágenes de satélites al occidente de la ZFLO, siendo paralelo a ésta. Su traza sobrepasa los 100 km de largo entre los 43°30' y 44°30'S (Fig. 3). Los volcanes Yanteles, Melimoyu y Mentolat, junto con algunos esteros y ensenadas (Pichipillán), así como las termas de Puerto Bonito, estarían estrechamente controladas por este importante rasgo tectónico.

A lo largo de la trayectoria de la ZFLO y ZFYM se han identificado numerosas fuentes termales, confirmando que las zonas de fallas han constituido vías favorables para la circulación hidrotermal.

### CATASTRO DE FUENTES

La primera etapa consistió en una revisión de la información disponible sobre fuentes termales, acompañadas de entrevistas a personas que, en función de su actividad, han tenido oportunidad de recorrer la zona.

De este modo se logró individualizar un total de 24 fuentes termales y una fuente con aguas minerales (Fig. 2, Tabla 1). Conocida su ubicación, se procedió a la etapa de muestreo, con ajuste a procedimientos estandarizados, recolectándose 18 muestras provenientes de 13 fuentes termales y una fuente de aguas minerales.

#### CARACTERISTICAS HIDROQUIMICAS DE LAS AGUAS TERMALES

La tabla 2 resume los valores representativos de análisis físicos y químicos, en aguas provenientes de diversas fuentes termales de la región. Con anterioridad a este trabajo, Waring (1965) había proporcionado algunos antecedentes acerca de las fuentes termales de Llancahué y Cahuelmó; en la primera midió una temperatura de 58°C, detectando la presencia de Na, SO<sub>4</sub>, Cl y H<sub>2</sub>S libre; para la segunda mencionó una temperatura de 55°C, y un alto contenido de Ca y HCO<sub>3</sub>. El intervalo de las temperaturas, medidas en las fuentes durante el presente trabajo, se sitúa en el intervalo 40-55°C. Las temperaturas más altas se obtuvieron en El Amarillo, Puyuhuapi, Michinmahuida y Cahuelmó, valores que, en el caso de Cahuelmó y Puyuhuapi,

parecen estar asociados con una circulación muy profunda del agua termal.

En Chile, se carece de valores confiables del gradiente geotérmico regional. Sin embargo, Muñoz (1987) estimó, para la Cuenca de Santiago, un incremento de 1°C por cada 18,1 m de profundidad. Extrapolando este valor a la zona estudiada, y considerando una temperatura superficial media anual de 13°C, a 1,6 km se alcanzaría una temperatura de 100°C. Este valor debe ser considerado como mínimo debido a la existencia de manifestaciones volcánicas muy recientes a lo largo de la ZFLO. La magnitud de la ZFLO parecería indicar que ésta se extiende hasta profundidades mayores que 3 km. Debido a ello, es posible que las aguas de percolación se enfrenten, a relativamente poca profundidad con una importante fuente calórica, retornando convectivamente a la superficie y portando iones disueltos provenientes de la lixiviación de granitoides del Batolito Norpatagónico.

El total de sólidos disueltos varía entre 173 y 770 mg/l (aguas relativamente diluidas). Aguas con alta dilución como aquéllas de Pichicolo, Cahuelmó, son comunes en caso de circulación muy profunda, a través de fallas y fracturas en rocas graníticas (White *in* De Grys, 1965, p. 426). La alta dilución de las aguas en El Peñón, Lago Negro, El Amarillo y El Engaño, parecería deberse, sin embargo, a la proximidad de las fuentes con cauces de agua superficiales. En estos casos, la presencia de terrenos permeables, facilitaría el aporte y mezcla con aguas superficiales en los puntos de

TABLA 2. HIDROQUIMICA DE LAS FUENTES TERMALES

Muestra No.	Localidad	Temperatura media en la fuente (°T)	Régimen de descarga	Ambiente litológico	Depositación de sales	Relación estructural	pH	T°C	Conductividad umhos/cm	Dureza total	Dureza carbonatada	Dureza no carbonatada	Alcalinidad total	Anhidrido carbónico (disuelto) (3)	Ca	Mg	Na	K	Cu	Fe	Mn	HCO3	CO3	Cl	NO3	SO4	As	B	SiO2	Total sólidos disueltos	Residuo total a 103°C	Mg Ca	Fecha d Analisis	Certificado No.
1	Pichicolo	27	Continuo	Depósitos fluviales	—	—	7,15	25,0	333 (2)	26,00	20,00	8,00	—	3,00	10,00	0,75	65,00	0,84	<0,01	0,20	0,75	24,00	0,00	78,00	—	42,00	<0,05	0,38	24,00	233,00	230,00	0,750	27-04-8	577-2
3	Llancahue	23	Con influencia de mareas	Areniscas	Eflorescencia	Zona de fracturamiento	6,65	25,0	3380 (2)	556,00	9,90	546,10	—	4,00	22,00	0,65	655,00	14,00	0,01	0,20	0,65	12,00	0,00	1.323,00	—	105,00	<0,06	1,20	39,00	2.366,00	2.490,00	0,002	24-04-8	577-1
4	Cahuelmó	84	Continuo	Granodioritas	—	Zona de fracturamiento	8,25	27,0	256	9,00	9,00	0,00	55,00	—	3,30	0,10	43,00	1,10	<0,01	<0,1	0,10	67,00	0,00	18,00	—	19,00	<0,05	0,10	62,00	179,00	190,00	0,030	09-05-8	599-4
5	Porcelana	60 (1)	Continuo	Depósitos fluviales	—	ZFLO	7,00	14,0	—	342,00	122,00	220,00	—	28,00	89,00	29,00	530,00	19,00	0,02	0,34	29,00	149,00	0,00	846,00	—	195,00	1,90	11,80	127,00	1.912,00	2.010,00	0,320	28-09-8	670-1
7	El Pañón	31 (1)	Con influencia de precipitaciones	Depósitos fluviales	—	ZFLO	8,50	24,0	—	45,00	30,00	15,00	—	—	17,00	0,55	52,00	1,50	<0,01	<0,05	0,55	27,00	4,80	30,00	3,00	88,00	0,18	0,40	28,00	226,00	237,00	0,030	26-11-8	698-3
8	Lago Negro	30 (1)	Con influencia de precipitaciones	Depósitos fluviales	—	ZFLO	7,65	19,0	—	45,00	30,00	15,00	—	1,60	17,00	0,60	51,00	1,45	<0,01	0,14	0,60	37,00	0,00	30,00	—	82,00	0,60	0,60	24,00	225,00	236,00	0,030	21-04-8	754-1
9	El Amarillo	54	Continuo	Depósitos fluviales	—	—	7,30	22,0	236 (2)	12,00	12,00	0,00	37,00	18,00	4,64	0,12	38,00	0,78	0,03	0,17	0,12	45,00	0,00	15,00	—	37,00	<0,05	0,10	47,00	165,00	173,00	0,010	09-03-8	599-1
9A	El Amarillo	54	Continuo	Depósitos fluviales	—	—	9,10	21,0	236	7,60	7,60	0,00	42,00	0,00	3,00	0,03	39,00	0,60	0,01	<0,2	0,03	9,80	20,00	10,00	—	35,00	0,07	0,10	52,00	165,00	175,00	0,030	24-11-8	577-3
10	Michinmahuida	62	Continuo	Llano aluvional	—	—	9,92	20,0	—	3,00	3,00	0,00	91,00	0,00	1,30	0,04	52,00	1,40	<0,01	1,64	0,04	0,00	53,00	10,00	—	14,00	<0,10	0,10	94,00	229,00	241,00	0,270	21-04-8	754-2
11	Yalcho	10-20 (1)	Con influencia de precipitaciones	Llano aluvional	Abundante óxido de Fe	ZFLO(?)	6,35	19,8	3.207	104,80	1.048,00	0,00	1.568,00	—	288,00	80,00	470,00	19,00	—	—	80,00	1.941,00	0,00	271,00	—	110,00	—	—	66,00	2.245,00	2.370,00	0,740	26-10-8	242
11A	Yalcho	10-20 (1)	Con influencia de precipitaciones	Llano aluvional	—	ZFLO(?)	7,20	22,0	3.109	675,00	675,00	0,00	1.380,00	194,00 (3)	122,00	90,00	576,00	33,00	0,03	5,88	90,00	1.684,00	0,00	340,00	—	109,00	<0,05	5,80	73,00	2.176,00	2.290,00	0,760	09-03-8	599-2
12	Moraga	18	Con influencia de precipitaciones	Areniscas	—	ZFLO	8,05	22,0	2.280	74,00	74,00	0,00	711,00	31,00 (3)	13,00	10,00	554,00	10,00	0,01	1,15	10,00	868,00	0,00	176,00	—	313,00	0,20	8,30	83,00	1.596,00	1.680,00	0,006	09-03-8	599-3
15	Puyuhuapi	80	Continuo	Granodioritas	—	ZFLO	6,60	18,0	—	450,00	12,00	438,00	—	6,50	179,00	0,90	394,00	9,80	0,01	0,09	0,90	15,00	0,00	673,00	<0,50	340,00	<0,05	—	57,00	1.662,00	1.745,00	0,030	31-08-8	656
15A	Puyuhuapi	80	Continuo	Granodioritas	Eflorescencias de CO3	ZFLO	—	—	—	—	—	—	—	—	180,30	4,80	—	347,00	—	Ind. (5)	4,80	—	—	649,00	—	480,00	—	0,50	63,60	—	1.796,00 (4)	0,030	26-11-8	—
19	Chilconal	41 (1)	Continuo	Llano aluvional	—	Volcán Macá	6,20	21,0	1.046	—	—	—	—	—	37,00	2,20	190,00	15,00	<0,01	<0,10	2,20	88,00	0,00	206,00	—	161,00	<0,05	0,10	77,00	732,00	770,00	0,060	09-05-8	599-5
19A	Chilconal	41 (1)	Continuo	Llano aluvional	—	Volcán Macá	7,87	24,0	—	201,00	175,00	26,00	—	5,00	74,00	3,90	372,00	30,00	0,02	0,12	3,90	214,00	0,00	403,00	10,00	302,00	—	0,10	155,00	1.460,00	1.532,00	0,050	26-11-8	698-2
23	El Engaño	35-40 (1)	Continuo	Granodioritas	—	Zona de fracturamiento	8,90	15,0	—	9,00	9,00	0,00	37,00	0,00	2,60	0,80	52,00	1,20	0,02	0,08	0,60	12,00	28,00	24,00	<0,50	27,00	<0,05	0,10	83,00	226,00	237,00	0,230	28-09-8	670-2
24	Quitralco	50-60 (1)	Continuo	Granodioritas	—	Falla marginal a la ZFLO	7,67	28,5	—	99,00	26,00	73,00	—	1,30	38,00	0,80	130,00	3,10	0,02	0,10	0,80	32,00	0,00	110,00	<0,50	201,00	<0,05	0,20	41,00	540,00	567,00	0,020	26-11-8	698-1
				Granodioritas	—	Falla marginal a la ZFLO	5,50	—	1.340	—	—	—	35,00	—	67,40	0,22	—	21,70	—	—	0,22	—	—	187,90	—	370,00	0,02	—	—	—	890,00	0,003	— 11-8	113-J

Notas: (1) Valor estimativo.  
(2) Valores indirectos obtenidos a partir de la expresión: conductividad = 0,65 / TSD de Iorns et al., 1965.  
(3) CO2: libre.

(4) Residuo a 180°C  
(5) Indicio.  
- Concentraciones expresadas en Mgl.

- Análisis realizados en el Laboratorio Químico del Servicio Nacional de Geología y Minería, excepto la muestra 24A, que fue analizada en el Instituto Bacteriológico del Servicio Nacional de Salud.  
- Los resultados de la muestra 15A fueron tomados de Ovalle (1984).

surgencia. Valores más elevados de sólidos disueltos se alcanzan en Chilconal (1.460 mg/l), Moraga (1.596 mg/l), Puyuhuapi (1.662 mg/l), Porcelana (1.912 mg/l), Yelcho (2.210 mg/l) y Llancahué (2.366 mg/l).

Los valores medios de SiO<sub>2</sub> varían entre 24 y 94 mg/l, levemente superiores al contenido promedio en aguas subterráneas normales. Los valores más altos corresponden a muestras de Porcelana (127 mg/l) y Chilconal (155 mg/l).

El pH de las aguas (6,20-7,75) es cercanamente neutro. Valores más elevados (8,9-9,92) se registraron en El Engaño, El Amarillo y Michinmahuida. El pH es un índice aproximado de la cantidad de CO<sub>2</sub> libre; un alto pH se asocia, normalmente, a aguas sódico-carbonato-bicarbonatadas. Valores tan altos como en El Engaño, indicarían que la casi totalidad del CO<sub>2</sub> original ha reaccionado o que el agua tenía una temperatura tan alta que gran parte del CO<sub>2</sub> fue liberado en forma de vapor al aproximarse a la superficie (White, 1957, p. 1671). Las aguas minerales de Yelcho (Muestra 11A; Tabla 2) se caracterizan por contenidos anormalmente altos de CO<sub>2</sub> (194 mg/l), lo cual se reconoce a simple vista en el punto de surgencia (abundantes burbujas). El CO<sub>2</sub> es un gas relativamente soluble; sus concentraciones normales se sitúan en el intervalo de 1-30 ppm, correspondiendo los valores más bajos a aguas en contacto fácil con la atmósfera (Custodio *et al.*, 1976, p. 205). Las aguas carbónicas naturales se originarían ya sea por la intensa oxidación de materia orgánica o bien por aportes volcánicos. En la fuente de Yelcho, las aguas afloran en un terreno llano con mal drenaje superficial y abundante desarrollo vegetal ("mallines"; Hauser, 1984), debido a lo cual se admite que sus características carbonatadas derivarían de la abundancia de materia orgánica en torno a la zona de surgencia.

Los cationes dominantes corresponden al Ca y Na; en el primer caso (Ca) destacan los altos valores registrados en Llancahué (222 mg/l), Yelcho (288 mg/l) y Puyuhuapi (180 mg/l). En cuanto al Na, los valores más elevados se obtuvieron en Llancahué (655 mg/l), Yelcho (576 mg/l) y Moraga (554 mg/l). En Llancahué se observó travertino en torno a los puntos de surgencia termal, probablemente originado a partir de la precipitación de carbonato de calcio. Custodio *et al.* (1976, p. 1075) señalaron que la presencia de travertino

indica que "las temperaturas del subsuelo son bajas y que la zona caliente está a gran profundidad". Valores anormalmente altos de Fe y Mn (5,9 y 2,5 mg/l) se detectaron en la fuente Yelcho (Muestra 11A, Tabla 2). El hierro otorga una típica coloración anaranjada tanto al fango que tapiza el fondo del tazón, en el cual surge el agua, como al marco de madera que lo protege. Contenidos bajos de Mg (inferiores a 1 mg/l), como ocurre en 10 de las 14 fuentes analizadas, junto a valores bajos en la relación Mg/Ca, lo que ocurre en las muestras de Yelcho, Porcelana y Moraga "son característicos de un sistema acuoso de alta temperatura y poca profundidad..." (Custodio *et al.*, 1976, p. 1075).

Los aniones dominantes corresponden a bicarbonato con valores particularmente altos en las muestras de Yelcho y Moraga (en el intervalo 868-1914 ppm). En muestras de Llancahué, Porcelana y Puyuhuapi se encontraron valores bastante altos en cloruros (1323, 846 y 161 mg/l). Dos análisis de Puyuhuapi proporcionaron valores altos en sulfato (en el intervalo 340-480 mg/l). Podrían estar genéticamente ligados a oxidación de pirita, mineral normalmente abundante en las rocas graníticas del sector.

Los contenidos de boro se sitúan en valores comparables con aquéllos obtenidos en 22 muestras de aguas termales en Chile Central (De Grys, 1965). Similar comportamiento denotan los valores de la relación Mg/Ca. Valores extremos de 0,75 y 0,76 en muestras de Pichicolo y Moraga, respectivamente, sólo se comparan con los proporcionados por De Grys (1965) en Baños de Azufre y Volcán Chillán.

De acuerdo con el diagrama triangular de Piper (Fig. 3) las aguas analizadas admiten la siguiente calificación:

- a. **Cloruradas y/o Sulfatadas Sódicas:** Pichicolo, Llancahué, Porcelana, El Peñón, Lago Negro, El Amarillo, Puyuhuapi, Chilconal, Quitraco.
- b. **Bicarbonatadas Sódicas:** Cahuelmó, Michinmahuida, Yelcho, Moraga, El Engaño.

En resumen, la composición dominante de las aguas analizadas, es compatible con sólidos disueltos derivados por lixiviación de rocas graníticas, calentadas por percolación a profundidades  $\leq 3$  km y movilizadas hacia la superficie por convección.

## POSIBILIDADES DE USO

El aprovechamiento que en la actualidad se hace de las fuentes termales es mínimo; sólo cinco fuentes de las registradas cuentan con instalaciones para dar albergue temporal a turistas. Las que disponen de mejor infraestructura corresponden a Puyuhuapi, Quitrilco y Llancahué, siendo rústicas las construidas en El Amarillo y Puerto Bonito. En las fuentes que registran las mayores temperaturas (Cahuelmó, El Amarillo, Michinmahuida, Puyuhuapi, Quitrilco), el recurso alcanzaría un caudal suficiente para satisfacer las demandas de agua caliente de eventuales instalaciones de baños termales y/o de calefacción doméstica. También sería posible su uso para calefacción en instalaciones del tipo invernadero. Previo al abatimiento del Fe y Mn a nivel de las exigencias potables (Nch 409/1 Ofic. 84\*: Fe 0,3 ppm y Mn

0,10 mg/l) resultarían adecuadas para consumo humano las aguas provenientes de la vertiente Yelcho (Muestras 11 y 11A); su contenido de 194 mg/l de CO<sub>2</sub>, 122 mg/l de Ca, 90 mg/l de Mg y 1684 mg/l de HCO<sub>3</sub>, mucho más alto que los valores medios de aguas potables normales, justifican su calificativo de 'aguas minerales'. En cuanto al eventual uso de las fuentes termales como reservorios geotérmicos hay que indicar que éstos, para alcanzar un interés práctico, deben tener temperaturas superiores a los 180°C, junto con un volumen adecuado; el reservorio debe poseer una permeabilidad que asegure la 'entrega' de fluidos hacia los pozos; su factibilidad económica de explotación se vincula con la profundidad del reservorio. Estas condiciones no se alcanzan, aparentemente, en el caso de las fuentes analizadas.

## CONCLUSIONES

En la zona de Chiloé continental y Aisen existe un gran número de fuentes de aguas termales y minerales, con temperaturas variables en los puntos de surgencia entre 40° y 55° C. Sus características hidroquímicas (aguas cloruradas, bicarbonatadas sódicas, sulfatadas sódicas, pH cercanamente neutro), el volumen de sólidos disueltos y grado de dilución son compatibles con un origen por percolación de aguas superficiales a través de fallas y fracturas, asociadas a las ZFLO y ZFYM. Estas aguas, al alcanzar profundidades máximas de hasta 3 km son calentadas y devueltas a la su-

perficie por circulación convectiva, extrayendo diferentes iones de las rocas graníticas del Batolito Patagónico, durante el circuito.

Existe una clara relación espacial (y genética) entre fuentes termales y estructuras mayores, tales como las ZFLO y ZFYM, siendo probable que un importante número de manifestaciones a lo largo de estas trazas, permanezca aún sin ser detectado. Considerando el despoblamiento propio de esta región del país, no cabe duda que, con el tiempo, allí se registrarán numerosos nuevos hallazgos de fuentes termales y/o minerales.

## AGRADECIMIENTOS

El autor desea dejar expresa constancia de su reconocimiento respecto de las personas o instituciones que colaboraron eficientemente para materializar el presente trabajo y, particularmente, en lo que compete a la toma y entrega de muestras de agua, señores Antonio Horvath K., Samuel Barrios M., César Ibérti T. (Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas); personal del Comando Militar del Trabajo con base en Puerto Montt y Coyhaique; Sr. Mariano Fernández (Sociedad Chi-

lena de Exploraciones), Francisco Hervé (Departamento de Geología y Geofísica, Universidad de Chile); Enrique Godoy de la Vega (Concesionario Municipal Termas El Amarillo). Carmen Espejo y Aída Acevedo (Laboratorio Químico del Servicio Nacional de Geología y Minería) estuvieron a cargo de los análisis químicos. El ingeniero Juan Kazulovic K. revisó la versión original, proporcionando valiosas sugerencias.

\* Norma chilena oficial para agua potable.

## REFERENCIAS

- Castany, G. 1974. Tratado práctico de aguas subterráneas. *Ediciones Omega*, 672 p. Barcelona.
- Custodio, E.; Llamas, M.R. 1976. Hidrogeología subterránea. Vol. 2. Ediciones Omega, 2350 p. Barcelona.
- De Grys, A. 1965. Some observations on the Hot Springs of Central Chile. *Water Resources Research*, Vol. 1, No. 3, p. 415-428. USA.
- Forsythe, R.; Nelson, E. 1985. Geological manifestations of ridge collision; Evidence from the Golfo de Penas-Taitao basin, Southern Chile. *Tectonics*, Vol. 4, N° 5, p. 447-495.
- García, A. ; Beck, M.; Burmester, R.; Munizaga, F.; Herve, F. 1985. Paleomagnetic reconnaissance of the region de los Lagos, Southern Chile, and its tectonic implications. *Revista Geológica de Chile*, Vol. 15, No. 1, p. 13-30.
- Hervé, F.; Araya, E.; Fuenzalida, J.; 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. 1976. Estudio geológico de la falla Liquiñe-Reloncaví. In *Congreso Geológico Chileno*, No. 1, *Actas*, Vol. 1, p. B39-B-56. Santiago.
- Hervé, M. 1984. La zona de falla Liquiñe-Ofqui, en Liquiñe. *Universidad de Chile, Departamento de Geología y Geofísica, Comunicaciones*, No. 34, p. 101-105.
- IGME (Instituto Geológico y Minero de España). 1984. Mapa geocientífico del Medio Natural, provincia de La Coruña. Editorial del IGME, 90 p.
- Jorns, W.V.; Hembree, C.H.; Oakland, G.L. 1965. Hydrologic techniques and criteria used in appraising the surface-water resources. In *Water resources of the upper Colorado river Basin*. Technical Report. *U.S. Geological Survey, Professional Paper*, No. 441, p. 41-73.
- Munizaga, F.; Hervé, F.; Brook, M.; Pankhurst, R.; Snelling, N. Drake, R. (In press) Geochronology of the granitoids of the Lake region of South Central Chile (39°-42°S). Preliminary results. *Journal of South American Earth Sciences*.
- 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.
- 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.

## APENDICE: METODOS ANALITICOS

Las muestras fueron recolectadas en terreno en envases de plástico de 1 litro; en un segundo envase de 100 ml, se tomó una muestra paralela, acidificada con ácido nítrico, para determinación de elementos metálicos (Cu, Fe, Mn). La totalidad de las muestras fueron analizadas en el Laboratorio Químico del Servicio Nacional de Geología y Minería, en Santiago. En terreno sólo se efectuaron determinaciones de la temperatura de las aguas en su fuente.

Técnicas analíticas empleadas:

pH: Determinación electrométrica empleando un electrodo de vidrio calomelano.

Alcalinidad: Titulación electrométrica con una solución diluida de ácido sulfúrico y el empleo de un electrodo de vidrio calomelano.

Sulfatos: Determinación gravimétrica por precipitación con cloruro de bario.

Cloruros: Titulación con una solución de nitrato de plata, empleando cromato de potasio como indicador del punto final.

Nitratos: Concentraciones superiores de 2 mg/l de NO<sub>3</sub> mediante el método Kjendahl; valores inferiores, aplicación del método espectrográfico de la Brucina.

Calcio - magnesio - sodio - potasio - litio - cobre - hierro - manganeso: Espectrofotometría de absorción atómica previa adición de elementos modificadores de las interferencias químicas y de ionización.

Arsénico: Determinación espectrofotométrica del método de Dietil-ditiocarbonato de plata.

Silíce: Determinación espectrofotométrica del método del azul de molibdeno.

Boro: Titulación potenciométrica con hidróxido de sodio, previa formación del complejo de boro con manitol.