



EL RECURSO GEOTÉRMICO EN LA REGIÓN DEL RAMAL, PROVINCIA DE JUJUY

Abel H. PESCE¹

1. Departamento de Geotermia, Servicio Geológico Minero Argentino, Av. Julio A. Roca 651, Piso 8,
Sector 10, 1322, Buenos Aires; apesce@secind.mecon.gov.ar

INTRODUCCIÓN

En los últimos años la investigación de los recursos geotérmicos de baja temperatura ha alcanzado en Argentina un importante desarrollo. Presentan un diagnóstico positivo y una perspectiva de constante crecimiento en la utilización de los fluidos termales para generar nuevas posibilidades económicas, como ocurre con los denominados centros termales vinculados al turismo-salud, en el noreste del territorio. Los éxitos alcanzados están generando un marcado incremento en el uso directo del recurso, pero también han contribuido notoriamente en la caracterización del mismo.

Los recursos geotérmicos de baja temperatura existen en sistemas dominados por la convección hidrotermal y por la conducción de calor, por lo tanto a la mayoría de las áreas identificadas de los recursos geotérmicos de baja temperatura se las diferencia como *sistemas hidrotermales convectivos* y *sistemas hidrotermales conductivos* (Sorey *et al.*, 1982; Pesce, 2005). Estos recursos de baja temperatura ocurren principalmente en áreas donde se registra un gradiente geotérmico normal al atravesar el flujo las distintas capas de rocas permeables del subsuelo.

Un análisis útil puede hacerse entre un reservorio geotérmico y un sistema geotérmico para establecer conceptos en la geotermia de baja temperatura. Se considera que un «reservorio geotérmico» es un volumen geoméricamente definido de roca permeable de la cual se extrae la energía termal del fluido. Los reservorios que contienen los recursos geotérmicos de baja temperatura normalmente están rodeados por rocas más frías, generalmente en las cabeceras del sistema, que también son permeable e hidráulicamente conectados al depósito; así, el agua puede fluir entre las rocas circundantes y el reservorio en el estado natural. Los reservorios existen como partes de un gran «sistema geotérmico», involucrando la circulación de agua meteórica que se infiltra en las áreas de recarga y luego ascienden hacia las áreas de descarga. En este proceso se produce pérdida lateral de fluido termal en las formaciones permeables adyacentes a las estructuras del fluido termal ascendente. En un sentido más amplio, un «sistema geotérmico» incluye a la fuente de calor, que puede tener diferentes orígenes.

Otra consideración importante se encuentra en los límites de temperatura del fluido termal que se considera como recurso geotérmico de baja temperatura. La relación de temperatura en función de profundidad es la variable que se utiliza para definir los recursos

geotérmicos de baja temperatura, donde el límite de temperatura superior de este recurso es 90° C, utilizando los criterios de Muffler y Guffanti (1978) y Muffler (1979). A su vez el límite inferior de temperatura se considera de 10° C (Kincer, 1941) sobre la temperatura media anual del aire en la superficie, aumentando a 25° C por cada kilómetro en profundidad (Marshall, 1982). Por ejemplo, para una temperatura de aire anual media de 12° C, la temperatura mínima de la vertiente termal en superficie será de 22° C.

DISTRIBUCIÓN DE LOS RECURSOS GEOTÉRMICOS EN LA PROVINCIA DE JUJUY

El avance del conocimiento integral del recurso geotérmico de la Argentina permitió diferenciar dos regiones en la provincia de Jujuy (Pesce, 1999; Pesce, 2005) en función a la distribución de los *sistemas hidrotermales geotérmicos*. La primera lo constituye el gran segmento con volcanismo activo o reciente, que comprende la región de la Puna, donde se encuentran los *sistemas hidrotermales volcánicos*.

Son los más importantes por sus características y se relacionan con la geotermia de alta temperatura y, aunque sólo se limitan a ciertos sectores de la corteza, son las áreas de mayor desarrollo del mundo para la producción de electricidad.

Las investigaciones que se desarrollaron a fines de la década de los setenta (Estudios de Reconocimiento, Aquater, 1979) en la Puna Jujeña permitieron diferenciar cinco Áreas Termales (Laguna Vilana, Cerro Granada, Cerro Coyambo, Cerro Coranzulí y Tuzgle-Tocomar). Por su importancia en el Área Tuzgle-Tocomar se continuaron con los Estudios de Prefactibilidad y Complementarios.

La segunda región (no volcánica), se corresponde con regiones donde la corteza terrestre tiene un comportamiento relativamente estable. En esta zona se encuentran los recursos geotérmicos de baja temperatura, que cuantitativamente son los más importantes porque afectan a vastas regiones y sus aplicaciones están vinculadas a un uso directo del calor en múltiples emprendimientos económicos. En esta zona, por sus características tectónicas se encuentran los *sistemas hidrotermales convectivos* que, como se señaló, se diferencian por estar asociados a sistemas de fallas que permite que los fluidos termales lleguen a la superficie.

Los estudios realizados en la parte oriental de la provincia de Jujuy, en el sector conocido como «el Ramal jujeño» (Sussini *et al.*, 1939; Aquater, 1979; Arias, J.

et al., 1980; Moreno Espelta *et al.*, 1981; Arias, J. *et al.*, 1986; Arias, J., *et al.*, 1987; Pesce, 1994; Pesce, 1995; Pesce *et al.*, 1996a; Pesce *et al.*, 1996b y Pesce *et al.*, 1998), caracterizaron las vertientes termales y permitieron diferenciar, por su importancia geotérmica, cinco Áreas termales: Caimancito, La Quinta, El Palmar, Puesto Viejo y Cachipunco. Estas Áreas fueron ampliamente tratadas en el Relatorio del 9º Congreso Geológico Argentino (Pesce, 1999), donde se describieron sus características termales, tales como: estratigrafía, estructuras, quimismo, clasificación de los fluidos, temperaturas del reservorio, diferenciación y mezcla de tipos químicos, tiempo de circulación, etc.

En el presente artículo se complementa la información anterior con un enfoque regional que permite caracterizar a los recursos geotérmicos de baja temperatura dentro de los sistemas dominados por la convección hidrotermal. Este contexto, da una visión más amplia del recurso que permitirá identificar potenciales zonas termales en áreas pobladas o cerca de ellas, donde la energía de los fluidos termales podría contribuir al desarrollo de nuevos emprendimientos económicos.

CARACTERIZACIÓN DE LOS RECURSOS GEOTÉRMICOS EN EL RAMAL

Perspectiva de desarrollo

Un marcado desarrollo de la geotermia se viene produciendo en los últimos años en el noreste de la República Argentina, debido al hallazgo de nuevas áreas

termales vinculadas con cuencas sedimentarias (Chaco-paranense y Salado). Estas cuencas se caracterizan por contener diferentes niveles de acuíferos termales, que constituyen un importante potencial para la aplicación de los usos directos de la energía geotérmica. Esta característica permite a la región un constante crecimiento, donde las provincias utilizan los fluidos termales como pivote de desarrollo. Lo destacable en este proceso, e importante como metodología de trabajo que podría implementarse en el «Ramal jujeño», es que se buscan los recursos y se perfora, en sectores donde existe una infraestructura adecuada. Es decir en ciudades o centros poblados que permiten que los fluidos termales se sumen rápidamente como un nuevo y vigoroso elemento de desarrollo a la localidad. El «Ramal jujeño» ofrece buenas perspectivas geotérmicas y sus yacimientos que están en contextos geográficos y socio-económicos interesantes, permitirían la realización de diversos emprendimientos económicos.

LOS SISTEMAS HIDROTÉRMICOS CONDUCTIVOS

En los sistemas hidrotermales convectivos se produce una circulación ascendente donde los fluidos termales son transportados del reservorio a la superficie. Estos sistemas normalmente ocurren en las regiones donde la tectónica tuvo una marcada participación, como ocurre en las Sierras Subandinas, en el Ramal Jujeño. En la Figura 1 se ilustran cuatro posibles modelos de circulación de fluidos de sistemas geotérmicos relacionados con los sistemas hidrotermales convectivos.

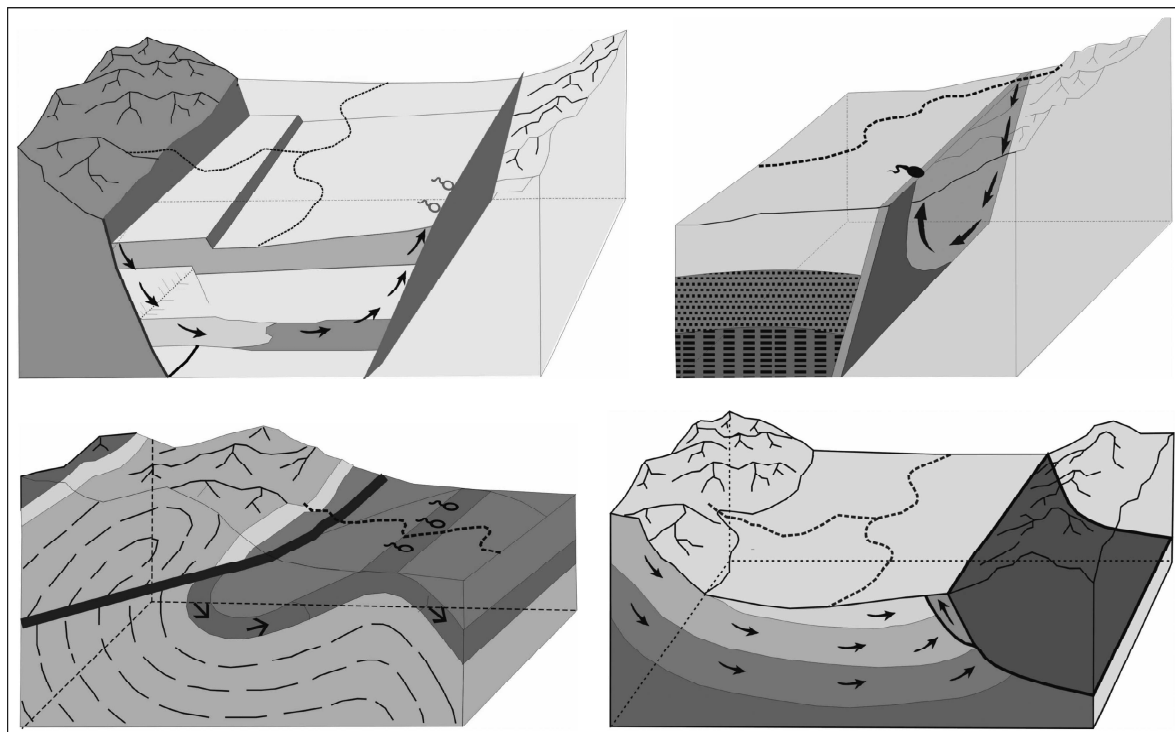


Figura 1: Distintos modelos conceptuales de sistemas geotérmicos convectivos caracterizados por el ascenso de los fluidos termales. Los dos superiores y el inferior izquierdo diseñados por Sorey *et al.*, 1982.



Por lo general la única evidencia de la existencia de un reservorio geotérmico en profundidad es una sola manifestación termal o un grupo de ellas o una perforación que produce fluido termal. En la zona del Ramal, las manifestaciones termales ocurren normalmente a lo largo de fallas normales y estructuras de corrimiento donde se encuentran bloques que presentan suave plegamiento y generalmente asociadas a estructuras menores.

SÍNTESIS DE LAS VARIABLES QUE INTEGRAN EL SISTEMA GEOTÉRMICO

Esquema estructural en las Áreas Termales y vías de ascenso

El estilo estructural de las Sierras Subandinas (Baldi *et al.*, 1976) es de pliegues volcados al poniente, con sus alas occidentales suprimidas por importantes fallas regionales inversas, que en superficie se presentan como de alto ángulo, pero que en profundidad pasan a ser de bajo ángulo. A su vez, el relieve topográfico se ajusta a la tectónica, es decir, que las sierras corresponden a anticlinales y los valles intermontanos a sinclinales.

La zona del Ramal se caracteriza por la presencia de corrimientos de rumbo NNE, cuya traza limita las distintas serranías, donde se elevan las unidades más antiguas que se extienden hasta el Ordovícico. Se disponen a lo largo de un amplio valle que ocupan los ríos Lavayén y San Francisco, por el occidente las sierras de Puesto Viejo, Zapla y Calilegua y por el oriente las sierras de Cachipunco y Santa Bárbara, y a su vez, esta última es separada por el valle del arroyo Santa Rita de la Sierra de Centinela (Fig. 2). Los bloques situados entre corrimientos presentan suave plegamiento, efecto de flexión de fallas y de arrastre en las cercanías de los corrimientos.

En el Área Termal Puesto Viejo el rasgo estructural destacable, es un anticlinal buzante. El mismo es la prolongación sur de uno de mayor extensión conocido en la literatura como anticlinal de Zapla. Arias *et al.*, (1987) señala que la totalidad de la estructura tiene una longitud del orden de los 75 km, desde algo al norte del cerro Labrado hasta la localidad de Aguas Calientes, donde se hunde en el subsuelo del valle del río Lavayén. El tramo de la estructura principal que corresponde a la sierra de Puesto Viejo, es un anticlinal asimétrico volcado al oeste. La fractura más conspicua del área, que Arias *et al.* (1987) la identifican como falla de Las Cañadas, corre a través de la zona llana distante unos 3 a 4 km al oeste del pie de la sierra. Es de alto ángulo en superficie pero en profundidad se transforma en prácticamente horizontal. En la zona (de Puesto Viejo) se desarrolla una falla secundaria de alivio, inversa y de gran ángulo en superficie, que acompaña paralelamente a la anterior; vinculada con la actividad hidrotermal, que está representada por cinco grupos de manantiales termales que emergen en el extremo sur de la sierra.

La Sierra de Cachipunco, donde se encuentra el área termal homónima, a pesar de ser una estructura menor en relación a las que la circundan, presenta todas las características de la región. Al norte de la sierra se produce el cierre del anticlinal volcado, el cual está enmarcado por sinclinales. En el sector de las manifestaciones termales (Arias *et al.*, 1980) el esfuerzo compresivo fue mucho más intenso y dio lugar a la supresión del sinclinal intermedio entre las sierras de Cachipunco y Centinela y al seccionamiento no sólo del ala occidental, sino también de parte del núcleo del anticlinal. Las manifestaciones termales están localizadas cerca del núcleo del anticlinal, específicamente en el tramo superior de los arroyos Garabatal y Cachipunco (Arias *et al.*, 1980). En ambos casos, las aguas brotan a través de diaclasas de las areniscas rojas de la Formación Los Blancos.

En el Área Termal Caimancito la localización de las surgentes (Fig. 3) coincide con una zona de falla, de rumbo azimut 25°, que marca el borde oeste de lo que constituye la continuación hacia el norte de las Lomas del Palmar. La falla principal pasa unos metros al oeste de la Ruta N° 1. Perteneciente al sistema NNE, producto de la orogenia andina, y su inclinación se ha estimado en 50° al este y a lo largo de ella se produce el corrimiento hacia el oeste del bloque (Pesce *et al.*, 1996). Paralela a esta se disponen hacia el este dos fallas paralelas, de menor magnitud, que resultan el control estructural principal de las surgentes en Aguas Calientes de Caimancito. La falla que se ha denominado Pantano Tibio tiene un rumbo N 25°E, e inclina aparentemente al NO, comportándose como falla de alivio del corrimiento principal. Controla la traza del arroyo colector oeste, y a lo largo de ella se disponen las surgentes del grupo occidental. Continuando en dirección al SE, un bloque elevado, situado topográficamente unos 20 m más arriba, se interpone entre las anteriores y las surgentes del grupo oriental. Estas se alinean a lo largo de la falla que se ha denominado Colector este, que controla asimismo la traza del arroyo.

Las manifestaciones de aguas termales en la zona de Laguna de La Quinta coinciden con un sitio de gran complejidad estructural, donde a la combinación de los sistemas NNE, NO y ENE que caracterizan tectónicamente la región, se suma la convergencia de las Lomas del Palmar y la Sierra de Santa Bárbara, y el cambio de rumbo de la falla del piedemonte occidental de esta, que pasa de un rumbo NNE al sur de la laguna, a un rumbo NE al norte de la misma (Pesce *et al.*, 1996). Las surgentes están controladas por la falla de piedemonte occidental de Santa Bárbara (Fig. 4), que tiene una actitud RN 25°, inclina 57° al ESE. A partir del extremo noreste de la laguna el rumbo pasa a N 45° E. Sobre el faldeo situado al este de los tramos mencionados numerosas fallas paralelas de rumbo N 40°E determinan una abrupta pendiente. El control que ejerce la falla de piedemonte no sólo se evidencia en las surgentes actuales, sino también en afloramientos de travertino que siguen su rumbo a lo largo de unos 5 km hacia el sur. Numerosas fallas de rumbo NO, y otras del sistema ENE, predominantemente

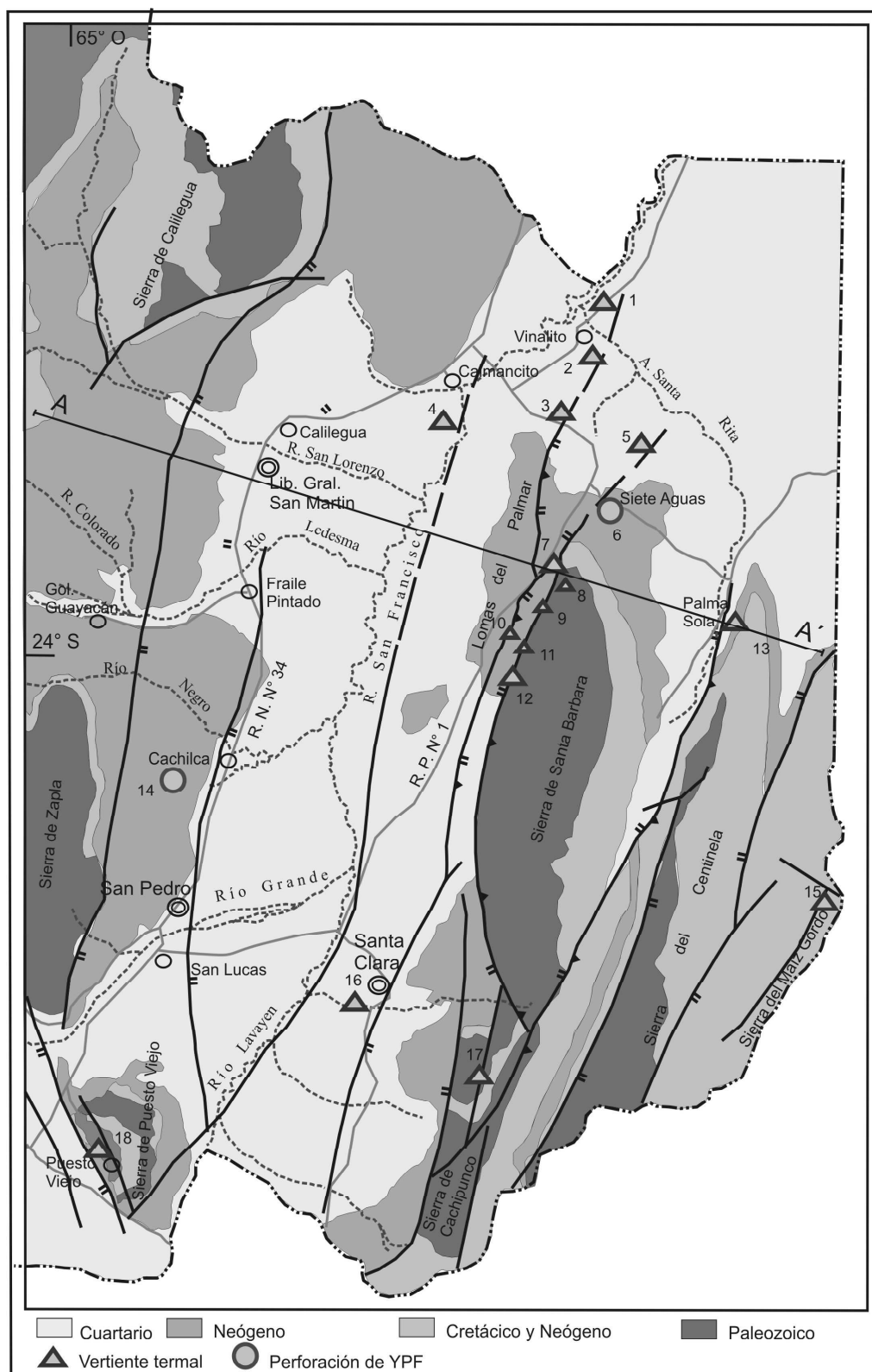


Figura 2. Base geológica-estructural extraído del Mapa Geológico de la provincia de Jujuy, 1996. 1. Manantial Laguna Totorilla, 2. Vinalito, 3. Caimancito, 4. Las Maurisias, 5. Santa Cornelio, 6. Pozo JB-5 (YPF-7 Aguas), 7. Laguna La Quinta, 8. La Toma, 9. Cantera Doña Zoila, 10. Las Pircas, 11. El Rabon, 12. El Palmar, 13. Las Vertientes, 14. El Morality-Pozo YPF, 15. Agua Caliente del Chorro o Chorro de la Perla, 16. Vertientes termales en la zona de Puesto Viejo, 17. Vertientes termales en la zona de Cachipuncu; A-A' Traza del Perfil de las Vías de circulación regional.

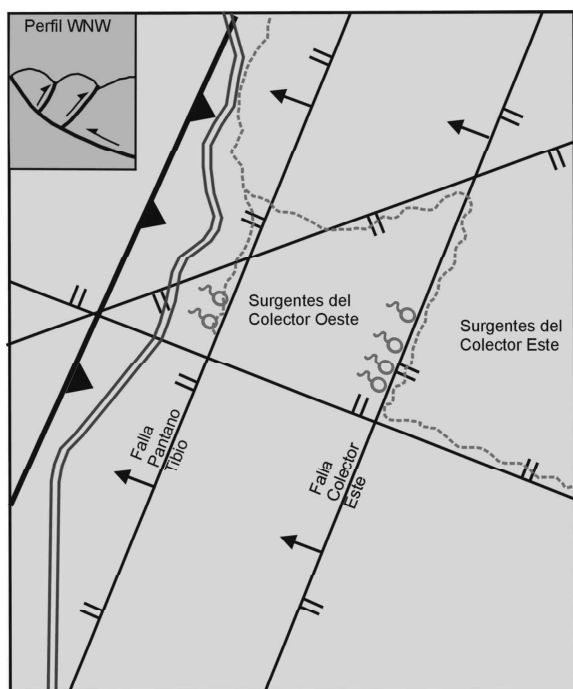


Figura 3. Esquema estructural en Caimancito.

subverticales han generado escalonamientos, con el bloque bajo al norte. En las intersecciones de estas estructuras con los corrimientos NNE es donde se genera la laguna de La Quinta con sus múltiples surgentes, los que ocupan la misma.

En el Área Termal El Palmar la zona de surgentes coincide con la traza de una falla de rumbo N-S, que inclina 40° al este, perteneciente al sistema de corrimientos andicos, causante de la elevación de la sierra de Santa Bárbara. Este sistema ha provocado un rechazo topográfico de 1.500 m, más un rechazo estratigráfico del mismo orden (Pesce *et al.*, 1996). El desplazamiento se distribuye en estructuras que ocupan en forma regular todo el flanco occidental de la sierra, siendo las fallas principales las que se ubican cercanas al piedemonte (Fig. 5). A este sistema se superponen los sistemas transversales NO y ENE consignados anteriormente. En esta zona se ha podido determinar con certeza la estructura que controla cada una de las surgentes, que son fracturas menores, pertenecientes a los sistemas transversales, que se detallan en el estudio de Prefactibilidad (Pesce *et al.*, 1996).

El flanco oriental de la Sierra de Santa Bárbara culmina en la quebrada del arroyo Santa Rita, inmediatamente al este de la cual se eleva la Sierra de Centinela por efecto de una gran falla que afecta su flanco occidental. Hacia el sur esta sierra converge con la Sierra de Santa Bárbara, mientras que hacia el norte, por efecto del menor rechazo, se interponen entre ambas extensas lomadas donde aflora el Paleógeno y permite la surgencia de la fuente termal La Vertiente en Palma Sola.

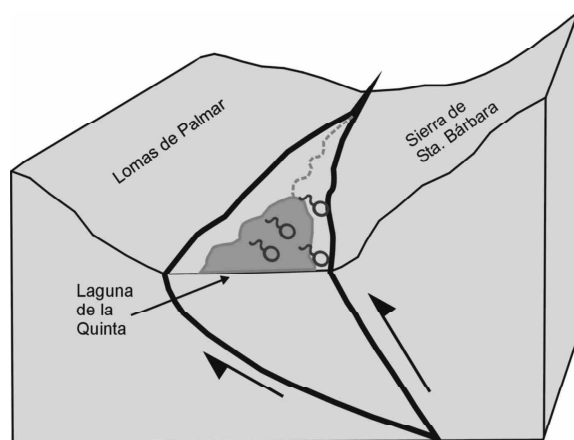


Figura 4. Esquema estructural el Laguna de la Quinta.

ÁREA DE RECARGA

Se observó el agrupamiento de las muestras de agua de mineralización débil (tipo recarga) al pie de las Sierras de Zapla y Valle Grande, donde afloran con una actitud monoclinal, inclinando hacia el centro de cuenca, las formaciones reportadas como acuíferos en perforaciones situadas al este. Como consecuencia de su actitud estructural los niveles permeables exponen sobre el piedemonte oriental de las sierras de Zapla y Valle Grande amplias áreas aptas para la infiltración, cuya superficie puede estimarse en el orden de 1.500 km² (Pesce *et al.*, 1997). Las aguas de mineralización débil, ligeramente bicarbonatadas cálcicas, características del sector, constituyen el flujo que ingresa al ciclo hidrológico. Esto se desprende de su contenido iónico, que es el menor reportado en toda la zona. Siendo la tendencia el incremento del contenido iónico por efecto de la circulación. Existen indicios de que también hay infiltración de aguas en los flancos de la Sierra de Santa Bárbara, que sería de las características de la muestra obtenidas en Cachipunco, y al norte de la misma. Dichos indicios se observan en las características geoquímicas de las aguas surgentes en El Palmar (Pesce *et al.*, 1966), que difieren levemente de las que vienen circulando desde el oeste, principalmente por la abundancia relativa de carbonatos que contienen.

VÍAS DE CIRCULACIÓN REGIONAL

El fluido termal, tras su ingreso al ciclo hidrológico en la zona de infiltración situada al pie de las sierras de Zapla-Valle Grande (Fig. 6), inicia una prolongada circulación a lo largo de niveles permeables. La base del perfil, que es ampliado en el presente trabajo, se extrajo de Miranda y Johannis (2000). En general puede afirmarse que los acuíferos tienen continuidad en todo el trayecto que separa las zonas de recarga y de surgencia. Las perturbaciones tectónicas en el área central de la cuenca se expresan en fracturas de bajo ángulo que no parecen interrumpir la circulación de las aguas subterráneas, ni provocan surgencias en la franja que

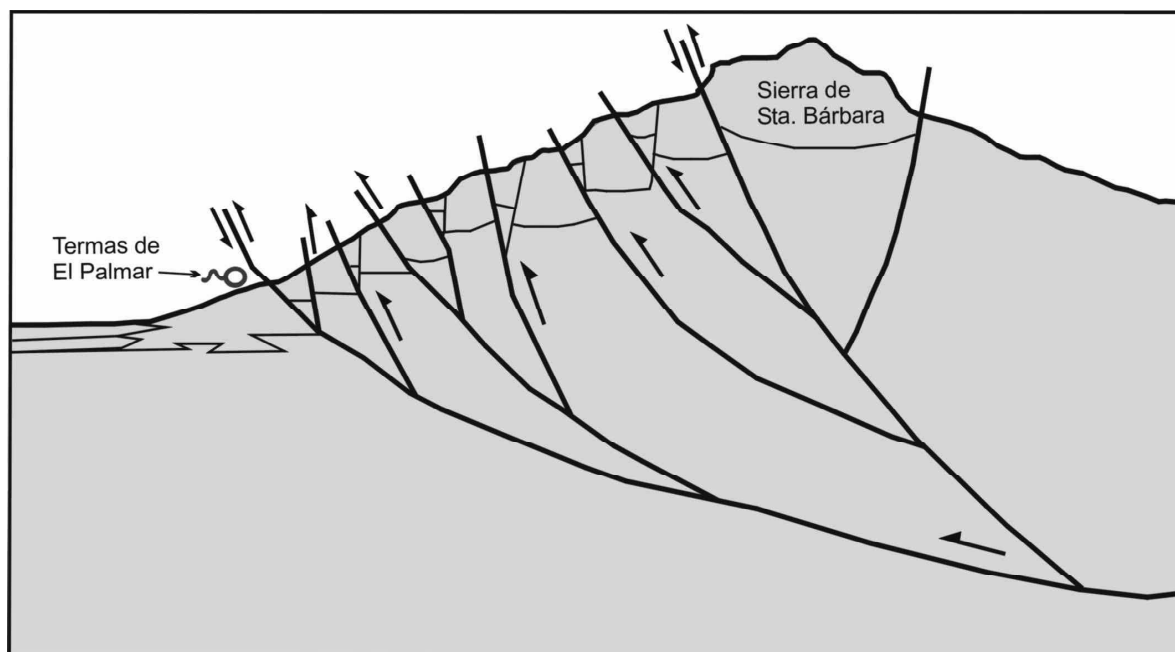


Figura 5. Esquema estructural del flanco occidental de las termas de El Palmar.

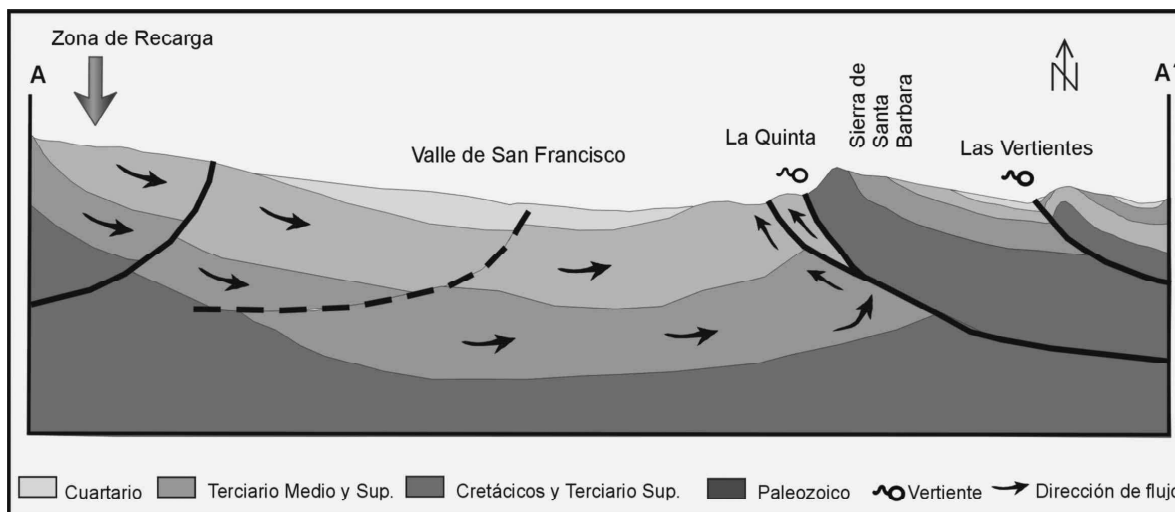


Figura 6. Esquema de circulación de los fluidos termales y de las principales estructuras que permiten su ascenso.

separa el piedemonte de las sierras de Zapla-Valle Grande y el borde occidental de las Lomas del Palmar (Pesce *et al.*, 1997). Recién en la zona de Caimancito los niveles del Terciario Subandino son cortados por un corrimiento longitudinal que produce el ascenso de los fluidos termales. Igual proceso les ocurre a los acuíferos de la sección media del Grupo Salta y a los que se ubican hacia su base, que son cortados por falla a la longitud del piedemonte occidental de la Sierra de Santa Bárbara generando las numerosas vertientes que se presentan en su flanco occidental. Circunstancias similares se presentan en las sierras de Puesto Viejo, Cachipuncu y al norte de la Sierra de Centinela que originan las vertientes termales en dichas localidades.

A lo largo del perfil se desarrollan numerosos niveles acuíferos que son atravesados por perforaciones petrolíferas, asumiendo su continuidad en la región. Las perforaciones indican la presencia de por lo menos unos quince niveles permeables a diversas profundidades que son señalados en el informe complementario de Prefactibilidad (Pesce *et al.*, 1997). El estudio geoquímico de las aguas permitió establecer, en función a la identidad geoquímica de las aguas subterráneas, tres sectores en donde se agrupan varios niveles permeables:

• Cuaternario y Terciario Subandino

Circulan por estos niveles aguas de mineralización débil, ligeramente bicarbonatadas cál-



cicas, muy similares a las aguas de recarga que ingresan al sistema. Su captación en niveles someros refleja la presencia de vías de ascenso hacia las surgentes. Estos niveles serían la fuente de la surgente de Caimancito.

- **Formaciones Lumbrera, Maíz Gordo, Mealla, Olmedo y Yacoraite**

Por estas formaciones circulan aguas de mineralización extremada y salmueras, intensamente cloruradas sódicas. Estas aguas tienen participación en la mezcla de aguas que surge en el sector de Laguna de La Quinta, imprimiéndole su tipo geoquímico.

- **Formaciones Lecho y Pirgua**

Por ellas circulan aguas de mineralización débil a fuerte, ligeramente bicarbonatadas cálcicas, similares a las que circulan en las secciones cuaternarias y terciarias superiores. El estudio del esquema hidrológico regional sugiere que es ésta la principal fuente de los fluidos termales surgentes en Laguna de La Quinta y El Palmar.

FUENTE DE CALOR

Los datos de campo de la zona del Ramal muestran un gradiente cercano al normal al este del Río San Francisco, de entre $3^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ y $3.5^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ (Pesce *et al.*, 1997). Al pie de las sierras de Zapla y Valle Grande el gradiente es inferior al normal, del orden de $2.6^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ en los 4.000 m superiores de la columna sedimentaria. Hacia la base del Grupo Salta aumenta bruscamente, hasta niveles de más de $8^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$. Estos gradientes fueron determinados por ensayos en perforaciones petrolíferas, con medición de temperaturas de fondo de pozo y de líquidos ensayados, y controlados a través del análisis de maduración de hidrocarburos, cuyos datos se encuentran en el estudio Complementario de Prefactibilidad (Pesce *et al.*, 1997). El gradiente geotérmico relativamente bajo, y el brusco incremento que registra hacia el techo de la columna paleozoica responderían, a la estratigrafía del sector.

Ello permite inducir elevadas temperaturas, acordes con una zona de corteza atenuada y alto gradiente geotérmico en la sección media e inferior de la columna paleozoica. Un eventual acuífero ordovícico, también en equilibrio térmico, y considerando la curva de gradiente geotérmico confeccionada para el anticlinal de Caimancito, podría alcanzar temperaturas de hasta 250°C , a unos 7.000 m de profundidad. Sin embargo, la disposición de los estratos permeables aflorantes en la zona de recarga sugiere la desconexión de la columna paleozoica con las aguas que ingresan a la cuenca.

Los valores que arroja la geotermometría de fase líquida calculados sobre muestras de las surgentes indican temperaturas de la fuente que rondan los 100°C . De acuerdo con el gradiente regional, dicha temperatura se alcanzarían a profundidades consistentes con la

posición que alcanzan los estratos permeables en la cuenca. Los contenidos de tritio de las muestras analizadas en las surgentes termales revelan un tiempo de circulación superior a los 50 años, deduciéndose de allí que las aguas subterráneas se encontrarían en equilibrio térmico con el medio permeable que las contiene.

Se interpreta que la fuente de calor del sistema termal es el gradiente geotérmico regional, opinión señalada oportunamente por Arias *et al.* (1986). El mismo asume valores elevados en profundidad por efecto de la atenuación cortical que produjo la extensión que afectó a la región a comienzos del Cretácico.

Si consideramos que los acuíferos más profundos alcanzan en el centro de la cuenca cotas que rondan los 4.000 m bajo superficie, en condiciones de circulación lenta las aguas subterráneas que se alcanza el equilibrio térmico, tendrían temperaturas de hasta 150°C . Visto que los cálculos geotermométricos arrojan temperaturas del orden de los 90° a 120°C , el mayor valor de las temperatura obtenido por gradiente autoriza a interpretar un posible enfriamiento y mezcla con aguas superficiales sin afectar el balance de calor.

CARACTERÍSTICAS DE LOS FLUIDOS TERMALES

Los estudios de detalle de las manifestaciones termales (Aguater, 1979; Arias *et al.*, 1980; Arias *et al.*, 1987; Pesce *et al.*, 1996) indican que las distintas áreas termales y vertientes aisladas que se encuentran en la zona del Ramal no están conectadas entre sí, tanto por las características químicas de sus aguas, como por los estudios isotópicos, por lo que es posible interpretar que todas las áreas corresponden a grupos independientes. La composición isotópica de cada grupo evidencia las diferentes características y/o condiciones de las precipitaciones que han constituido la recarga en cada uno de los sectores.

Los datos de la presencia o ausencia de tritio en las manifestaciones muestreadas, han permitido estimar tiempos de circulación en el subsuelo que determinan grupos independientes de aguas. Los ordenes de magnitud determinados por la ausencia de tritio indican un largo periodo de tránsito en el subsuelo, por lo que en ausencia de mezclas, los equilibrios termodinámicos, que constituyen el fundamento teórico de los cálculos geotermométricos, habrían podido producirse. Los cálculos realizados señalan que las mayores temperaturas subsuperficiales se registran en el sector de El Palmar (110° - 130°C), siendo intermedias las observadas en la Laguna de La Quinta (100° - 120°C) y Puesto Viejo (100° y 108°C) y menores las de el sector de Caimancito (71° - 80°C). Por lo tanto la mayor temperatura se encuentra en la zona media (El Palmar) y presenta una leve disminución, tanto hacia el norte como hacia el sur. Este hecho contrasta, en parte, con las temperaturas medidas en las surgentes, ya que en este caso la relación es inversa hacia el norte (las temperaturas son más altas en Caimancito y disminuyen hacia El Palmar), mientras que hacia el sur las temperaturas de las surgencias también disminuyen. Esta marcada diferencia de temperaturas

Niveles termales atravesados	Temp. (°C)	Clasificación
530-535	55°	Sulfatada-clorurada; sódica-cálcica
736-748	85°	Bicarbonatada-sulfatada; cálcica-magnésica
751-757	75°	Bicarbonatada; magnésica-cálcica
878.3-878.6	65°	Sin anión dominante; sódica
1040-1042	35°	Clorurada-sulfurada; sódica
1072-1085	72°	Sin anión dominante; sódica

Tabla 1. Profundidades, temperaturas y característica química de los niveles termales atravesados en la perforación JB-5.

Nivel termal atravesado	Temp. (°C)	Clasificación
509-521	48°	Clorurada; sódica

Tabla 2. Profundidad, temperatura y característica química del nivel termal superior atravesado en la perforación de YPF, El Moralito.

entre los reservorios y las vertientes podría vincularse, además de confirmar la no conexión entre los sectores, a las estructuras que facilitan las vías de ascenso en uno de ellos.

POSIBILIDADES DE DESARROLLO ECONÓMICO

Las investigaciones de los recursos geotérmicos de baja temperatura en el Ramal jujeño, establecieron un modelo que contempló; la zona de recarga, las vías de circulación y estructuras de ascenso de los fluidos termales, los distintos tipos químicos de sus aguas, tiempos de circulación, temperaturas en profundidad, fuente de calor, entre otros parámetros, que permitieron caracterizar a los recursos dentro de los *Sistemas Termales Conductivos*. Los estudios en detalle evidenciaron la existencia de numerosos reservorios geotérmicos que no se encuentran conectados entre ellos y que podrían ser explotados en distintos sectores de la zona. Esta evidencia también se resalta en los antiguos pozos de exploración petrolera que se han realizado en distintos sectores y que han cortado numerosos niveles de acuíferos termales. La perforación JB-5, también conocida como «YPF Siete Aguas», que se encuentra a 1.3 km. de la localidad de Siete Aguas, es una interesante evidencia del potencial geotérmico de la zona. En la tabla de la Tabla 1 se pueden observar los distintos niveles termales que fueron atravesados (Palanca, 1991).

Pero adquiere una significación mayor el dato de la perforación de YPF «El Moralito» (Aquater, 1979); ubicado al norte de la localidad de San Pedro, 4 km al oeste por la Ruta Nacional N° 34, no sólo por que contribuye en la interpretación del sistema geotérmico existente en el ramal, sino por que abre una excelente posibilidad de desarrollo a las localidades de San Lucas, San Pedro, El Quemado, Chalicán, Fraile Pintado, Pueblo Ledesma, Libertador General San Martín, entre otras.

La perforación El Moralito confirmaría la existencia de un nivel termal a una profundidad factible de alcanzar, (entre 500 y 550 m), con una temperatura promedio de 48°C (Tabla 2). Un nivel dentro de estos órdenes de profundidad y temperatura también fue registrado en la perforación JB-5.

Como fue señalado anteriormente, el sistema geotérmico se encuentra involucrado en toda la región, por lo tanto, debería analizarse mediante métodos geofísicos de bajo costo, como pueden ser los sondeos eléctricos verticales (SEV), la existencia de reservorios geotérmicos cerca de las localidades antes citadas.

Establecido la existencia del recurso, a profundidad factible de llegar (500 a 700 m) sería interesante realizar un estudio socio-económico en las distintas localidades en que se encuentre. Si bien son conocidas las múltiples aplicaciones económicas que se pueden realizar, tanto en el agro, la industria, el uso doméstico, en la balneología, etc., es importante establecer los posibles emprendimientos que se podrían realizar vinculados a la problemática local, generando nuevas alternativas de desarrollo y también de sustitución energética en los emprendimientos existentes. Por otro lado es importante tener en cuenta el uso en cascada del recurso, donde se establezcan aplicaciones que necesiten distintos saltos energéticos, que puedan ser abastecidas por una perforación termal y también que la utilización de la energía geotérmica amortiza rápidamente la inversión inicial de la perforación al achicar la tasa de retorno en el ahorro energético del proyecto.

REFERENCIAS

- Aquater, 1979. Estudio del potencial geotérmico de la Provincia de Jujuy, República Argentina. Fase de reconocimiento. Secretaría de Estado de Minería. Contrato Saipen Argentina S.A.-Gobierno de Jujuy: 129 pág. Informe Inédito. Jujuy.
- Arias, J., Chalabe, E., Moreno Espelta, C., y Chávez, A., 1980. Geología del área termal de Cachipuncu, Departamento Santa Barbara, Provincia de Jujuy. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 35 (4): 557-569. Buenos Aires.
- Arias, J., Chávez, A., y Moreno Espelta, C., 1986. Distribución de las localidades hidrotermales de la Provincia de Jujuy y Salta, República Argentina. INENCO. Universidad Nacional de Salta: 20 pág. Salta.
- Arias, J., Chávez, A., Moreno Espelta, C., y Chalabe, E., 1987. Geología del área termal de la Sierra de Puesto Viejo,



- Departamento del Carmen, Provincia de Jujuy, República Argentina. *Revista del Instituto de Geología y Minería*, 7: 55-77.
- Baldis, B. A., Gorroño, A., Plozkiewicz, J.V. y Sarudiansky, R., 1976. Geotectónica de la Cordillera Oriental, Sierras Subandinas y comarcas adyacentes. *Actas 6° Congreso Geológico Argentino*, 1: 3-22.
- Miranda F.J. y Johanis, P., 2000. Geology and thermal features of El Ramal area, Jujuy province, Argentina. *Proceedings World Geothermal Congress 2000*: 1437-1441 (CD). Kyushu-Tohoku, Japan.
- Moreno Espelta, C., Arias, J.E., y Chávez, A., 1981. Geología del área termal de Santa Bárbara, Provincia de Jujuy, República Argentina. *Actas 8° Congreso Geológico Argentino*, 3: 713-732. San Luis.
- Pesce, A. H., 1994. Estudio del potencial de los recursos geotérmicos de baja entalpía de la zona del Ramal para el desarrollo de las economías regionales (orientado a bañoterapia, hotelería), Provincia de Jujuy, Pre-Proyecto, Primera Etapa, Dep. de Geotermia, Dirección Nacional del Servicio Geológico, Subsecretaría de Minería: 12 pág. Informe Inédito.
- Pesce, A. H., 1995. Estudio del Potencial de los recursos geotérmicos de baja entalpía en la zona del Ramal para el desarrollo de las economías regionales, Prov. de Jujuy, Reconocimiento-Segunda Etapa, Dep. de Geotermia, Dirección Nacional del Servicio Geológico, Subsecretaría de Minería de la Nación: 21 pág. Informe Inédito.
- Pesce, A.H., Johanis, P., Miranda, F. y Garea, E., 1996. Estudio del potencial de los recursos geotérmicos de baja entalpía en la zona del Ramal para el desarrollo de las economías regionales, Prov. de Jujuy, Prefactibilidad-Tercera Etapa, Dep. de Geotermia, Dirección Nacional del Servicio Geológico, Subsecretaría de Minería de la Nación: 103 pág. Informe Inédito.
- Pesce, A.H., Johanis, P., Miranda, F. y Garea, E., 1997. Estudio del potencial de los recursos geotérmicos de baja entalpía en la zona del Ramal para el desarrollo de las economías regionales, Prov. De Jujuy, Prefactibilidad-Informe complementario-, Dep. de Geotermia de Geotermia, Dirección Nacional del Servicio Geológico, Subsecretaría de Minería de la Nación: 68 pág. Informe Inédito.
- Pesce, A.H., Johanis, P., Miranda, F. y Garea, E., 1998. Área Termal Laguna de la Quinta: Parámetros de superficie del modelo geotérmico preliminar, Zona del Ramal, Prov. de Jujuy, Argentina. *Actas 10° Congreso Latinoamericano de Geología y 6° Congreso Nacional de Geología Económica*, 3: 403-408. Buenos Aires.
- Pesce, A.H., 1999. Geotermia. En: González Bonorino, G., Omarini, R. y Viramonte, J. (Eds.): *Geología del Noroeste Argentino. Relatorio 14° Congreso Geológico Argentino*, 2: 69-97.
- Pesce, A.H., 2005. Argentina Country Update. *World Geothermal Congress 2005 CD-ROM*, Paper N° 0122: 12pp. Antalya, Turkey. www.iga.igg.cnr.it/pdf/WGC/2005/0122.pdf
- Sussini, M., Herrero Ducloux, E., Brandán, R.A., Isnardi, H., Galmarini, A.G., Castillo, M. y Pastore, F., 1939. *Aguas Minerales de la República Argentina. Volumen 5: Provincia de Jujuy*. Buenos Aires.