



XVIII Congreso Peruano de Geología

Características geológicas de la zona geotérmica de Pinaya- región Puno

Diana Pajuelo¹, Ana Condorhuaman¹, Vicentina Cruz¹ y Elmer Zegarra¹

¹ INGEMMET, Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Av. Canadá 1470 San Borja, Lima, Perú (dpajuelo@ingemmet.gob.pe)

1. Introducción

Pinaya, ubicada en el distrito de Santa Lucía, fue catalogada como una zona geotérmica promisorio en la región Puno (JICA, 2012). Según los geotermómetros, los reservorios geotérmicos podrían alcanzar temperaturas entre 181° a 193°C (Huamaní, 2001) considerados dentro del rango de alta entalpía, por esto se puede utilizar para múltiples usos y hasta energía eléctrica (Llopis, 2008).

En este sector no existe vulcanismo reciente, sólo lavas andesíticas dacíticas del Grupo Sillapaca con dataciones radiométricas de 13.6 Ma (Klinck et al., 1986), cortado por el sistema de falla regional Lagunillas.

De acuerdo a las metodologías establecidas en los manuales de OLADE (1994) e IGA (2013), en una etapa de exploración geotérmica, el ambiente geológico debería ser menor de 3 o 5 Ma. Del mismo modo Moeck (2013), determina que los recursos geotérmicos pueden encontrarse controlados de acuerdo a la variedad de ambientes geológicos conectados por evolución geodinámica, sedimentaria, magmática y/o tectónica.

2. Contexto Geológico

El área de estudio se ubica entre la Cordillera Occidental y el Altiplano, 90 km al noreste del arco volcánico activo y 80 km al norte del volcán activo Ubinas.

Además, afloran rocas sedimentarias de areniscas cuarzosas y calizas del Cretácico (Formación Hualhuani y Arcurquina) y secuencias plegadas de areniscas rojas y conglomerados del Eoceno-Oligoceno (Grupo Puno).

Sobre dichas unidades, se encuentran secuencias de flujos de lavas andesíticas (Grupo Tacaza, 29 Ma), sobreyaciendo a estas en ligera discordancia angular, ocurren tobas vítrea de color blanco (Grupo Palca, 22-18 Ma). Localmente, afloran secuencias lacustrinas correspondientes a cuencas sinorogénicas (Grupo Maure) (Aguilar, 2012). Sobre estas unidades se encuentran lavas dacíticas, andesíticas y andesitas basálticas (Grupo Sillapaca, 13-14 Ma).

Estas rocas se encuentran cortadas por diques andesíticos y rocas hipoabisales pórfido dioríticas. A su vez, se encuentran controladas por la falla regional Lagunillas, correspondiente a los sistemas de fallas Cusco-Lagunillas-Mañazo (Carlotto et al., 2005, Cerpa et al., 2012) presentando movimientos normales y de rumbo (transtensión) durante el Mesozoico y de rumbo sinistral e inversa (transpresión) durante el Cenozoico. Dichas fallas tienen origen profundo y controlaron el magmatismo durante el Oligoceno (Figura 1).

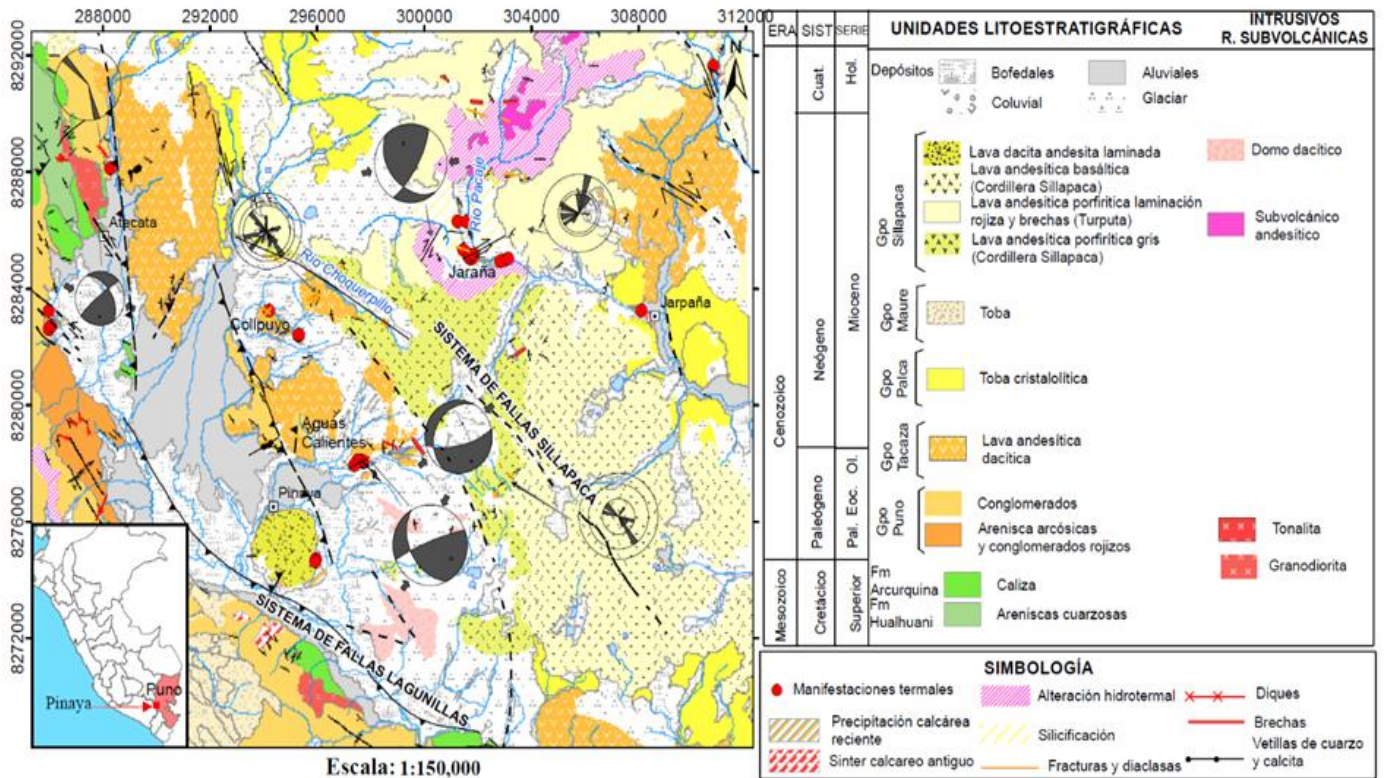


Figura 1.- Mapa de ubicación, geología y diagrama de esfuerzos en la zona geotérmica de Pinaya.

3. Descripción de Zonas con manifestación termal

La zona geotérmica Pinaya presenta manifestaciones termales de tipo fuente termal ubicada en los centros poblados de Pinaya, Atecata, Jaraña-Jarpaña y caserío Collpuyo.

En Pinaya afloran tres fuentes termales: En el centro poblado de Pinaya a 36°C, en el cerro Aguas Calientes afluentes entre 65 a 83°C, presentan precipitaciones calcáreas reciente, entre su composición se identifica el yeso y calcita. En Collpuyo, las temperaturas superficiales oscilan entre 44-46°C, las precipitaciones consisten en capas con buzamiento 20° al sur, los minerales presentes son halita, cuarzo y calcita.

En Jaraña, existen 6 afluentes termales con temperaturas entre 55° a 73°C, todas afloran en el río Pacaje. Existen precipitaciones de sinter dentro de las cuales se han identificado halita y yeso, además minerales con elementos como Ag, Cu, Pb, As, Pb, Sn y Fe.

Del mismo modo, al sur del poblado de Atecata, se encuentran manifestaciones termales con temperaturas entre 43 y 51°C, las precipitaciones de sinter identificadas son recientes y antiguas, las recientes presentan minerales como halita, calcita, cuarzo y yeso; y entre las capas antiguas de 1m de espesor, orientación N165°/80°O, minerales como calcita y cuarzo.

En Jarpaña, río Jallpamayo afloran manifestaciones termales inmóviles, a temperaturas superficiales de 50°C, las precipitaciones de sinter presentan minerales de calcita y cuarzo. Del mismo modo, se identifican capas de precipitaciones calcáreas de carácter antiguo, 2 m de

espesor con buzamiento entre 4-14° dirección al río Jallpamayo, ubicadas en ambas márgenes. Las secuencias presentan minerales de aragonito, calcita y yeso. En los dos últimos casos las precipitaciones antiguas se encuentran a mayor altitud que las recientes (Figura 1).

3.1. Alteración Hidrotermal

La modificación de la roca producida por la presencia o circulación de soluciones hidrotermales ocurre en Jaraña, al norte del río Pacaje cerca del cerro Turputa, donde la roca protolito ha sido completamente reemplazada y se identifican minerales como cuarzo, caolinita, alunita y tridimita, siendo esta una zona de alteración hidrotermal argílica y argílica avanzada. La presencia de óxidos aumenta de sur a norte, mientras que la de sílice disminuye. A los alrededores del río Pacaje, norte de Jaraña-Jarpaña, se identifican lavas andesíticas reemplazadas por sílice en algunos sectores de forma masiva, con presencia de oquedades algunos rellenos por óxidos, siendo caracterizada como una zona silicificada (Figura 1).

3.2. Sistema Estructural

La prolongación de falla Lagunillas NO-SE se bifurca en el área de Pinaya, los lineamientos son claros en las imágenes satelitales que marcan cambios abruptos entre la pampa y los cerros cerca de Atecata, además del sistema de lineamientos que se prologa por la Cordillera Sillapaca, provocando escarpas a su paso, tales como depósitos

coluviales en las paredes y afectando a las lavas del Grupo Sillapaca.

En el sector de Atecata, las rocas del Cretácico y del Grupo Tacaza se encuentran afectadas por fallas inversas NO-SE y buzamiento al oeste. A su vez, estas rocas son afectadas por fallas oblicuas, sinistral inverso, orientadas N145°/55°NE. Estas últimas fallas controlan las manifestaciones termales ubicadas en Atecata. Del mismo modo, a la roca intrusiva del cerro Ancahuachana. El eje de esfuerzos es NE-SO transpresivo. Los diques andesíticos encontrados presentan orientación N160°/78°E.

En Pinaya, caserío Alccamarine se ubica la falla inversa NO-SE que coloca en contacto directo a los conglomerados (Grupo Puno) y lavas (Grupo Tacaza). Las fallas de rumbo dextral N140°/45°S, oblicuas a la falla anteriormente mencionada, controlan a las manifestaciones termales en Aguas Calientes y Collpuyo. Paralela a estas fallas de rumbo se encuentra el río Choquerpillo ubicado al este de Pinaya en la Cordillera Sillapaca, por donde se prolonga el trazo de falla de Sillapaca, aquí se identificaron fallas de rumbo y en la prolongación de este trazo se ubicó de forma puntual roca de sílice amorfa.

El eje de esfuerzo principal entre Alccamarine y la Cordillera Sillapaca es NO-SE transtensivo. Los diques andesíticos y los sistemas de diaclasas presentan orientación N125° aproximadamente.

En Jaraña los planos de falla se identificaron en lavas silicificadas a los alrededores del río Pacaje, reconociendo dos sistemas N35°/50°SE y N100°/70°SE dextrales

inversas, las manifestaciones termales son controladas por el último sistema de falla identificado anteriormente. El eje de esfuerzo principal en esta zona es N-S (transpresivo), los sistemas de diaclasas predominantes tienen una orientación aproximada de N20° (Figura 1).

3.3. Descripción Petrográfica

La presencia de los afloramientos de roca de sílice masiva en las quebradas ubicadas a lo largo de los trazos de falla, son evidencia de la circulación de fluidos magmáticos, en este caso de sílice residual.

Al norte de Atecata, prolongación del sistema de fallas Lagunillas, se identifican rocas de sílice amorfa, de acuerdo a los resultados de rayos X presenta minerales de yeso, albita y minerales con elementos de cobre y molibdeno.

Del mismo modo, en el río Choquerpillo, quebrada ubicada en la prolongación del sistema de fallas Sillapaca, afloran rocas blancas con silicificación pervasiva. En el estudio al microscopio se identificó cristales relícticos de cuarzo primario I (czI) y moldes de cristales reemplazados por cuarzo II (czII), dispuestos en una matriz reemplazada por sílice y cuarzo III (czIII). Además, se aprecian venillas de cuarzo IV (czIV) que cortan a toda la muestra. También se encuentran en menor proporción minerales opacos diseminados y alterados a óxidos de hierro. Según el análisis de difracción de rayos X, se identificaron minerales comunes en los afloramientos como cuarzo, rutilo y calcita (Figura 2).

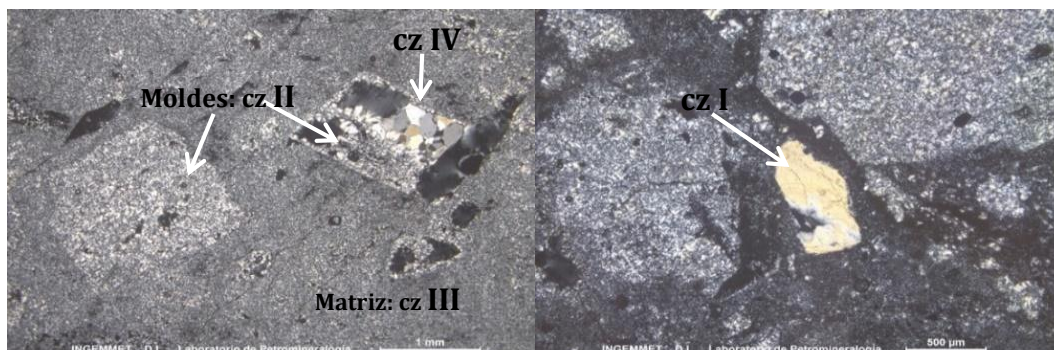


Figura 2.- Izquierda: Fotomicrografía mostrando moldes de cristales reemplazados por cuarzo II (cz II) y algunos por cuarzo IV (cz IV), dispuestos en una matriz reemplazada por cuarzo III (cz III). Derecha: relicto de cuarzo primario (cz I).

4. Discusión

A los alrededores de la falla Sillapaca los esfuerzos son transtensivos lugar donde se ubican las manifestaciones termales de mayor temperatura. Del mismo modo, en el trazo de la falla se ubican roca de sílice amorfa lo que evidencia la circulación de sílice hasta en 4 eventos, evidenciando la movilización de fluidos a lo largo de esta falla.

A los extremos de esta zona como Atecata y Jaraña-Jarpaña, los esfuerzos son transpresivos, en estos lugares los afloramientos termales son de menor temperatura, existen precipitaciones de sinter antiguas y reciente, estas últimas a una menor altura a la anterior. Probablemente debido al descenso del nivel de fluidos (Figura 3).

Respecto a las precipitaciones de sinter, en Jaraña presentan minerales con elementos de Ag, Cu, Pb, As, Pb, Sn y Fe, las cuales afloran en una zona con silicificación de tipo pervasiva y alteración hidrotermal argílica y argílica avanzada. Dejando en evidencia que la circulación de fluidos recoge estos elementos en su transporte a la superficie.

En Atecata, ubicado a 8km de la prolongación del sistema de fallas Lagunillas (Figura 3), se identifican rocas de sílice amorfa con contenido de Cu-Mo. Evidenciando que a través de la circulación de fluidos arrastró estos elementos.

Adoptando el modelo de Moeck (2013), este tipo de ambiente geotermal se ajusta a un dominio extensional cuyo alto gradiente termal facilita el calentamiento de la circulación de agua meteórica a través de fallas profundas o formaciones permeables.

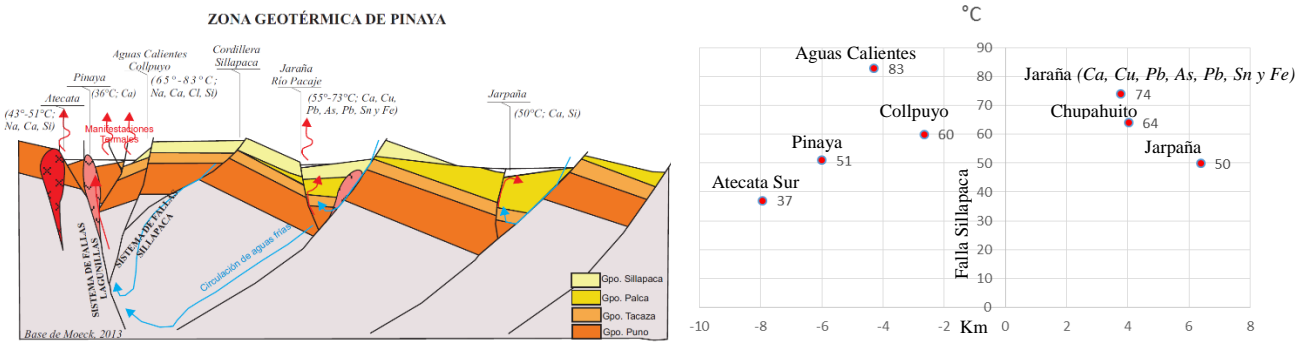


Figura 3. Izquierda: Modelo geológico conceptual en la zona geotérmica de Pinaya. Derecha: Diagrama de ubicación de las fuentes termales respecto a la falla Sillapaca versus temperaturas superficiales.

5. Conclusiones

Las aguas termales de Pinaya y Jarpaña ubicadas a 6 y 4km de la falla Sillapaca presentan mayor temperatura superficial, circulando en rocas del Grupo Puno y Tacaza, en una zona transtensiva.

Las zonas geotermales de Atecata (37°C) y Jarpaña (50°C) se encuentran ubicadas a 8 y 6km en los bordes distales a la Cordillera Sillapaca y dominados por esfuerzos transpresivos. En Atecata, los fluidos circulan por rocas de la Formación Hualhuani y Grupo Puno cortadas por rocas intrusivas. En Jarpaña, por medio de rocas del Grupo Palca y Sillapaca, cortados por unidades subvolcánicas.

Los fluidos transportan información de las rocas ubicadas en profundidad, en el caso de Jarpaña las precipitaciones de sínter contienen elementos de Ag, Cu, Pb, As, Pb, Sn y Fe, permite conocer que el agua en profundidad circuló por zonas dominadas por estos elementos. En el caso de las rocas con sílice pervasiva ubicadas en la falla Lagunillas, en Atecata presentan elementos de Cu y Mo, registrando zonas mineralizadas cercanas a la falla.

Las rocas de sílice tipo pervasiva encontradas en la prolongación de falla Sillapaca, permitió conocer que la circulación de sílice ocurrió hasta en 4 oportunidades, demostrando la dinámica ocurrida a través de esta falla.

Referencias

Aguilar, R. 2012. Magmatismo, tectónica y metalogenia de los centros volcánicos Miocénicos entre Condorama y Paratia (Cusco-Puno), sur del Perú. Tesis Ing. Geólogo, Universidad Nacional San Antonio de Abad, Cusco, p. 159.

Carlotto, V., Jaillard, E., Carlier, G., Cárdenas, J., Cerpa, Luis, Flores, T., Latorre, O., Ibarra, I. 2005. Las cuencas

terciarias sinorogénicas en el Altiplano y en la Cordillera Occidental del sur del Perú. Sociedad Geológica del Perú. Volumen Especial, n. 6.

Cerpa, L., Cereceda, I., Torres, D., Muñoz, L., Aguilar, R., Martínez, J., Siesquen, D., Chacón, A. 2012. Controles tectono-magmáticos en el sur del Perú (72°-70°30' y 14°-16°S): implicancias metalogenéticas. Congreso Peruano de Geología, 16, Lima. Resúmenes extendidos. Lima: Sociedad Geológica del Perú 2012, p. 5.

Huamani, A. 2001. Aguas Termales y Minerales en el Suroriente del Perú. INGEMMET, Boletín, Serie D: Estudios Regionales, 24.

IGA, Asociación Geotérmica Internacional (2013).- Geothermal Exploration Best Practices: A guide to resource data collection, analysis and presentation for geothermal projects. Service GmbH

JICA, Agencia de Cooperación Internacional del Japón. 2012. Plan maestro para el desarrollo de la energía geotérmica en el Perú. Informe Final para la República del Perú, MEM.

Klinck, B.A., Ellison, R.A., Hawkins, M.P. 1986. The geology of the Cordillera Occidental and Altiplano West of Lake Titicaca Southern Peru. British Geological Survey, INGEMMET.

Llopis, G., Rodrigo, V. 2008. Guía de la Energía Geotérmica. Dirección General de Industria, Energía y Minas. Consejería de Economía y Consumo. Comunidad de Madrid.

Moock, I. 2013. Classification of geothermal plays according to geological habitats. IGA Academy. Report 0101-2013.

OLADE, Organización Latinoamericana de Energía. 1994. Guía Estudios de Reconocimiento y Prefactibilidad Geotérmicos. Quito, Ecuador.