

Baños de Apoquindo: Caracterización, hidroquímica, modelo hidrotermal y alternativas de aprovechamiento

ARTURO HAUSER Y.

Geólogo
Servicio Nacional de Minería y Geología

RESUMEN

El estudio proporciona antecedentes hidrogeológicos respecto de una singular subaprovechada y normalmente desconocida fuente termal chilena: Baños de Apoquindo. Se ubica en el segmento terminal de la quebrada Los Almendros, comuna de Las Condes, Región Metropolitana; genéticamente, la fuente se vincula con la zona de Falla Pocuro. Se dispone de antecedentes referenciales que señalan que los Baños de Apoquindo fueron objeto de un activo aprovechamiento entre los años 1890 y 1942. Dispone de aguas hipotermales, neutras, cálcico-magnésicas-sulfatadas-cloruradas; registros termométricos efectuados durante aproximadamente 110 años, indican que, en general, las aguas termales denotan una gran estabilidad, con escasas variaciones tanto en su termalismo, como carácter químico. El actual caudal aflorante, producto de un rústico sistema de captación, es de 3.3 l/seg. con temperaturas en el rango de 19,9 a 22,0° C. La atractiva ubicación de las fuentes de Apoquindo, unido al carácter físico-químico de sus aguas, constituyen valiosos antecedentes para respaldar posteriores estudios de detalle y/o inversiones, destinados a optimizar su actual precario aprovechamiento.

ABSTRACT

Apoquindo Baths: Genetic and hydrothermal characterization, hydrothermal model and alternative uses. This study provides hydrogeologic data in relation to a particular underexploited and largely unknown Chilean hot spring: Apoquindo Baths located at the lower section of the Los Almendros ravine, in Las Condes County, Metropolitan Region. Genetically, the spring is related to the Pocuro Fault Zone. Available studies indicate that Apoquindo Baths were actively exploited between 1890 and 1942. Apoquindo Baths contain hypothermal, neutral calcic-magnesian-sulfatic chloride waters. Temperature and chemical data collected over a period of approximately 110 years indicate, on the whole, that the thermal waters are very stable, with scarce variation in their thermal and chemical nature. The present outflow, obtained by means of a rustic capture system, corresponds to 3.3 liters/sec. with mean annual temperatures in the range of 19.9° to 22.0° C. The opportune location of Apoquindo Baths, together with the physicochemical characteristics of their waters, should stimulate further detailed studies and/or investments intended to improve their utilization beyond the current minimal level.

INTRODUCCION

Históricamente, en Chile ha existido una estrecha relación entre las denominaciones de las fuentes de aguas minerales y/o termales y la toponimia. El término "baño", desde épocas remotas, ha sido utilizado para designar a ciertos lugares o núcleos poblacionales en los cuales se disponía de agua de buen carácter como fármaco o alimento. Numerosos "baños" se ubican a todo lo largo de Chile, especialmente hacia los domínios andinos, aledaños a importantes centros volcánicos. Fueron objeto de intensas explotaciones desde la época colonial hasta aproximadamente la década del 50. Los más concurridos dispusieron de adecuadas instalaciones hoteleras, hacia las cuales acudía importante número de clientes ávidos de someterse a variados tratamientos terapéuticos, para recuperar su salud deteriorada por múltiples ma-

les. Ello condicionó una atractiva actividad que a partir de la década del 50 experimentó un paulatino y constante descenso; numerosas instalaciones fueron temporalmente cerradas; en otras, su concurrencia se vio severamente disminuida, incluyendo su reorientación hacia otras actividades.

Estas circunstancias restaron interés comercial a un gran número de fuentes termales y/o minerales, lo que se tradujo en la virtual desaparición de muchas de ellas. Aquellas situadas en torno a zonas urbanas lejos de cobrar importancia en respuesta a agresivos planes de desarrollo urbano, con una intensa ocupación de terrenos, terminaron por sucumbir en el semiabandono o la subexplotación.

Especial mención merecen las fuentes de Apoquindo, por su sorprendente ubicación geográfica, prácticamente incorporada al casco urbano de Santiago.

Varias referencias bibliográficas señalan sus características e importancia entre 1851 y 1987: Miquel (1851); Domeyko (1871); Domeyko y Domínguez (1866); Tornero (1872); Darapsky (1890); Risopatrón (1924); De Grys (1965); Hauser (1987) Y (1997).

El autor intenta a través de este breve estudio rescatar los olvidados conocimientos técnicos de esta singular fuente; su análisis y complementación con investigaciones respecto de su actual comportamiento podrían contribuir a poner en marcha nuevos estudios o proyectos destinados a

optimizar el aprovechamiento de este importante recurso hidrotermal.

LOCALIZACION

Los Baños de Apoquindo se ubican en la comuna de Las Condes, al oriente de Santiago, sobre el eje del punto de confluencia de las quebradas Grande y Los Almendros, hacia la cota 775 m s.n.m., entre los cerros La Gloria o Apoquindo y Los Rulos' (figura 1). Al lugar se accede desde

FIGURA 1

ZONA UBICACION DEL ESTUDIO Y MARCO GEOLOGICO ESTRUCTURAL

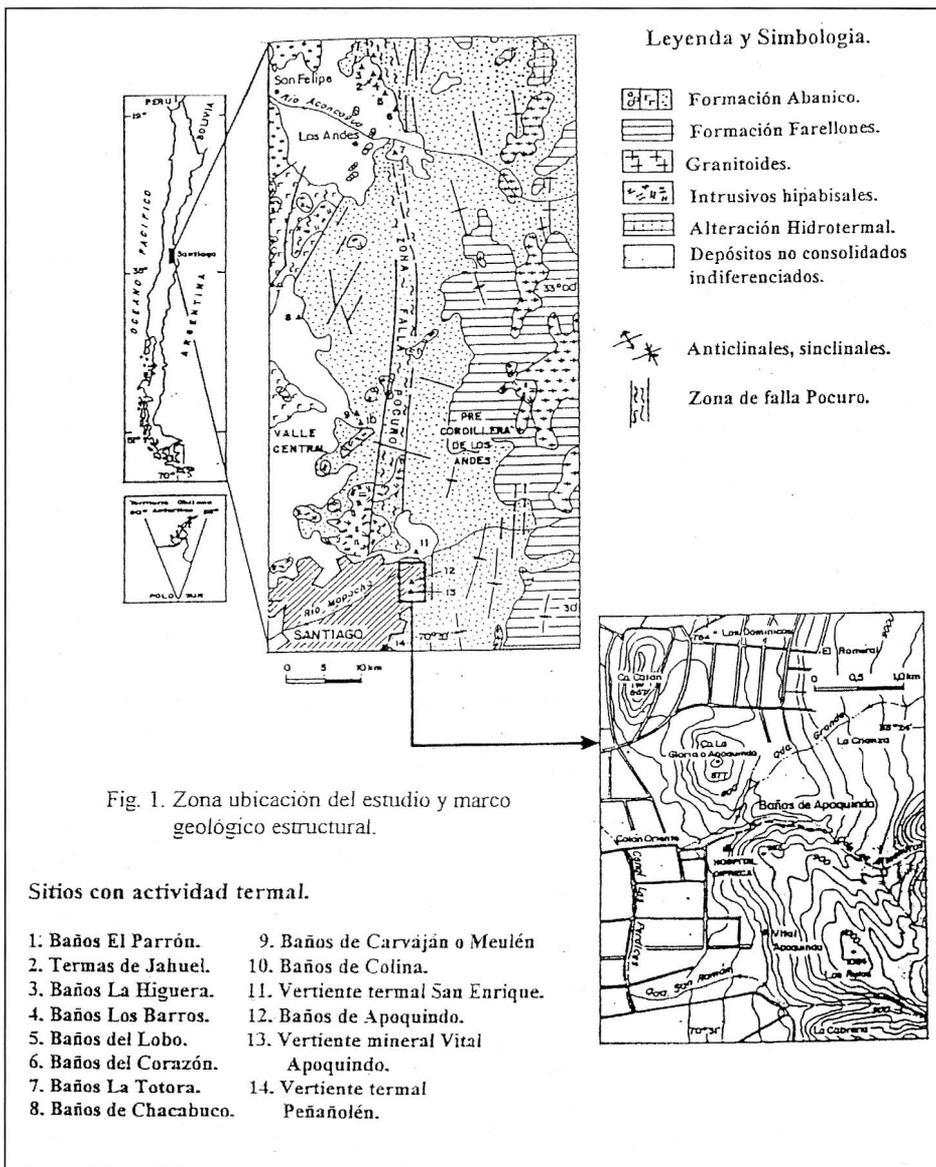


Fig. 1. Zona ubicación del estudio y marco geológico estructural.

el occidente por calle Colón. Las fuentes se insertan en un relieve de lomajes suaves, en un predio que en la actualidad pertenece a la Dirección de Previsión de Carabineros de Chile (DIPRECA); contiguo a los Baños, dicha institución posee un pequeño recinto recreacional que incluye una piscina que utiliza parte de sus aguas. Un moderno hospital de la misma institución y reciente construcción se ubica inmediatamente al sur del sitio donde afloran o surgen las fuentes.

Exactamente 1,5 km. al sur de los Baños de Apoquindo aún es posible reconocer restos de las primitivas captaciones e instalaciones desde las cuales se extraía y procesaba el Agua Mineral Vital de Apoquindo (figura 1); éstas fueron desmanteladas hacia el año 1950, aproximadamente, dando paso a numerosas viviendas y un club de rodeo chileno.

CLIMATOLOGIA

La figura 2 presenta un gráfico con indicación de la variación de la temperatura mensual e histograma de la precipitación mensual, para la Estación Quinta Normal de Santiago (057-30-057, en Catastro de la Dirección General de Aguas, DGA).

En Instituto Geográfico Militar (IGM) (1985, p. 118) se indica para la Estación Cerro Calán,

muy próxima al sitio materia del estudio, se registra una temperatura media anual de 16° C; para Pirque 13,5° C y Tobalaba 14,3° C. En Ingenieros Consultores (IPLA) - Dirección General de Aguas (DGA) (1985), se consigna una temperatura media anual de 16,4° C en la Estación Cerro Calán y 13,7° C en Tobalaba.

MARCO GEOLOGICO ESTRUCTURAL

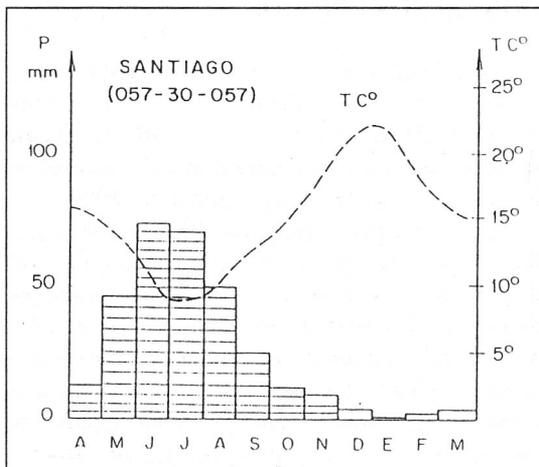
El marco geológico del sector, de acuerdo con Padilla y Vergara (1985) (figura 1), está conformado predominantemente por rocas volcánico-clásticas y volcánicas incluidas en las formaciones Abanico y Farellones de edades cretácica superior oligocena; para la primera, Wall *et al.* (en prensa) le asignan una edad Eoceno superior -Oligoceno-Mioceno inferior. Estas integran parte del borde preandino al oriente de Santiago, participando del cordón de San Ramón, cuya cima culmina hacia los 3.249 m s.n.m. La secuencia se dispone de acuerdo con un rumbo regional norte, con variadas inclinaciones al este y queda cubierto por extensos conos piedemontanos que se desarrollan hacia el occidente, a partir de las empinadas laderas andinas, los cuales se diseminan sobre la extensa llanura fluvial a fluvio aluvial de la cuenca de Santiago.

En este sector, al igual como ocurre en gran parte de la zona central del país, el límite Valle Central-Borde Preandino responde a un modelado controlado por una importante zona de falla. Carter y Aguirre (1965), siguiendo las ideas de Bruggen (1950), identifican dicho rasgo estructural como "Zona de Falla Pocuro" (ZFP) e interpretan el Valle Central como una depresión del tipo graben, cuyo margen oriental está controlado por esta zona de falla. La ZFP corresponde a una franja de unos pocos metros a varios cientos de metros de ancho integrada por fallas rectilíneas, subparalelas, verticales, que desarrollan zonas de rocas intensamente tectonizadas, multicolores, cuyos mayores desplazamientos se habrían registrado hacia el Terciario (Carter y Aguirre, 1965; Thiele, 1980); estos procesos determinan que en algunos sectores las rocas se observen blandas y friables, adquiriendo la consistencia de un verdadero suelo residual.

A partir del Pleistoceno, esta depresión tectónica habría sido objeto de un importante relleno sedimentario; prevaleció la depositación asociada a procesos fluviales (gravas y gravas arenosas) en su segmento medio y oriental. Hacia su margen occidental, en cambio, condiciones de drena-

FIGURA 2

HISTOGRAMA CORRESPONDIENTE AL REGISTRO DEL PROMEDIO DE PRECIPITACIONES MENSUALES Y CURVA DEL PROMEDIO DE TEMPERATURAS MENSUALES PARA LA ESTACION QUINTA NORMAL. SANTIAGO



je restringido determinaron la formación de potentes depósitos finos, vinculados a ambientes lagunares a pseudolagunares: limos y arcillas, especialmente. Los materiales sedimentarios más gruesos están integrados por gravas, gravas arenosas y arenas con frecuentes niveles arcillosos; en cortes de vías de acceso y excavaciones para el emplazamiento de viviendas en torno al sector de interés, se observan recorridos por abundantes fracturas rellenas con calcita, tanto pulverulenta blanquecina, como cristalina; ésta también participa como cernentante, desarrollando llamativas eflorescencias salinas, reconocibles en numerosos cortes excavados en torno al cerro Apoquindo; constituyen signos irrecusables de que, en el pasado geológico, los procesos de actividad hidrotermal habrían alcanzado particular intensidad.

RESEÑA HISTORICA DE LOS BAÑOS

Las referencias más antiguas que consignan antecedentes sobre los Baños de Apoquindo corresponden a Miquel (1851) quien describe el sitio en que afloran las aguas termales a partir de cuatro fuentes o manantiales: de La Cañita, de El Litre, de La Piedra y de El Hierro (Muestras 1, 2, 3, y 4 respectivamente en tabla 1). Las tres primeras eran objeto de captaciones y almacenamiento para alimentación de baños y bebida. Caracteriza sus aguas y describe sus bondades terapéuticas.

Miquel (1851); Domeyko (1871); Domeyko y Domínguez (1866); Tornero (1872) Y Darapsky (1890) describen el sitio donde afloran las aguas, proporcionando algunos antecedentes sobre su carácter químico, temperaturas y caudales.

Finalmente, De Grys (1965) en un completo estudio sobre las aguas termales chilenas entrega antecedentes respecto de los Baños de Apoquindo.

Hacia mediados del siglo pasado, el sitio contaba con un cómodo, aunque modesto hotel y atractivos jardines. Pese a su inmejorable localización geográfica, los Baños de Apoquindo nunca compitieron con los de Cauquenes, por ejemplo (aún en actividad al oriente de Rancagua), cuyas aguas son de calidad similar. A su poca termalidad Darapsky (*op. cit.*, p. 134), con mucha gracia, señala respecto de su proximidad a la capital que: "a pocos gusta fijar por largo tiempo su residencia a dos pasos del hogar cuando enfermos, y menos cuando sólo buscan diversión y mudanza, razonamiento que trasladado en el tiempo aún cobra vigencia".

Las primitivas instalaciones, incluyendo el hotel, estuvieron en funcionamiento hasta alrededor

de 1945. En ese momento, el precario estado de las edificaciones (a base de madera y adobe) obligó a su demolición; el paso del tiempo y los severos daños inducidos por numerosos sismos resultaron determinantes para provocar su progresivo deterioro. Transcurridos 52 años desde aquella época, cambios de propietarios unidos al importante desarrollo urbano del sector oriente de Santiago restaron todo atractivo balneológico al lugar; pese a ello, aún es posible identificar restos de las primitivas fundaciones del antiguo establecimiento balneológico.

Las actuales captaciones de las aguas termales se hacen mediante una antigua obra que incluye un rústico dren dispuesto N-S y normal al eje de la quebrada Los Almendros (figura 3). La estructura, provista de techo y con una superficie cercana a los 40 m², albergaba hacia comienzos de siglo a los primitivos baños. En su extremo S, el agua aflora a través de grietas en la roca; mientras que en su extremo N, el agua brota a través de materiales granulares: gravas y gravas arenosas, que participan del relleno de la quebrada. Estas vertientes, se supone, corresponderían a las denominadas "Aguas de las Piedra" (muestra 2 en tabla 1) y "Agua del Litre" (muestra 3 en tabla 1), respectivamente, Darapsky, 1890).

En la actualidad, las aguas que manan de las distintas fuentes de Apoquindo, registran un caudal total de 3,3 l/s (marzo 1997); durante los meses de diciembre a marzo son utilizadas para el llenado de una piscina con una capacidad de 500 m³, 500.000 litros; la piscina en referencia se ubica al interior del Club de Campo de la Dirección de Previsión de Carabineros de Chile. Las aguas excedentes son aprovechadas para el riego de áreas verdes (céspedes y árboles).

CONCEPTOS PREVIOS

Se entiende por "agua termal" aquella asociada a géiseres, manantiales o vertientes, cuyas temperaturas de afloramiento se sitúan claramente sobre la temperatura media anual del aire en el lugar (American Geological Institute, 1980).

Se entiende por "aguas potables de mesa" aquellas de origen natural que poseen condiciones de potabilidad fijadas en las normas correspondientes de los organismos oficiales encargados del control de alimentos; son objeto de procesamiento y envasado, al pie de su fuente, sin alterar su composición (excepcionalmente, pueden incorporar gas carbónico para mejorar su sabor).

FIGURA 3

DREN CUBIERTO CORRESPONDIENTE A LA ACTUAL ESTRUCTURA DE CAPTACION DE LAS FUENTES DE LOS BAÑOS DE APOQUINDO

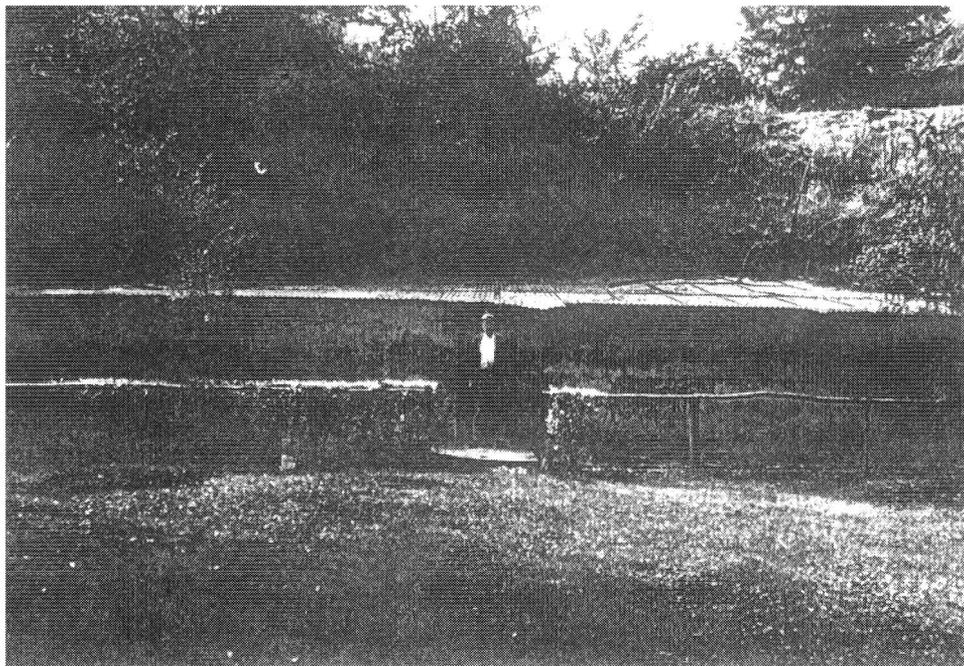


Tabla 1

Temperaturas de fuentes Baños Apoquindo

Medidas Mes	Año	Fuentes				Referencia
		1 La Cañita	2 Las Piedras	3 El Litre	4 El Hierro	
Julio	1848	23.1° C	—	—		Darapsky (1890)
Julio	1864	23.5° C	—	23.5° C	22.0°	Darapsky (1890)
Julio	1865	23.1° C	17.7° C	23.3° C	19.5°	Darapsky (1990)
Agosto	1965	—	19.9° C	22.0° C	—	De Grys (1965)
Agosto	1987	—	—	21.0° C	—	Hauser (1987)
Marzo	1997	—	19.9° C	22.0° C	—	Hauser; este estudio

Las "aguas minerales" son aquellas que poseen concentraciones anormalmente elevadas de sustancias químicas minerales disueltas, superiores a 500 mg/l (Llamas, 1992, p. 2-4); si la característica anómala es, además, una temperatura media alta, se tienen las aguas "termominerales",

Se define como "aguas mineromedicinales" aquellas que poseen propiedades terapéuticas reconocidas, verificadas o informadas por un organismo oficial de salud pública; son consideradas entre los fármacos naturales, pese a que en opor-

tunidades sus concentraciones químicas y propiedades físicas sobrepasan en exceso las tolerancias normales en color, sabor u olor.

El grado "geotérmico" expresa el valor del incremento de la temperatura con la profundización; es variable en una misma vertical, por lo menos en los primeros kilómetros de la corteza terrestre. El promedio mundial es de alrededor de 1° C por cada 33 m, pero en la mayoría de los casos, dependiendo del espesor de la corteza terrestre y del ambiente geológico y tectónico en cada punto,

puede variar entre 20 y 40 m. Los valores menores se registran en torno a depresiones con grandes espesores de sedimentos, mientras que los mayores, marginales a zonas de fractura o grandes fallas regionales, y en forma localizada, en zonas vinculadas a actividad volcánica reciente.

Los factores que controlan el gradiente geotérmico corresponden a la conductividad térmica de las rocas y el flujo calórico existente desde el interior de la Tierra hacia su superficie.

CARACTERISTICAS DE LAS AGUAS TERMALES DE APOQUINDO

Temperatura

La tabla 1 proporciona valores de temperaturas para los Baños de Apoquindo de acuerdo con determinaciones efectuadas entre los años 1887 y 1997.

Los valores de la tabla 1 identifican temperaturas bastante constantes en el tiempo.

La comparación de estos valores permite establecer que las temperaturas de las fuentes han experimentado escasas variaciones en los últimos 149 años. Los leves descensos registrados (1° a 2° C) admiten ser atribuidos a efectos de "contaminación por aguas frías" provenientes de percolaciones subterráneas aportadas por la hoya de la quebrada Los Almendros, cuya cabecera se ubica hacia la cota 2.800 m s.n.m., en los faldeos occidentales del cordón de San Ramón. El material granular que rellena el piso de la quebrada favorece la infiltración, acumulación y movilización del agua percolada.

El hecho de que las aguas termales de los Baños de Apoquindo afloren en varios puntos sugiere que el segmento terminal de su circuito hidrotermal participa de un sistema diversificado, cuyas soluciones están afectadas por procesos de enfriamiento conductivo y de mezcla con soluciones más frías de intensidad variable.

HIDROQUIMICA

A objeto de caracterizar la naturaleza química de las aguas de los Baños de Apoquindo, se tomaron cuatro muestras (N.ºs. 4, 5, 6 y 7) de cada una de las fuentes (Agua de La Piedra y Agua de El Litre), las que fueron analizadas en el Laboratorio Químico del SERNAGEOMIN (septiembre de 1987 y abril 1997). Los respectivos resultados se presentan en tabla 2; se incluyen, para los fi-

nes de establecer correlaciones y comparaciones, valores provenientes de algunas aguas termales y minerales chilenas y extranjeras.

Sobre dos muestras de aguas termales correspondientes a las fuentes El Litre y Las Piedras, tomadas en el mes de marzo de 1997, y utilizando la tecnología analítica de ICP (Plasma por Acoplamiento Inductivo), se efectuaron determinaciones de 14 elementos menores. Los resultados se adjuntan en la tabla 3.

Tabla 3

Elementos químicos menores contenidos en aguas de los Baños de Apoquindo

Elementos	Fuentes	
	El Litre M-6 en tabla 2	Las Piedras M-7 en tabla 2
Valores expresados en mg/l		
Mn	<0.05	<0.05
Fe	0.05	0.04
Al	<0.05	<0.05
Sr	1.12	0.39
Ba	<0.005	<0.005
Mo	<0.01	<0.01
Zn	0.048	0.025
Cd	<0.005	<0.005
Be	<0.002	<0.002
Cu	<0.005	<0.005
Ca	<0.01	<0.01
Ni	<0.02	<0.02
Cr	<0.01	<0.01
V	0.007	0.008

Los valores presentados permiten establecer que las aguas provenientes de las fuentes El Litre y Las Piedras denotan muy bajas concentraciones en 13 de los 14 elementos analizados, comunes a nivel mundial en aguas de numerosas fuentes termales. La excepción la constituye el elemento Sr, con concentraciones de 1,12 y 0,39 mg/l, correspondientes a las fuentes El Litre y Las Piedras, respectivamente. En los sistemas de circulación profunda, las elevadas temperaturas y presiones interiores y, en ocasiones, los largos períodos de contacto, favorecen la presencia de elevadas concentraciones de determinados oligoelementos como el Sr (Custodio y Llamas, 1996); las características químicas del Sr son similares a las del Ca, aun cuando sus sales son más solubles. En general, sus concentraciones en las aguas varían entre 0,01 y 1 ppm, a veces hasta 20. El agua de mar suele tener 13 ppm (Custodio y Llamas *op. cit.*).

En la interpretación de los valores analíticos obtenidos es necesario considerar que las aguas

Tabla 2

Hidroquímica de fuentes termales y minerales Apoquindo-Chilenas y Extranjeras

Denominación de las fuentes y Nº de las muestras	Fuentes de Baños Apoquindo							Otras fuentes chilenas					Otras fuentes		
	Fuente de Las Piedras (1)	Fuente El Litre (1)	Fuentes Apoquindo	Fuente Las Piedras	Fuente El Litre	Fuente El Litre	Fuentes Las Piedras	Fuente Panimávida	Fuente Puyehue	Fuente Surire	Fuente El Amarillo	Baños del Corazón	La Leonera (Las Marcas)	Vicky Catalán	Agua Manera Argentina (2)
Denominaciones de las Fuentes y Nº de las muestras	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
pH a °C			7.1	7.1 a 17°C	7.1	7.6		9.1	8.6	6.0	9.1	6.8 a 20°C	6.8 A 20°C	6.0	6.2
Anhidrido carbónico dis. (CO ₂)		18	18									1200	730		
Dureza carbonatosa				90	100	85	88	21	19	110	7.6		328		
Dureza no carbonatosa				645	845	919	102	34	0	615	0				
Dureza total				736	946	1004	190	51	19	735	7.6	733.4	153.6		
Alcalinidad total															90
Sólidos disueltos, suma				1294	1682	1813	392	330		4565	165				370
Sólidos disueltos por evaporación				1395	1768	1910	412				175	1054.4	554		
Calcio (Ca)	391	623	243	288	375	399	74	22	51	212	3	186.9	55.4	192.2	9.6
Magnesio (Mg)			6.4	4.1	2.6	2.1	1.3			50	0.03	62.3	3.7	14.8	1.9
Sodio (Na)	152	273	139	170	232	251	47	79	151	113	39	40.5	101.2	1110	136
Potasio (K)			3.8	1.1	1.3	1.4	0.5	0.36	2.5	210	0.6	0.7	1.3	70.8	6
Cobre (Cu)			0.2	0.001	0.002			<0.01	<0.02		0.01	0	0.06		0
Hierro (Fe)				0.1							1.2				1.3
Manganeso (Mn)				0.03	0.04							0.3	0		0
Aluminio (Al)				<0.7								0.08	0.1		0
Litio (Li)				0.01	0.03	0.03	<0.01		0.12	6.4	<0.05				0
Zinc			0.018									0.86	0.01		0
Carbonatos (CO ₃)	25							6.9	0		20				
Bicarbonatos (HCO ₃)			112	110	122	104	107		0	134	9.8	312.4		2100	
Sulfatos (SO ₄)	16	37	111	120	110	116	147	131	130	990	35	400	140	46.3	56
Cloruros (Cl)	884	1495	117	627	870	973	47	51	148	1966	10		86.8	590	92
Nitratos (NO ₃)				4.9	5.9	0.1	0.4	1.5	<0.1	<0.1		24.4	2.65		7
Arsénico (As)			0.01	<0.05	<0.05	<0.01	0.01	0.06	0.6	0.06	0.07	0.01	0.005		0
Boro (Bo)			0.95	<0.01	<0.1	0.7	0.4		2.7	33					
Flúor (F)			0.1			0.1	0.1		1.7					4.6	1.2
Yodo (I)			0.05											0.012	
Sílice (SiO ₂)				25	22	19	22	33	86	170	52				
Fecha de ensayos	1890	1890	1965	28/08/87	28/09/87	29/04/97	29/04/97	31/08/87	jul-96	11/05/93	24/11/86	19/01/83	19/03/83		
Referencias	Darapsky (1890)	Darapsky (1890)	De Gryz (1965)	Certificado 670-3	Certificado 670-4	Certificado 970059-1	Certificado 970059-2	Hauser (1995)	Certificado XEA 0029	Certificado 0503-3	Certificado 0577	Ovalle (1984)	Ovalle (1984)	Custodio y Llamas (1976)	3
Laboratorio				SNGM	SNGM	SNGM	SNGM	SNGM	SNGM	SNGM	SNGM	Fac. Química U. Católica	Fac. Química U. Católica		

Nota:

1) Valores recalculados y expresados en ppm

2) Provincia de Buenos Aires. Profundidad de la Fuente 684 m.

3) Valores en etiquetas envases.

muestreadas pueden haber experimentado cierta dilución al entrar en contacto con aguas subsuperficiales frías, movilizadas a 10 largo de la quebrada Los Almendros. Además, no debería descartarse la precipitación de algunos constituyentes, debido a descensos de temperatura.

El estudio comparativo de análisis químicos efectuados en distintas épocas, 1890 (muestras 1 y 2); 1965 (muestra 3); 1987 (muestras 4 y 5) Y 1997 (muestras 6 y 7) presentados en la tabla 2, pone en evidencia que las aguas de las fuentes de Apoquindo no experimentan importantes modificaciones en sus concentraciones a través del tiempo. Las más relevantes incluyen, para el caso de la fuente El Litre, muestreada en 1890, descensos severos en el contenido de cloruros respecto de una muestra analizada en 1987. Comportamiento afín registra el ión calcio.

Los descensos descritos responderían más a efectos de dilución por "invasión" de aguas de escurrimiento subterráneo asociadas a la quebrada Los Almendros, que a eventuales modificaciones en la concentración original de las aguas, en su ascenso convectivo desde su fuente calórica en profundidad.

La similitud entre los patrones composicionales que registran las aguas de las diversas fuentes de Apoquindo sugiere que son alimentadas por el mismo sistema hidrotermal.

Los gráficos de Stiff, figura 4, consignan patrones o siluetas muy homogéneos para muestras tomadas en distintas épocas; esta particularidad permite establecer que las aguas, en el tiempo (período de aproximadamente 110 años), no registran variaciones substanciales en sus respectivas concentraciones de minerales.

El diagrama de Piper (figura 5) permite establecer la clasificación de las aguas termales. En su conjunto, admiten ser genéricamente categorizadas como cálcico-sódicas-sulfatadas-cloruradas. Sus características pueden ser resumidas como:

- Aguas de bajo termalismo, hipotermas con temperaturas en el rango de 17,7 a 23,5° C
- Temperaturas y concentraciones químicas muy constantes en el tiempo (alrededor de 110 años)
- pH neutro
- Baja mineralización
- Calcio y sodio como cationes dominantes
- Bajas concentraciones de los cationes sodio y potasio
- Sulfatos y cloruros como aniones dominantes, respecto de los bicarbonatos
- Frecuente desarrollo de incrustaciones calcáreas en torno a los puntos de surgencia.

Los bajos niveles de Si en las aguas, con valores fluctuando entre los 19 y 25 ppm, permiten suponer que el sistema termal estaría asociado a un tectonismo activo y que la temperatura a la cual se efectúa la interacción agua-roca es baja; adicionalmente, las bajas concentraciones de B y Li indicarían que los fluidos no circularían a grandes profundidades (Tello, 1996a, p. 88). Mientras tanto, los bajos caudales o descargas superficiales son indicativos de bajas velocidades de flujo y circulación profunda de las aguas termales (Rybach, 1995). Los bajos contenidos de B en las aguas de Baños Apoquindo «1.0 ppm) indican que se trataría de un sistema hidrotermal maduro o "viejo". Esta singularidad se asocia al hecho de que tanto el H_3BO_3 como el As, al ser parcialmente volátiles, son desalojados del sistema en las primeras etapas del calentamiento (Tello, 1996b, p. 37).

De Grys (1965) incluye a los Baños de Apoquindo en el grupo de "fuentes de precordillera", que genéticamente no muestran ninguna relación o están desvinculados de centros volcánicos activos. La gran mayoría de las aguas provenientes de las diversas fuentes presentan importantes variaciones químicas, debido a su vinculación con las complejas o heterogéneas secuencias rocosas volcanoclásticas que integran la formación Abanico.

Los elementos químicos propios de las aguas analizadas resultan de acciones de lixiviación de rocas de profundidad, al paso de las aguas percoladas; este mecanismo se ve favorecido por las largas trayectorias de flujo e incremento en la acción solvente, como resultado de aumentos en la temperatura.

ORIGEN DE LAS FUENTES TERMALES

Comúnmente las fuentes termales se asocian a dos tipos de terrenos: a) zonas donde las rocas, independiente de su edad, han sido sometidas a severo tectonismo: fracturas, fallas, deformaciones, y b) áreas con volcanismo activo durante el Cuaternario.

Tal como sucede con muchas fuentes termales chilenas, las de Apoquindo, genéticamente, muestran un determinante control estructural. Se vinculan con la presencia de la ZFP. El notable desarrollo rectilíneo de ésta y su trayectoria adosada al pie del macizo preandino sugieren una correspondencia con estructuras verticales capaces de comprometer niveles muy profundos de la corteza terrestre, constituyendo vías propicias de co-

FIGURA 4

GRAACOS DE STIFF CON LOS PATRONES HIDROQUIMICOS DE AGUAS TERMALES DE APOQUINDO, OTRAS CHILENAS Y UNA ESPAÑOLA

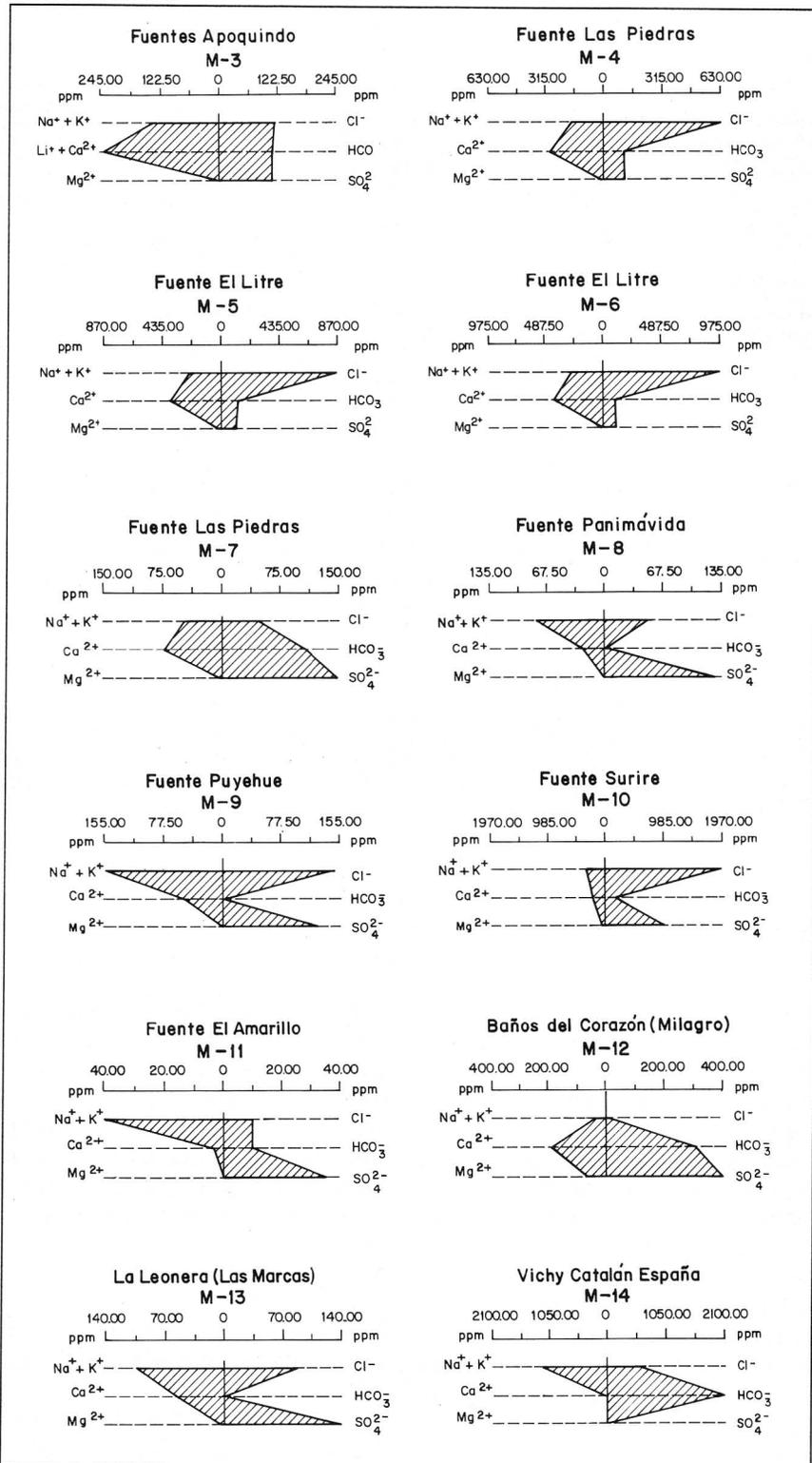
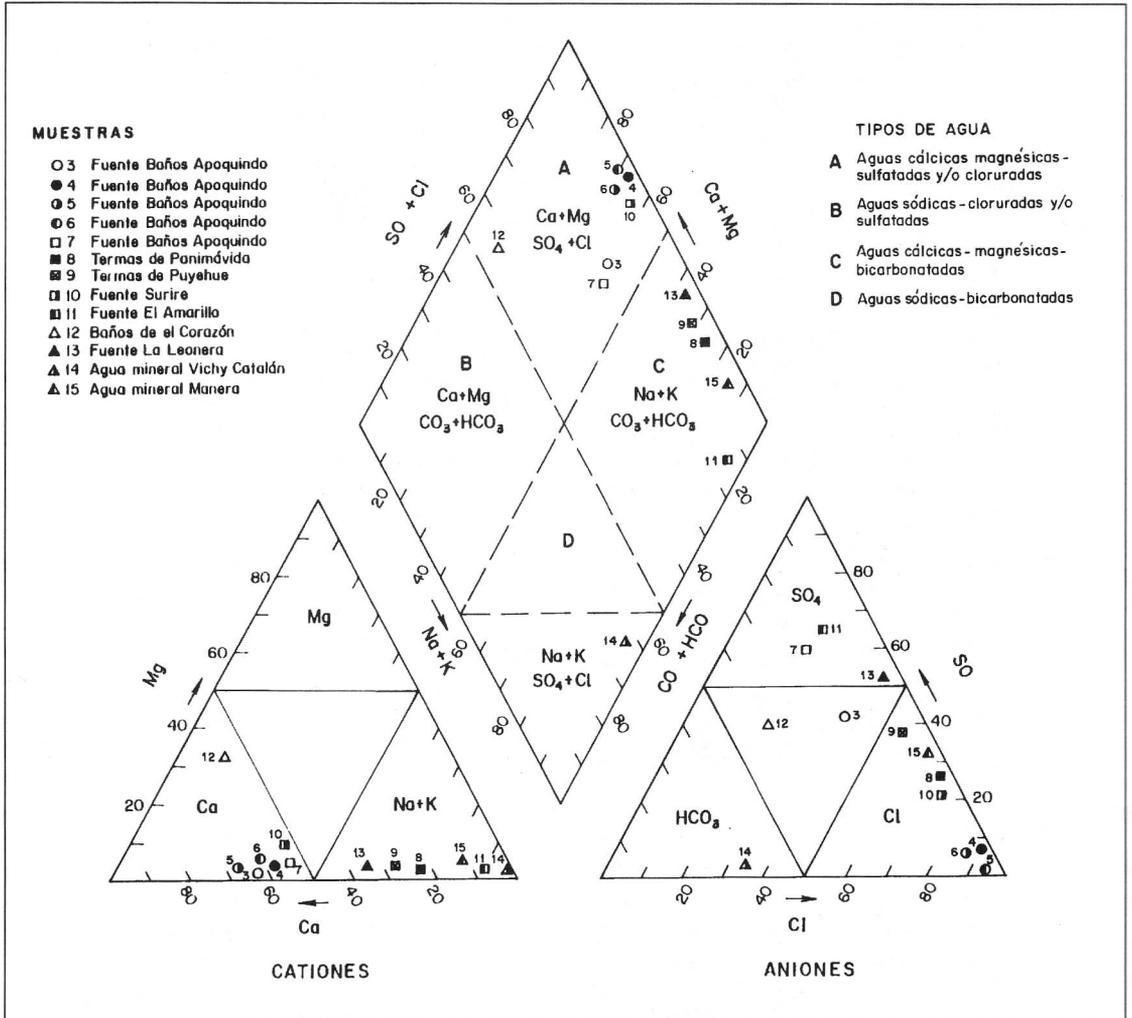


FIGURA 5

DIAGRAMA DE PIPER CON INDICACION DE LA CLASIFICACION DE AGUAS TERMALES



municación con fuentes calóricas allí radicadas. Las aguas de infiltración superficial, al alcanzar por percolación progresiva dichos niveles, retornan a la superficie recalentadas por acción convectiva; en su trayectoria, incorporan por lixiviación selectiva parte de los componentes más solubles presentes en las rocas de caja (materiales volcanoclásticos de la formación abanico). Las aguas meteóricas pueden circular vía percolación, hasta grandes profundidades, favorecidas por la permeabilidad de las rocas y por diferencias en las presiones hidrodinámicas. La energía necesaria para que ello ocurra se vincula a presiones artesianas y a diferencias de densidad causadas por modificaciones en las temperaturas y concentraciones.

Un registro actualizado a nivel regional permite reconocer que, de acuerdo a un lineamiento longitudinal, a lo largo de la traza de la ZFP se disponen numerosas fuentes de aguas termales y/o minerales, siempre ocupando el pie del flanco preandino: El Parrón, Jahuel, El Corazón, La Higuera, Los Barros, Del Lobo y La Totora en la Quinta Región; Chacabuco, Colina, Carvaján o Meulén, Apoquindo y Peñalolén en la Región Metropolitana (figura 1).

El gran desarrollo regional alcanzado por la ZFP supone, estimativamente, el compromiso de profundidades, corticales, en el rango, de 15.0 a 20.0 km.

A lo largo de la traza de la ZFP no se han observado rasgos morfológicos propios de actividad

cuaternaria; por lo tanto, el desarrollo de actividad calórica no estaría ligado necesariamente a acciones friccionantes. en respuesta a ajustes en las tensiones tectónicas regionales a lo largo de la ZFP.

La figura 6 presenta un modelo esquematizado del origen de los Baños de Apoquindo en estrecha interrelación con la ZFP.

La singular distribución espacial de las 12 fuentes termales identificadas en las figura 1, de acuerdo a un riguroso lineamiento N-S, coincidente con la traza de la ZFP, permite confirmar la vinculación genética entre actividad termal y rasgos estructurales de rango regional, megalineamientos.

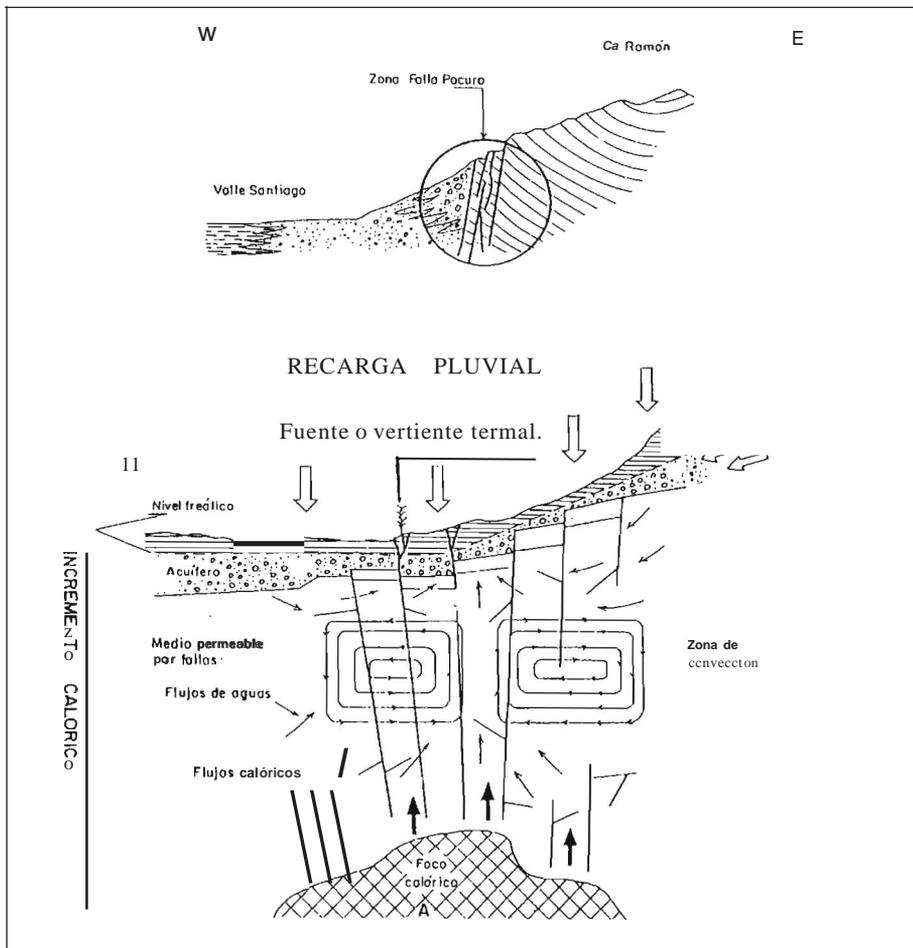
A nivel mundial se ha comprobado que las fallas constituyen rasgos tectónicos de gran importancia en la génesis de las fuentes termales; las surgencias son más efectivas y abundantes cuanto más joven es la estructura.

En el sector objeto del estudio la ZPF constituiría una forzada vía para favorecer tanto la efectiva percolación o infiltración gravitacional de las aguas de escurrimiento superficiales y/o subterráneas como su posterior ascenso activado por la dinámica hidrotermal propia del lugar. La normal baja permeabilidad de las secuencias volcano-estáticas de la formación Abanico coadyuvaría activamente a este comportamiento.

La baja temperatura que caracteriza a todas las fuentes, cuya localización está controlada por la traza de la ZFP, se vincularía a sus respectivos alejamientos o distancias de centros volcánicos activos, normalmente emplazados en la alta cordillera andina; ello, sin desatender el control ejercido por la escasa conductividad térmica de las rocas de la formación Abanico y el hecho de que los reducidos caudales aflorantes poco favorecen la constancia calórica de las aguas ascendentes.

FIGURA 6

ESQUEMA DE MODELO GENETICO PARA EL SISTEMA HIDROTHERMAL DE BAÑOS DE APOQUINDO



La activa orogenia andina, al inducir fuerte fracturamiento y cizallamiento en las rocas de la formación Abanico, facilita la circulación profunda de las aguas.

En su ascenso, en un ambiente presurizado, las aguas adquieren capacidad para disolver elementos metálicos en proporción a su abundancia en el respectivo macizo rocoso.

Los necesarios aportes hídricos para alimentar al sistema termal de Baños de Apoquindo se vincularían, muy particularmente, a aguas de escurrimiento subterráneo provenientes de la quebrada Los Almendros; las cabeceras de su zona de recarga se ubican en secuencias rocosas de la formación Abanico, mientras que sus segmentos distales o terminales comprometen depósitos fluviales a fluvioaluviales; las propiedades hidráulicas de estos últimos materiales favorecen la infiltración, almacenamiento y posterior escurrimiento subterráneo de las aguas lluvias. Su acceso hacia niveles profundos, en ambientes con elevadas gradientes calóricas, está determinado por la presencia de discontinuidades asociadas a actividad de la ZFP.

Normalmente, los flujos permanentes a temperatura constante de las fuentes termales, se vinculan a circulación en medios rocosos caracterizados por densos sistemas de fracturas abiertas, penetrativas y gran corrida.

La alimentación del sistema hidrotermal de los Baños Apoquindo, de origen meteórico, proveniría, muy principalmente, de la recarga pluvial sobre la hoya de las quebradas Honda y Los Almendros; considerando para ellas una superficie de aproximadamente 21 km², un monto de precipitación local anual de 300 mm y una tasa de infiltración de sólo 10%, en torno al punto de confluencia de ambas quebradas se estima un flujo subterráneo medio de 20 l/s o 1.730 m³/día, caudal razonable para producir una efectiva y constante recarga al sistema hidrotermal local.

El importante desarrollo urbano registrado durante los últimos años en parte de la superficie aportante (Santa Rosa de Apoquindo, Mirasol, Los Dominicos), incluyendo la virtual impermeabilización de extensos sectores de terrenos, al favorecer el escurrimiento de las aguas pluviales, en detrimento de la percolación facilitaría su concentración a partir de un punto ubicado inmediatamente aguas arriba de los Baños.

La duración e intensidad de las precipitaciones, junto con las características, forma, superficie, litología, cobertura vegetacional, densidad y pendiente de la red local del drenaje, resultan determinantes para controlar la recarga de los sistemas acuíferos.

Cuando las aguas meteóricas circulan a escasa profundidad en medios porosos, tanto suelos como rocas, los vapores se expanden a baja presión, limitando la incorporación de sustancias de baja solubilidad.

Normalmente, el origen del calor de las aguas termales admite ser relacionado con tres causas principales: a) calentamiento por gradiente geotérmica normal, en condiciones tectónicas favorables; b) gradual calentamiento por la transferencia calórica asociada a la presencia del lento enfriamiento de cuerpos intrusivos hipabisales de edad miocena. Padilla y Vergara (1985), en la zona preandina de la Región Metropolitana, detectaron la presencia de una serie de cuerpos hipabisales de edad miocena, intruyendo a rocas de la formación Abanico; e) calor generado por fricción a lo largo de planos de fallas.

Del momento que la ZFP no registra evidencia de actividad moderna, esta última causa debe ser descartada. Como consecuencia de ello, la fuente calórica de las aguas de Baños Apoquindo se vincularía a la interacción de las dos primeras causas.

La información analítica disponible para las aguas de Baños Apoquindo sugiere la presencia de un sistema hidrotermal que posee una gran homogeneidad y regularidad termal, hidroquímica y de caudales en el tiempo. Para que el flujo ascendente de las aguas termales mantenga una temperatura estable en el tiempo se requiere la presencia de una continua zona de fracturas o fallas abiertas de gran longitud y penetración. La ZFP satisfacería esta condición.

La reconocida constancia en los caudales efluentes de los Baños de Apoquindo le otorga la connotación de "fuente perenne". Esta singularidad le confiere un atractivo económico, en cuanto a su aprovechamiento, desde el momento que permite caracterizar un régimen predecible de flujo.

De acuerdo a los niveles de descarga o rendimiento de las fuentes termales, expresado en caudal promedio afluente, Netopil (1971) aplica el concepto de "magnitud": $1 > 10,0 \text{ m}^3/\text{s}$ a $8 < 10,0 \text{ ml/s}$; a las fuentes de los Baños de Apoquindo, con una descarga de 3,3 l/s, les corresponde la "magnitud 5"- (1,0 10,0 l/s).

Se ha demostrado que la mayor parte del agua asociada a los sistemas geotérmicos es de origen meteórico, Alfaro y Wallace (1994, p. 114). La fuente calórica proviene, mayoritariamente, del contacto con cuerpos ígneos de reciente emplazamiento. En relación con esta materia, interesa consignar que en el Parque Nacional Yellowstone, en los EE.UU., correspondiente al lugar donde a

nivel mundial se registra la mayor concentración de fuentes, a la profundidad de 300 m se han registrado temperaturas de hasta 240° C asociadas a actividad volcánica ocurrida 600.000 años A. P. (Alfaro y Wallace, *op. cit.*, p. 115). La segunda componente corresponde a circulación profunda de aguas subterráneas.

Si se asume para el sector de Baños de Apoquindo una gradiente geotérmica de 1° C cada 25 m de profundidad y una temperatura media anual del aire de 18° C, la temperatura de 100° C se alcanzará a aproximadamente 2.125 m de profundidad.

APROVECHAMIENTO DE LAS AGUAS TERMALES

En la actualidad las aguas termales que manan desde las antiguas vertientes de los Baños de Apoquindo, con caudales medios de 3,0 a 4,0 l/s, son captadas mediante rudimentarios drenes y un sistema de tuberías y objeto de aprovechamiento para el llenado de una piscina con capacidad para 500.000 litros. En esencia, pese al hecho de que las fuentes termales poseen una privilegiada localización, prácticamente insertas en el casco urbano de la comuna de Las Condes, el uso del recurso es muy limitado.

Darapski (1890, p. 8), acota... "hace cuarenta años cabales (1850), que el ilustre Domeyko había propuesto fundar un hospital balneario en Apoquindo, para pacientes de enfermedades crónicas y convalescientes del Hospital San Juan de Dios; estación que a este establecimiento ahorraría fuertes sumas y serviría para iniciar la estática médica en los Baños..."

La singular estabilidad en el tiempo, tanto del termalismo, concentraciones químicas, como de los caudales aflorantes, constituye un interesante atractivo para garantizar el éxito de futuros proyectos destinados a mejorar el actual aprovechamiento del recurso termal de los Baños de Apoquindo. Esta alternativa podría consignar procedimientos destinados a) mejorar el sistema de captaciones, sin excluir la modalidad de sondajes, b) minimizar el adverso efecto asociado al ingreso de aguas de escurrimiento superficial o filtraciones de canales de riego, y c) parcial eliminación de la densa cobertura arbustiva del lugar, destinada a reducir pérdidas por consumos evapotranspirativos.

Estudios analíticos sobre muestras tomadas en las fuentes de los Baños de Apoquindo permiten caracterizar la presencia de aguas provistas de

cualidades físicas, químicas y eventualmente biológicas, que les confieren el carácter de aguas minerales; por tanto, podrían ser objeto de aprovechamiento para este destino.

La viabilidad, en términos económicos, para materializar el efectivo aprovechamiento de las fuentes de aguas minerajes, 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.

CONCLUSIONES

El estudio entrega información respecto de los denominados Baños de Apoquindo, fuente termal ubicada en el casco urbano de la comuna de Las Condes, Región Metropolitana. Su conocimiento y aprovechamiento datan de mediados del siglo pasado. En la actualidad los caudales aflorantes, mediante dos fuentes principales, se sitúan en el rango de 3,3 l/s permanentes, con escasas oscilaciones en el tiempo; las aguas, hipotermales, con temperaturas fluctuando entre 20° y 22° C, registran escasas variaciones durante los últimos 110 años. Comprometen aguas neutras, propias de facies cálcicas-magnésicas-sulfatadas-cloruradas.

El sistema hidrotermal, singularmente alejado de centros volcánicos activos, estaría genéticamente vinculado a la Zona de Falla Pucuro, alimentado a partir de la percolación en profundidad de aguas meteóricas, provenientes del régimen pluvial local. La necesaria fuente calórica respondería a la interacción entre la gradiente geotérmica del sector, en condiciones tectónicas favorables, y el gradual calentamiento por transferencia calórica asociada a la presencia y lento enfriamiento de cuerpos intrusivos hipabisales de edad miocena.

En la actualidad, pese a su atractiva localización, las fuentes de Apoquindo sólo son objeto de un precario aprovechamiento; simples procedimientos constructivos posibilitarían optimizar el futuro uso de este recurso termal.

Estudios analíticos sobre muestras tomadas en las fuentes de los Baños de Apoquindo permiten caracterizar la presencia de aguas provistas de cualidades físicas, químicas y eventualmente biológicas, que le confieren el carácter de aguas minerales; por tanto, podrían ser objeto de aprovechamiento mediante su envasado y comercialización.

Las actuales manifestaciones termales de los Baños de Apoquindo sólo persistirán en el tiem-

po, en la medida que respecto de su entorno, particularmente en un sector de su superficie de recarga, se realicen algunas obras de protección; deberían comprometer un adecuado cierre periférico, acompañado de la prohibición de ejecutar trabajos en el perímetro que con anterioridad se hubiese fijado, en situación de interferir con los actuales caudales y/o carácter fisicoquímico de las aguas aflorantes.

La singular ubicación de los Baños de Apoquindo, en el propio casco urbano de la comuna de Las Condes, junto a la existencia en el lugar de restos de las antiguas instalaciones balneológicas, conforman un atractivo patrimonio cultural, histórico y científico que debería ser oportunamente preservado. Ello, normalmente, se posibilita mediante procedimientos legales y/o administrativos, en el marco de una declaración de Monumento Nacional, en alguna de las siguientes modalidades: Monumento Histórico - Zona Típica - Santuario de la Naturaleza.

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos a los colegas Sres. Gerardo Díaz del Río, Ricardo Thiele C. y Barry Keller, por su intervención editora en la versión preliminar del documento. Sus valiosas observaciones y sugerencias permitieron mejorar el contenido e informaciones del texto final.

REFERENCIAS

- ALFARO, C.; M. WALLACE (1994): *Origin and classification of springs and historical review with current applications*. Environmental Geology, vol. 24, Nº 2, pp. 112-124.
- AMERICAN GEOLOGICAL INSTITUTE (1980): *Glossary of Geology*. Second Edition (R. L. Bates; J. A. Jackson, editors), 750 pp. U.S.A.
- BRUGGEN, J. (1950): *Geología*. Editorial Nascimento, 495 p.
- CARTER, W.D.; L. AGUIRRE (1965): *Structural Geology of Aconcagua Province and its relationship to the Central Valley graben*, Chile. Geological Society of America Bulletin, Vol. 76; Nº 6, pp. 651-664.
- CUSTODIO, E.; M.R. LLAMAS (1996): *Hidrología subterránea*. Tomo I. Ediciones Omega, 1157 p. Barcelona.
- DARAPSKY, L. (1890): *Las aguas minerales de Chile*. Imprenta Universo de G. Helfmann, 193 pp. Valparaíso.
- DE GRYS, A. (1965): *Some observations on hot springs of Central Chile*. Water Resources Research, Third Quater, Vol. 1: Nº 3, pp. 415-428.
- DOMEYKO, I. (1871): *Estudios sobre las aguas termales de Chile*. Anales de la Universidad de Chile, Vol. 2, pp. 221-260. Santiago.
- DOMEYKO, I.; M.J. DOMINGUEZ (1866): *Las aguas termales de Apoquindo*. Imprenta del Ferrocarril, pp. 50 a 54. Santiago.
- HAUSER, A. (1987): *Baños de Apoquindo: una alternativa para optimizar su aprovechamiento*. Subdirección Nacional de Geología. Servicio Nacional de Geología y Minería; 17 pp. Santiago, Chile (Informe inédito).
- HAUSER, A. (1995): *Carta hidrogeológica de Chile. Nº 2, Hoja Talca*. Servicio Nacional de Geología y Minería, 73 pp.
- HAUSER, A. (1997): *Catastro y caracterización de las fuentes de aguas minerales termales de Chile*. Servicio Nacional de Geología y Minería, Boletín Nº 50, 89 pp. Santiago, Chile.
- INGENIEROS CONSULTORES (IPLA) - DIRECCION GENERAL DE AGUAS (DGA) (1985): *Balance hidrológico nacional; Regiones V, VI, VII Y Metropolitana*. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas (Informe inédito), 96 pp.
- INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR (1985): *Geografía de Chile: Climatología*, Tomo 11, Vol. 3, 215 pp. Santiago.
- LLAMAS, R. (1992): *Caracterización hidrogeológica de las aguas minerales y minero medicinales*. Jornadas de aguas minerales y minero-medicinales en España, Instituto Tecnológico Geominero de España, pp. 2-3 a 2-11, Madrid.
- MIQUEL, J. (1851): *Medicina. Aguas termales i minerales templadas de Chile*. Anales de la Universidad de Chile. Enero-febrero. Imprenta Chilena: pp. 336-340.
- NETOPIL, R. (1971): *Ke klasifikaci premenu podle variability vydatnosti* (The classification of water springs on the basis of the variability of yields). Sbornik-Hydrological Conference, Papers, Stud Geogr, Nº 22, pp. 145-150.
- PADILLA, H.; M. VERGARA (1985): *Control estructural y alteración tipo cambio geotérmico, en los intrusivos subvolcánicos de la Zona Cuesta Chacabuco; Baños de El Corazón; Chile Central*. Revista Geológica de Chile, Nº 24, pp. 3-17.
- RISOPATRON, L. (1924): *Diccionario Geográfico de Chile*. Imprenta Universo, 960, pp. Santiago.
- RYBACH, I. (1995): *Thermal waters in deep alpine tunnels*. Geothermics, Vol. 24, Nº 5-6, pp. 631-637.
- TELLO, E. (1996a): *Geoquímica de Manantiales Termales de la Zona de San Antonio El Bravo, Chihuahua, México*. Revista Geotermia, Comisión Federal de Electricidad, Vol. 12, Nº 2, pp. 85-92. México D.F.
- TELLO, E. (1996b): *Geoquímica de los Manantiales Termales de la Zona de Piedras de Lumbre, Chihuahua, México*. Geotermia, Revista Mexicana de Geología, Vol. 12, pp. 33-41. México D.F.
- THIELE, R., (1980): *Hoja Santiago. Servicio Nacional de Geología y Minería*. carta Geológica de Chile, Nº 39, 51 pp. Santiago, Chile.
- TORNERO, R.S. (1872): *Chile ilustrado, Capítulo IV. Aguas Minerales de Chile*. Librerías y Agencias El Mercurio, 20 pp. Valparaíso, Chile.
- WALL, R.; D. SELLES; P. GANA (En prensa): *Mapa Geológico del área de Títil-Santiago, Región Metropolitana*. Servicio de Geología y Minería (Chile). Mapas Geológicos. Santiago.