

3-3 GEYSERES BORATIFEROS DE LA PUNA ARGENTINA

RICARDO N. ALONSO* Y JOSÉ G. VIRAMONTE*

* CONICET y UNIVERSIDAD NACIONAL DE SALTA, Bs.As., 177,
4400-Salta, República Argentina.-

RESUMEN

La génesis de los extensos depósitos de boratos que se presentan en la Puna argentina, está ligada al ingente aporte de soluciones mineralizadas arrojadas por manantiales termales asociados a la actividad volcánica desarrollada en la región desde el Mioceno. Un gran número de ellos se comportaron como surtidores violentos de aguas sobrecalentadas generando edificios travertínicos con mantos del borato ulexita intercalados y superpuestos. Se han reconocido una docena de localidades con aparatos geysierianos-todos ellos extinguidos en tiempos históricos- conservando en unos pocos casos escape de gases y/o salida de aguas salobres frías. El motivo de este trabajo es dar a conocer la presencia de geysers boratíferos extinguidos, muchos de ellos desconocidos en la literatura, resumiendo sus principales características y otros aspectos geológicos relacionados.

ABSTRACT

The origin of the important borate deposits of the Puna Argentina, is closely related to the volcanic history of the region and specially to the vigorous thermal spring activity. A great number of these, behaved as violent hot springs (geysers) building up travertinic structures with borates (ulexite) interbedded and/or cap rock of these. A dozen of places with geysers have been detected in the region, all of them / have already extinguished or with a little activity (gas emission and mineralized cold water). The object of the work is to show the importance of the geysers in the origin of / the borate deposits, its characteristics and their geologic relations.

INTRODUCCION

La presente contribución es parte de un trabajo mayor que sobre el vulcanismo y sus fenómenos asociados, vienen realizando los autores desde hace varios años en el arco volcánico de los Andes Centrales.

En la región de la Puna argentina lo que impacta por su magnitud entre los fenómenos postvolcánicos, son los edificios geysierianos, tema principal de este trabajo. Sin embargo se tratará también acerca de otros rasgos del termalismo tanto extinguido, como residual y activo; fundamentalmente del que aportó soluciones boratíferas, dando lugar a depósitos minerales que en algunos casos son económicamente explotables.

Existen escasas referencias en la literatura sobre la temática aquí tratada. Entre las principales contribuciones se tienen a Barnabé(1915), Muessig(1966) y Alonso y Gutiérrez (1984).

En el presente trabajo se ordena a las manifestaciones termales según su yacencia regional, morfología de sus edificios y mineralogía dominante, obteniéndose una primera clasificación desde la óptica de los boratos.

LA PUNA ARGENTINA

La Puna es una depresión en altura, con serranías interiores, elevada a un nivel promedio de 4.000 m.s.n.m., estando estando abrazada por la imponente Cordillera Volcánica Occidental al poniente y la Cordillera Oriental al naciente. Corresponde al extremo austral del altiplano sudamericano y se extiende aproximadamente desde los 22° a los 27° L.Sur.

Su morfología interior, o sea el espacio comprendido fuera de las cordilleras oriental y occidental, corresponde a una serie de cubetas cerradas que albergan salares y están limitadas por cordones de rocas paleozoicas y/o terciarias,

de orientación submeridiana y cadenas volcánicas transversales al rumbo andino.

Los terrenos de mayor distribución corresponden a rocas ordovícicas y terciarias. Los terrenos precámbricos y cretácicos están restringidos; mientras que afloramientos cámbricos, devónicos, carbónicos y pérmicos ocurren puntualmente. No se tienen registros silúricos, triásicos ni jurásicos.

Información geológica específica sobre la Puna puede obtenerse de Turner y Mendez, 1979; Igarzábal, 1982; Alonso et al., 1984(a y b) y la bibliografía citada por estos autores.

VOLCANISMO CENOZOICO EN LA PUNA ARGENTINA

Las rocas volcánicas cenozoicas se encuentran ampliamente difundidas en la región puneña. Su distribución principal corresponde a su borde occidental donde se eleva la Cordillera Occidental la cual representa un arco volcánico continental. Dicho arco muestra una forma sinuosa y se extiende en sentido submeridiano en el tramo de los Andes Centrales entre los 16° y los 28° de latitud Sur aproximadamente (Viramonte et al., 1984; Salfity et al., 1984 y bibliografía allí citada).

Una singularidad del arco, son las digitaciones que tiene en su flanco oriental, las cuales siguen un rumbo aproximado ONO-ESE. Estas penetraciones volcánicas se formaron por el ingente derrame lávico-piroclástico asociado a grandes zonas de fracturamiento continental de igual orientación y que han sido denominadas "Cadenas Volcánicas Transversales" (Viramonte et al., 1984a).

Las C.V.T. tienen un ancho variable aproximado entre 30 y 50 km rematando en el borde oriental de la Puna con la formación de grandes estratovolcanes y en algunos casos gigantes cas calderas.

El ciclo metalogenético cenozoico de la Puna argentina, está estrechamente ligado al desarrollo de estas C.V.T. (Alon



so et. al., 1984b).

Desde el punto de vista petrológico-geoquímico existe una variación desde la Cordillera Volcánica Occidental hacia el oriente a través de las C.V.T. desde términos calcoalcalinos pasando a términos calcoalcalinos ricos en potasio y llegando en algunos casos a composiciones shoshoníticas.

Cronológicamente el inicio del vulcanismo parece haber sido simultáneo tanto en la Cordillera Occidental, como a lo largo de las C.V.T. alrededor de los 10⁺m.a., vinculado a movimientos intermiocénicos. Su desarrollo fué muy intenso durante el Mioceno superior y el Plioceno en las referidas C.V.T., mientras que en el Cuaternario a posteriori del diastrófismo Diaguita se incrementó en la Cordillera Occidental.

Durante el Cuaternario asimismo hubo resurgencia en las C.V.T., mientras que en el caso de la Puna Austral se produjeron derrames de coladas básicas y alcalinas y pequeños centros monogénicos controlados tanto por el fracturamiento submeridiano como por el transversal (Viramonte et.al., 1984a).

Acompañando y/o inmediatamente a posteriori de la actividad paroxísmica se desarrolló una intensa actividad fumarólica y líquido termal cuyos testimonios directos son algunos depósitos minerales entre los que se cuenta azufre, travertinos, boratos, hierro, antimonio, estaño, manganeso etc.

El termalismo ha sido muy intenso y tuvo amplia difusión en la Puna. En la actualidad aún existen numerosas fuentes termales sobrevivientes, cuyas aguas se han ido enfriando paulatinamente, incluso controladas en lo que va del siglo (Barnabé, 1915; Muessig, 1966 y otros). Las huellas del termalismo se encuentran en los abundantes depósitos de calcareos travertínicos, algunos de los cuales por su pureza forman depósitos de "ónix" económicamente explotables.

Por otro lado cabe mencionar los grandes depósitos de óxidos de manganeso relacionados directamente al fenómeno ter

mal, tales como los de Remate, Tuzgle, Ochaqui , en los que se han depositado varias miles de toneladas de estos minerales conjuntamente con ingentes cantidades de travertino.

Por último el termalismo ha producido asimismo la alteración de las rocas en que circularon las aguas termominerales y así es posible distinguir su paso por la decoloración de las leptometamorfitas oscuras ordovícicas o las capas rojas terciarias las cuales cambian a colores grises y amarillentos.

Por ello al hablar generalizadamente de termalismo no se está restringiendo el término a una situación actual de surgencia de aguas calientes sino que se usa en sentido amplio para incluir también todos aquellos depósitos y/o manifestaciones, indiscutiblemente generados por este fenómeno. En este marco conceptual se usará a lo largo del trabajo. De todas maneras en la lámina 1, se ha colocado un pequeño símbolo ($\sigma\&\dagger$) para indicar el grado de actividad actual (activos, residuales, extinguidos),

Como se dijo anteriormente, lo que sorprende por su espectacularidad son los edificios geyserianos cuyos conos perfectamente conservados semejan pequeños volcanes que en ciertos casos superan los 30 m de altura (lámina 2). Algunos de estos geysers han derramado soluciones boratíferas formando depósitos explotables con buenas leyes en anhídrido bórico y alta calidad del material.

El americano Siegfried Muessig quién visitó los geysers boratíferos de Arituzar (rfo Alumbrio) y Volcancito, quedó vivamente impresionado y no tuvo dudas al catalogarlos como los ejemplos más espectaculares del mundo (Muessig, 1966).

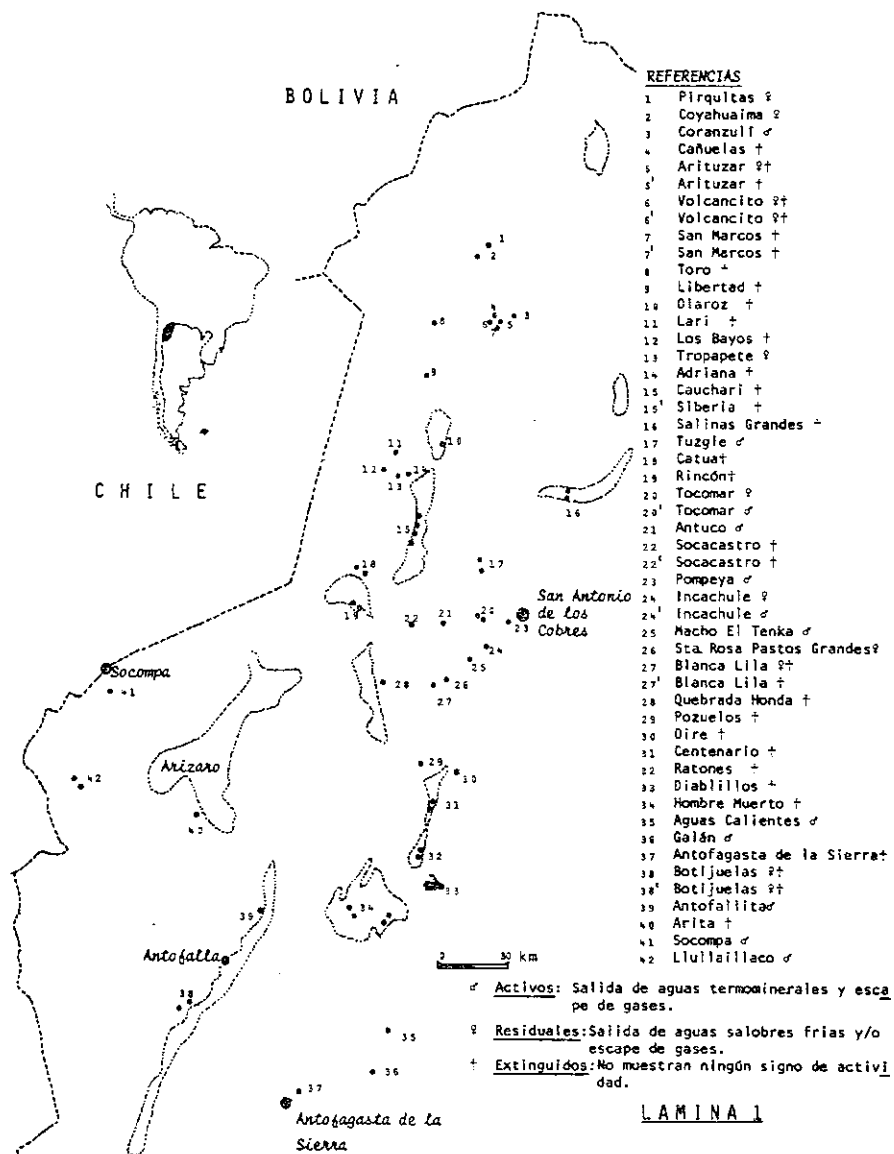
FUENTES TERMALES. CLASIFICACION Y GENERALIDADES

A los efectos de hacer comprensible la temática del termalismo en su relación con los boratos, en un trabajo anterior (Alonso y Gutierrez, 1984), se intentó una clasifica

ción preliminar de las fuentes termales boratíferas tomando como base de la clasificación la yacencia regional de las fuentes. Así fué posible distinguir tres tipos diferentes a saber: Fuentes de Volcanes, Fuentes de Montañas y Fuentes de Salares. Las fuentes de volcanes eran aquellas que se ubicaban alrededor de los edificios volcánicos puneños. Las fuentes de Montaña eran aquellas que se ubicaban en pequeñas quebradas de los bloques montañosos submeridianos que circundan los salares y las fuentes de Salares, eran aquellas ubicadadas a lo largo de las fracturas que limitan los salares.

En el presente trabajo tomando como base la yacencia regional se modifica y amplía en parte la clasificación anterior (lámina 1). Las modificaciones consisten en primer lugar en el agrupamiento de las llamadas fuentes de Volcanes y fuentes de Montaña en un solo tipo; esto es "en montañas" en contraposición a las fuentes "en salares". El hecho de agrupar las fuentes de volcanes y de montaña en un solo tipo, es consecuencia de que si bien las primeras se encuentran asociadas directamente a volcanes, lo hacen siempre en pequeñas quebradas teniendo generalmente como basamento las rocas ordovícicas y/o terciarias por las cuales ascendieron las aguas termominerales ya sea por el plano de discordancia entre ambos conjuntos o bien por zonas de debilidad de los mismos. De allí entonces que al no surgir las aguas en pleno basamento volcánico, sino en la forma antedicha pueden considerarse conjuntamente con las fuentes de montaña, más aún teniendo en cuenta que ambas, al igual que aquellas de los salares están en un todo ligadas al vulcanismo regional.

En cuanto a las fuentes de salares en el trabajo original citado, se consideraba que se ubicaban únicamente en las márgenes, pero hemos podido comprobar que hay fracturas que atraviesan el interior de las depresiones someras y que también tienen restos de termalismo.



| YACENCIA | TIPO | LOCALIDAD |
|--|----------------------------|--|
| EN MONTAÑAS (Quebradas que drenan volcanes y serranías) | GEYSERES BORATIFEROS | 5,6,7,13,14,22,27 |
| | GEYSERES NO BORATIFEROS | 1,20,24,26,38 |
| | MANANTIALES BORATIFEROS | (5',6',7',22',27',) * 2,4,8,9,11,12,21,20 |
| | MANANTIALES NO BORATIFEROS | 3,17,18,20,23,24,25,28,29,35,36,37,38,40** |
| EN SALARES (márgenes y/o interior de las depresiones) | GEYSERES BORATIFEROS | 15' |
| | MANANTIALES BORATIFEROS | 10,15,16,19,31,32,33,34 |
| | MANANTIALES NO BORATIFEROS | 39,41,42** |

* Asociados a geysers boratíferos

** Se mencionan los casos más conocidos. Depósitos de calcreos hidatogénos tienen amplia difusión en la Puna y son prueba de una intensa actividad termal cuaternaria. También se presentan en la actualidad otras numerosas fuentes de agua caliente. En ambos casos se ha omitido detallarlas por razones de escala de trabajo.

Alonso & Virente, 1985

Resumiendo, desde el punto de vista de la yacencia regional, en este trabajo se consideran dos clases de fuentes termales; esto es, de "Montañas" y de "Salares". Las primeras corresponden a pequeñas quebradas que drenan tanto las cadenas volcánicas como los cordones montañosos que limitan los salares, mientras que las segundas son aquellas ubicadas tanto en las márgenes como en el interior de las depresiones.

Ahora bien, desde el punto de vista de su presentación local, esto es, según la morfología en la construcción de los edificios termales, se dividen aquí en dos tipos que son: Geyseres y Manantiales (lámina 1). Los geyseres son aquellos que presentan un edificio propio, de forma cónica, construidos fundamentalmente de travertinos o travertinos y boratos a los cuales acompañan en mayor o menor medida óxidos de hierro y manganeso, yeso, halita, arcillas, carbonato de sodio etc. Semejan por su peculiar morfología a "pequeños volcanes" contando entre sus elementos con "conos", "crateres", "chimeneas", "bocas adventicias", "coladas" de travertinos y/o ullexita, etc. La construcción del edificio se debe a la expulsión violenta de aguas calientes fuertemente mineralizadas, arrojadas en forma intermitente. Al presente todos los geyseres de la Puna se hallan extinguidos o bien muestran solamente escape de gases y/o salida de aguas salobres frías, a pesar de que existen datos históricos de actividad geysérica en sentido estricto. En los Andes del Norte de Chile, todavía es posible observar los magníficos geyseres activos de la zona del Tatio.

Los aquí llamados generalizadamente como manantiales, comprenden todos aquellos derrames de aguas calientes en forma tranquila. De acuerdo a la topografía las aguas al brotar pueden correr libremente, perezosamente o con velocidades variables, ya sea sobre superficies planas, ligeramente inclinadas o fuertemente inclinadas y según esto, sumado además

a la distinta mineralización de las soluciones, pueden dar lugar a depósitos travertínicos y/o boratíferos con aspectos de "plataformas", "abanicos", "paredones", "faldones", y otras formas diversas que sería interesante intentar clasificar y nominar. Un ejemplo interesante de plataforma travertínica formada por el derrame de aguas termominerales a través de una fractura, lo constituye Arita en el borde sur del salar Arizaro donde se explotan travertinos de gran pureza y hermosos colores ("onix").

En la actualidad se conservan aún algunos manantiales con salidas de aguas termales y escape de gases, los cuales están formando costras de travertino, ocres, boratos, o sal según los casos.

DESCRIPCION DEL TERMALISMO

De la lectura y observación de la lámina 1, puede verse que se ha sintetizado la información básica correspondiente a nombre, ubicación, estado actual de la actividad y clasificación de las manifestaciones termales. Sería tarea imposible la enumeración de todas por lo que se han considerado los ejemplos más importantes.

A los efectos de brindar un panorama más detallado se describirán sintéticamente las características principales de los casos mencionados, haciendo hincapié en los geysers boratíferos.

I) YACENCIA EN MONTAÑAS

I.a.) GEYSERES BORATIFEROS

De la lectura de la lámina 1, puede verse que los llamados geysers boratíferos son aquellos de Arituzar, San Marcos, Volcancito, Tropapete, Adriana, Socacastro y Blanca Lila, siendo estos los principales casos conocidos a la fecha por los autores. Deben aclararse aquí dos cosas que son válidas para los otros geysers y manantiales. En primer lugar

no existe un nombre específico para cada geysers, sino que se ha dado el nombre que más se aproxima en cada caso; ya sea por una quebrada, un puesto, una mina etc. En segundo lugar un mismo nombre puede representar un solo geysers o manantial o bien varios ubicados en una misma localidad. Por ejemplo: Tropapete y Adriana están ubicados solitariamente, mientras que Arituzar, Volcancito y otros son un conjunto de focos termales en una misma localidad.

Arituzar

Ubicado a unos 15 km al oeste del pueblo de Coranzulí en la Puna jujeña. El acceso es precario a través de un camino en mal estado que es mantenido esporádicamente por la firma minera Baradero cuando se realizan explotaciones. Este camino sale a la izquierda, unos 10 km al sur de Coranzulí en la desembocadura del río Grande, cerca de un paraje conocido como Encrucijada o Cabildo, donde se encuentra el acceso a la mina de Bórax-Inyoita de Loma Blanca. El camino corre por la orilla del río Grande -caudaloso todo el año- hasta un puesto que se conoce como Ventillas. Desde este lugar hay que continuar un kilómetro aguas arriba por el río Alumbrio (afluente del río Grande) llegándose a Arituzar. Otros nombres tomados de viejas pertenencias mineras son: "Alumbrio", "Alumbrillo", "Arituzar" y "Daniel". En el lugar se encuentra un viejo campamento minero abandonado.

En cuanto a los focos termales existen dos conos prominentes ubicados uno frente al otro, a ambas márgenes de la quebrada, la cual se estrecha fuertemente por el crecimiento de los mismos. Ambos edificios geysersianos se desarrollan sobre rocas ordovícicas. El cono de la derecha, muestra aún en la boca escape de gases y salida de aguas salobres ferruginosas. Según Muessig(1966) en 1955 mostraba un vigoroso escape de gases y salida de aguas a 59°F. Alcanza una altura de 30 m con un diámetro aproximado en la base de 100 metros. El edificio geysersiano de la izquierda es más bajo pero tiene un cuerpo mayor. En la parte superior muestra una costra

gruesa de ocre de hierro. Ambos geysers están contruidos por travertinos amarillentos y ulexita. Estos materiales se presentan semejjando coladas que se derraman de las bocas. También se presentan algunas capitas de ónix y de oxidos de hierro y manganeso. En la construcción del edificio puede verse una sucesión de depósitos de ulexita y travertino que estarían indicando cambios periódicos de composición y temperatura de las aguas.

En las inmediaciones de estos geysers y en un radio de 300 m existen ocho manantiales de menor tamaño que han depositado principalmente ulexita. Estos manantiales se han formado en afluentes secundarios y en partes se encuentran alineados en respuesta a la surgencia de las aguas por planos menores de fractura. Si bien no han formado edificios prominentes, no se descarta que pudieran haber tenido actividad geysericiana reducida durante su formación.

En conjunto los ocho manantiales y los dos geysers han formado un depósito de unas 4.000 toneladas aproximadamente que fué intensamente minado a principios de siglo encontrándose hoy parcialmente agotado.

San Marcos

Se trata del ejemplo más espectacular de geysers boratífero (lámina 2, figura 1; notese al respecto el tamaño de los mineros). Está ubicado a unos 1.000 m al oeste del anterior y se accede de igual manera pero sin llegar hasta Ventillas, sino siguiendo por el camino que corre a lo largo del río Blanco (afluente del río Grande). Se encuentra en la margen derecha del río la cual está formada por rocas ordovícicas, alcanzando unos 30 m de altura por 100 m de diámetro. El cono principal superior travertínico está perfectamente conservado, mostrando una boca adventicia unos metros más abajo. La construcción del edificio geysericiano consiste en travertino y ulexita que forman sucesivas coladas superpuestas.

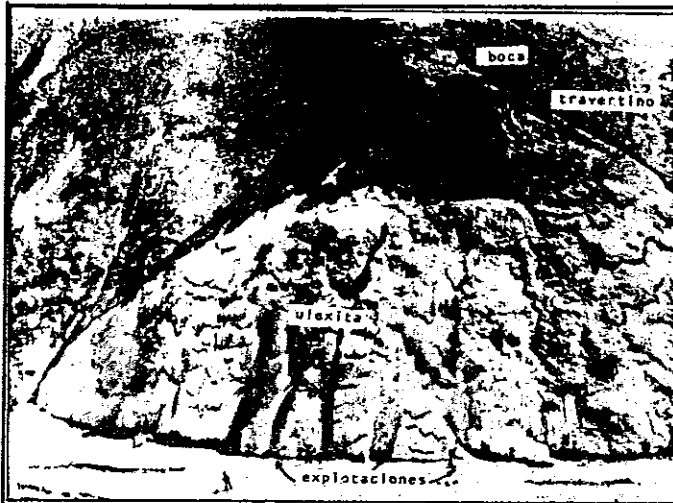


FIGURA 1

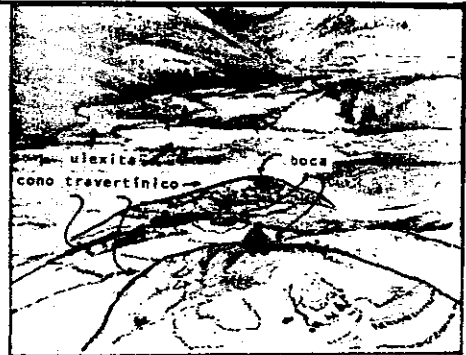


FIGURA 3

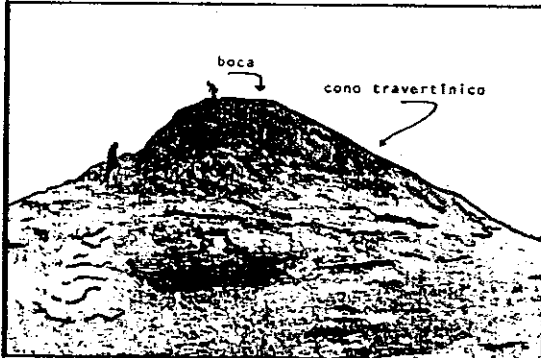


FIGURA 2

REFERENCIAS

- Figura 1: Geysers boratíferos San Marcos, Coranzulí, Puna Jujeha.
- Figura 2: Geysers no boratíferos Botijuelas, salar Antofalla, Puna ca. tanarqueña.
- Figura 3: Geysers boratíferos de Volcancito, Coranzulí, Puna Jujeha.
- Figura 4: Geysers boratíferos Tropapete, camino a Jama, Puna Jujeha.
- Figura 5: Geysers boratíferos de Blanca Lila, Salar Pastos Grandes, Puna salteña.

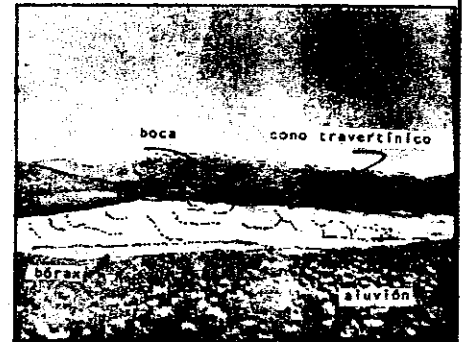


FIGURA 4

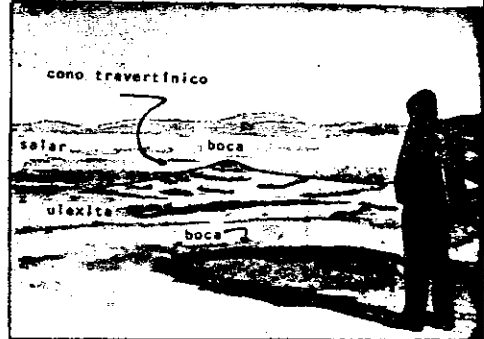


FIGURA 5

El travertino es poroso, gris amarillento y con algunos lentes delgados de ónix. La ulexita se encuentra muy pura y en espesores de hasta 50 cm. Se ha explotado intermitentemente desde principios de siglo no estando aún agotado.

En frente del geyser de San Marcos, sobre la margen izquierda de la quebrada se presentan alineados tres pequeños manantiales boratíferos y unos 300 m aguas arriba, sobre la margen derecha de la quebrada hay otros depósitos similares.

Además de San Marcos y a causa de las pertenencias mineras con que se afectó el sector, también se lo conoce como "Neptuno", "Alejandra" y "Huaira Yurac".

Volcancito

Fue descrito originalmente por Muessig(1966). Se trata de un conjunto de geysers de tamaño mediano que se ubican sobre la margen derecha de un pequeño afluente del río Blanco, a unos 5 km aguas arriba del geyser de San Marcos. El afluente mencionado se conoce como quebrada de Volcancito y sus aguas corren de norte a sur, a lo largo de una zona de debilidad generada por una fractura y por el plano de discordancia que separa las rocas ordovícicas de las rocas terciarias, las cuales se inclinan al este y al oeste respectivamente. Los geysers y manantiales boratíferos se alinean en esta dirección y tienen tamaño decreciente hacia el sur. En la parte norte de la quebrada están los conos mayores los cuales se presentan escalonadamente (lám. 2, fig.3). No superan los 6 m de altura con un diámetro basal promedio de 8 metros. De los tres conos que se observan en la fotografía el del medio aún tiene actividad consistente en escape de gases con ruidos guturales en su chimenea. Los conos están construidos por travertinos ferruginosos amarillentos y han depositado en sus alrededores y a lo largo del piso de la quebrada varias miles de toneladas de ulexita masiva, limpia, de buena calidad; minada parcialmente a principios de siglo.

El depósito principal tiene forma tabular y yace sobre el piso de la quebrada. Sus medidas aproximadas son 40 m de largo por 6 m de ancho. Los espesores son variables con un máximo de 1,30 m y un promedio de 0,40 m. Según datos recogidos por Muessig(1966) en 1924 salían gases vigorosamente y el agua era caliente, calculando que se elevaba unos 30 cm de la boca. Otros nombres para este lugar tomados de viejas pertenencias mineras son "Graciela", "Guadalupe" y "Verdún".

Los ejemplos anteriormente mencionados y otros focos boratíferos que se encuentran en la región del río Grande y sus afluentes eran conocidos en la jerga minera como las "Borateras del Paralelo 23" por su ubicación aproximada a lo largo del mismo. Barnabé(1915) y Muessig(1966) hablaron generalizadamente como los depósitos del río Alumbrio. En los recorridos efectuados en la comarca se han reconocido algo más de 20 geysers y manantiales boratíferos, algunos con actividad residual y otros totalmente extinguidos.

Adriana

Se encuentra ubicado en la margen izquierda de la quebrada Archibarca, a lo largo de la cual corre el camino a Chile por el paso de Jama, a unos 5 km aguas arriba de su desembocadura. El geysers se ha desarrollado sobre el piso aluvional de la quebrada y consiste en un cono aislado, asimétrico, achatado, de 35 m de diámetro por 2 m de altura. Está construido enteramente de arcillas limoníticas, finamente laminadas, con niveles de ulexita diseminada y en pequeños nodulos que no superan los 5 cm, que dan un bandeado rítmico. A la distancia presenta color amarillento claro. No tiene travertinos ni formó un depósito de boratos explotable.

Tropapete

Se ubica unos 7 km aguas arriba del anterior también yaciendo sobre el piso de la quebrada. Se distingue en la lejanía por su fuerte color blanco debido a una eflorescencia su

superficial de carbonato de sodio "coipa" (Lám. 2, fig. 4). Se trata de un cono aislado, achatado, con una base de 40 m de diámetro y una altura máxima de 3 m. El cono está construido por travertinos porosos entre los que se intercalan capas macizas de onix verde claro. Presenta escasa ulexita. Tiene la particularidad de haber depositado bórax, el cual se encuentra rellenando el aluvión como producto de la evaporación de las aguas boratadas calientes. Registra un leve escape de gas. El bórax se explotó y está casi agotado.

Socacastro

Se encuentra ubicado unos 15 km al SW de la localidad de Olacapato en un pequeño afluente de la quebrada homónima. Sus coordenadas son $66^{\circ}55'$ W y $24^{\circ}12'$ Sur. Las aguas calientes han ascendido por un plano de fractura inversa, de rumbo N-S e inclinación al oeste, que afecta a sedimentitas rojas de la Fm. Geste, las cuales constituyen el basamento del campo termal. Los depósitos formados corresponden a geysers y manantiales. Los geysers consisten en dos conos hermanados, uno mayor de 6 m de ancho por 3 m de altura y otro menor de 4 m de ancho por 2 m de altura. Están contruidos por travertinos porosos, amarillentos, con escasas venillas de ónix y han derramado ulexita en sus alrededores. Los manantiales en cambio, han formado una plataforma travertínica de $100 \times 20 \times 1,50$ m. El travertino es poroso, rosado amarillento, y está mezclado con gravas y arenas. Se observan lentes de ónix. La ulexita es de baja calidad.

La presencia de un material duro, rosado, hizo que se tomara una muestra para análisis químico que arrojó 20% de óxido de magnesio. Estudiada mineralógicamente resultó ser pinnoita $Mg(BO_2)_2 \cdot 3H_2O$ (Sureda, R. y Quiroga, A, com. personal).

Blanca Lila

Ubicada en una entrada del salar Pastos Grandes, 5 km al suroeste de Sta. Rosa de los Pastos Grandes. Coordenadas aproximadas $66^{\circ}42'$ W y $24^{\circ}30'$ Sur. El basamento del lugar lo forman rocas ordovícicas cubiertas en discordancia por las

sedimentitas terciarias rojas de la Fm. Geste. El campo termal boratífero se encuentra en un plano aterrizado a unos 40 m por encima del nivel del salar. Se observan geyseres y manantiales termales residuales que han formado un importante depósito de ulexita el cual fué intensamente minado. Los geyseres están construidos por travertinos amarillentos, con ónix como venillas milimétricas o en delgadas capas. Se observan abundantes manifestaciones de oxidos de hierro y manganeso. Entre los edificios geyserianos se destaca un cono de unos 30 m de diámetro por 10 m de altura (Lám. 2, fig.5). Una amplia plataforma de travertino meclado con materiales clásticos cubre el lugar. El borato alcanza 1 m de espesor.

I.b.) GEYSERES NO BORATIFEROS

Se mencionarán brevemente los más conocidos como complemento de los anteriores.

Pirquitas

A escasos kilómetros de la mina homónima se observan conos travertínicos prominentes, con bocas amplias llenas de agua y burbujeo incesante de gases.

Tocomar

Edificios travertínicos y manantiales de agua caliente a orillas de la ruta nacional 51.

Incachule

Se ubican en un afluente del arroyo Tajamar unos 20 km al sur de S.A. de los Cobres. Similar al anterior.

Santa Rosa de los Pastos Grandes

En frente del pueblo homónimo. Edificios travertínicos con bocas anchas llenas de agua y fuerte escape de gases.

Botijuelas

Constituye junto con Arituzar y San Marcos, los ejemplos más espectaculares de geyseres conocidos en la Puna. Se encuentra en la margen occidental del salar Antofalla. Morfológicamente resalta un impresionante edificio geyseriano travertínico, que por su aspecto de Botija ha dado el nombre

al lugar (Lám. 2, Fig. 2). Su chimenea está vacía y es muy profunda. La boca es ancha y de paredes estrechas lo que torna difícil caminar por su perímetro. Los materiales dominantes son "coladas" de travertino amarillento y capitas de ónix blanquecino. En las inmediaciones del geysir se observan manantiales de aguas templadas, ferruginosas y saladas que están depositando costras de óxidos y halita. Sobre la margen derecha de la vega de Botijuelas hay otro campo termal extinguido que muestra una amplia plataforma travertínica y abundantes eflorescencias de cloruro de sodio.

I.c.) MANANTIALES BORATIFEROS

En el punto I.a., fueron descritos aquellos que se encuentran asociados a los geysers boratíferos y que son Arituzar, Volcancito, San Marcos, Socacastro y Blanca Lila. Se describirán aquí otros focos termales que sin llegar a construir edificios geysierianos, tienen la particularidad de haber formado depósitos de boratos explotables.

Coyahuaima

Dos trabajos importantes se han escrito sobre este depósito (Catalano, 1930; Ahlfeld, 1948). Coordenadas aproximadas: $66^{\circ}30'W$ y $22^{\circ}45'S$. Viejos manantiales boratíferos han formado un depósito de 10.000 tn de ulexita y algo de bórax. Las aguas ascendieron por la zona de debilidad entre rocas ordovícicas y terciarias, y se derramaron formando una plataforma travertínica a 50 m del piso de la quebrada que atraviesa el lugar. Se observan lentes de ónix. Una curiosidad es la presencia de antimonita dentro de la ulexita. Actualmente se registra un leve escape de gas sulfídrico y carbónico. Se conoce también como mina "Edith".

Cañuelas

A 800 m de Arituzar, aguas arriba del río Alumbrio. Se trata de tres depósitos lobulares de ulexita dura carbonática prácticamente agotados. Sinonimia: "Jupiter", "Rosalia".

Toro

A 12 km de esa localidad y a orilla del río homónimo, se formó un pequeño depósito de ulexita sobre basamento de rocas ordovícicas.

Libertad

Al norte de Olaroz y en una quebrada cercana a la mina de plata Providencia, se formó un pequeño depósito de ulexita, por aguas calientes que ascendieron por la zona de debilidad entre rocas ordovícicas y terciarias. Se presentan travertinos y óxidos de hierro. El mineral alcanzaba a un metro de espesor y ha sido explotado esporádicamente.

Lari

Se ubican en un afluente de la quebrada de Archibarca, y su acceso es por una huella secundaria que se aparta a la derecha del camino a Jama, a la altura del geysir de Tropapete. Se trata de un travertino poroso que descansa sobre aluvión al cual se sobrepone un delgado manto de ulexita con muy escaso bórax que ha sido minado casi completamente. El basamento de la quebrada son rocas ordovícicas y terciarias.

Los Bayos

Se encuentra en un afluente de la quebrada Archibarca, a la izquierda del camino que vá a Jama a unos 7 km al SW del geysir de Tropapete. Yace sobre basamento de rocas ordovícicas y consiste de travertinos sobre los que se superpone un manto delgado de ulexita hoy casi agotado.

Antuco

Se ubica unos 10 km al SE de Olacapato y se accede por una huella que se aparta de la R.N. N° 51. Coordenadas: 24° 11'S y 66° 40'W. Numerosos manantiales han arrojado aguas boratíferas que depositaron ulexita en sus alrededores y en un plano aluvial en el cual se infiltran en su desembocadura. Unas 100.000 tn de mineral se han depositado. El basamento por el cual surgen las aguas calientes son rocas vol

cánicas mesosilícicas del complejo estratovolcánico Quevar. Potentes depósitos de travertinos y ónix atestiguan una fuerte actividad termal en el pasado. En la actualidad están surgiendo aguas calientes que forman ulexita y contienen altos porcentajes en litio que se está incorporando al circuito hidrológico del salar Caucharí (Viramonte et.al., 1984b).

Oire

Se detectó este manantial boratífero extinguido en la Quebrada Grande, la cual drena el filo de Oire Grande y desagua en el extremo NE del salar Centenario. El depósito consiste en un manto de ulexita de 30 cm de espesor que yace sobre travertino mezclado con aluvión del piso de la quebrada. Las aguas calientes ascendieron en el cruce ortogonal de dos planos de fractura que afectan rocas granítico-metamórficas de la "Faja Eruptiva". Se cubicaron 100 tn de ulexita que solo puede ser evacuada con mulares.

I.d.) MANANTIALES NO BORATIFEROS

Se agrupan aquí a manantiales o testimonios de manantiales que yacen por encima del piso de los salares. Algunos han sido mencionados anteriormente como Tocomar, Botijuelas e Incachule. Los testigos de manantiales incluyen todos aquellos depósitos de travertinos y ónix de origen termal. Entre los más importantes merecen citarse los de Catua, Aríta, Quebrada Honda, Pozuelos, Antofagasta de la Sierra que se explotan comercialmente.

Manantiales de aguas calientes o templadas se hallan también muy distribuidos en la Puna, mereciendo citarse aquellos de Coranzulfi, Pompeya, Macho El Tenka, Aguas Calientes, y Galán. Mayor información sobre las fuentes termales actuales de la Puna puede obtenerse en Arias, 1983 y Arias et.al., 1984.

II) YACENCIA EN SALARES

Comprende geysers y manantiales, boratíferos o no boratíferos, activos, residuales o extinguidos, que yacen en el piso de las depresiones puneñas.

II.a.) GEYSERES BORATIFEROS

La intensa actividad termal que tuvo lugar a lo largo de los planos de fractura que limitan o atraviesan los salares y que es responsable del 90% de los boratos allí depositados, ha dado lugar a una serie de tipos diferentes de manifestaciones, entre las cuales se cuentan los geysers. La erosión ha destruido en parte los edificios existentes y hoy solo se encuentran restos derruidos de los viejos aparatos. Algunos conos travertínicos que aún no están completamente desmantelados pueden verse en el borde occidental del salar Cauchari, en el lugar conocido como Siberia, donde importantes depósitos de boratos (ulexita y bórax) se presentan en los alrededores.

II.b.) MANANTIALES BORATIFEROS

Testigos de manantiales boratíferos son los abundantes restos travertínicos porosos, amarillentos, con óxidos de hierro y manganeso, que se presentan en algunos salares que contienen grandes depósitos de boratos. En algunos casos se observan aún las bocas inactivas como en el borde oriental de Ratones y en los otros casos las plataformas travertínicas. Mayor información en Alonso y Gutierrez, 1984.

II.c.) MANANTIALES NO BORATIFEROS

Comprenden aquellos depósitos travertínicos que no tienen boratos asociados. En cuanto a manantiales actuales de aguas calientes en borde de salares se tienen entre otros a Lullailaco, Laguna Socompa y Antofallita (Arias, 1983; Arias, et al., 1984).

CONCLUSIONES

- Los geysers y manantiales boratíferos están claramente relacionados con zonas de debilidad en donde la cubierta sedimentaria terciaria es mínima. Salvo el caso de Antuco que surge en rocas volcánicas, el resto lo hacen aprovechando planos de fracturas y/o discordancia entre las rocas ordovícicas y terciarias o bien netamente en las primeras. Estas rocas son estériles en boro y el elemento provendría de los vapores endógenos puestos en movimiento por el flujo calórico volcánico e inyectados en los circuitos hidrológicos locales. No se consideran por tanto a las manifestaciones boratíferas superficiales como una gufa geoquímica válida en la prospección de masas evaporíticas ocultas.

- El par travertino-borato repetido cíclicamente, que fuera observado en los geysers Arituzar y San Marcos, permite suponer la existencia de lentes menores de boratos incluidos y ocultos en el cuerpo de los otros geysers y manantiales boratíferos considerados.

- El hallazgo de antimonita en Coyahuaima y de pinnoita en Socacastro, las distintas presentaciones de ulexita con mezclas variadas de carbonato y bórax, la presencia de bórax, carbonato de sodio, halita, variedades de óxidos de hierro y manganeso, sumado a la inexistencia de estudios mineralógicos detallados permiten afirmar que futuros análisis en ese sentido proporcionarían valiosos hallazgos en los campos científico y económico.

- El descifrar la génesis, mecanismos hidrológicos, dinámica del emplazamiento, rasgos geoquímicos y otros aspectos en el estudio del termalismo boratífero cuaternario, significa avanzar en la comprensión del origen y yacencia de los viejos depósitos de boratos, cuyo soterramiento y deformación han producido un cambio en sus características originales.

LISTA DE TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Ahlfeld, F., 1948. La boratera de Coyahuaima, Prov. de Jujuy. Asociación Geológica Argentina, Revista, 3:271-278. Bs. As.
- Alonso, R. y Gutierrez, R., 1984. Zonación de ulexita en los salares de la Puna Argentina. Asoc. Geol. Arg. Rev. 39(1-2):52-57.
- Alonso, R., Viramonte, J. y Gutierrez, R., 1984a. Puna Austral. Bases para el subprovincialismo geológico de la Puna argentina. IX Congreso Geológico Argentino, Bariloche, Tomo 1:43-63. Bs. As.
- Alonso, R., Viramonte, J. y Gutierrez, R., 1984. Consideraciones sobre la evolución geológica y los recursos minerales de la Puna argentina. Simp. Intern. Tecton. Centroandina. La Paz.
- Alonso, R. y Viramonte, J., 1985. Provincia Boratífera Centroandina. IV Congreso Geológico Chileno, Antofagasta, Chile.
- Arias, J. (1983). La Geotermia en el Noroeste Argentino. Jornadas sobre energías no convencionales, Bs. As. (en prensa).
- Arias, J., Galliski, M. y Coira, B., 1984. Perspectivas geotérmicas de la Puna argentina. X COPIMERA. Bs. As. (en prensa)
- Barnabé, J., 1915. Los yacimientos minerales de la Puna de Atacama. An. Min. Agric., Secc. Geol., Miner., 10(5):283-320. Bs. As.
- Catalano, L. 1930. Boratera de Coyahuaima. Dir. Gral. Min. Geol. e Hidrol. Publ. 89:1-57. Bs. As.
- Catalano, L., 1964. Boratera de Antuco. Secr. Minería, Serie Argentina N° 2:1-32, 13 láminas. Bs. As.
- Igarzábal, A., 1982. El relieve de la Puna argentina. Inst. Ciencias Geológicas, Revista, 5:45-65. Jujuy.
- Muessig, S., 1966. Recent South America Borate Deposits, 2nd. Symposium On Salt, Vol. 1:151-159, Cleveland.
- Salfity, J., Gorustovich, S., Moya, C. y Amengual, R., 1984. Marco tectónico de la sedimentación y efusividad cenozoica de la Puna Argentina. IX Congr. Geol. Argentino. T. 1:539-554.
- Turner, J. y Mendez, V., 1979. Puna. Geología Regional Argentina, Acad. Nac. de Ciencias, Córdoba., p.p. 13-56.
- Viramonte, J., Galliski, M., Araña, V., García Cacho, L. y Martín Escorza, C., 1984. El finivulcanismo básico de la depresión de Arizaro, Provincia de Salta. IX Congreso Geológico Argentino, Bariloche, Tomo III:234-251. Buenos Aires.
- Viramonte, J., Alonso, R., Gutierrez, R. y Argañaraz, R., 1984. Génesis del litio en los salares de la Puna argentina. IX Congreso Geológico Argentino, Bariloche, Tomo III:471-481. Buenos Aires.