



Caracterización hidrogeológica de las principales fuentes termales en el departamento de Cajamarca

Sandra Sofía Rumay Villarreal

Universidad Nacional de Cajamarca

Km. 3.5 carretera Cajamarca - Baños del Inca

RESUMEN

Aguas Calientes (San Marcos), Chorro y Osoel (Cajabamba), Chancaybaños (Santa Cruz), Jerez y Llanguat (Celendín), Perolitos y Tragadero en Baños del Inca y Yumagual (Cajamarca), fueron inventariadas en el marco de estudios regionales; sin embargo, cuentan con escasas investigaciones específicas. El objetivo de esta investigación, es caracterizar las principales fuentes termales en el Departamento de Cajamarca, a través de la interpretación hidrogeoquímica, aplicación de geotermómetros, interpretación de la información geológica local y estructural. Para caracterizar hidrogeoquímica y geotermómetros se realizó una campaña de muestreo y procesamiento de los resultados de laboratorio en el software Aquachem y en la hoja de cálculo "Liquid Analysis V1 Powell 2010 Standford GW Geochemical Plotting Spreadsheet". Se generaron planos y perfiles geológicos que nos permitieron correlacionar la hidrogeoquímica y geotermómetros con la información geológica recopilada para cada fuente y plantear una propuesta conceptual de su origen. Finalmente, se proponen modelos conceptuales de circulación profunda de aguas meteóricas para las fuentes termales.

Palabras clave: Fuentes termales, hidrogeoquímica, geotermómetro, circulación profunda, geología local.

ABSTRACT

Aguas Calientes (San Marcos), Chorro and Osoel (Cajabamba), Chancaybaños (Santa Cruz), Jerez and Llanguat (Celendín), Perolitos and Tragadero in Baños del Inca and Yumagual (Cajamarca), were inventoried as part of regional studies, but without detailed information for each zone. The objective of this research is to characterize the main thermal sources in Cajamarca region through the hydrogeochemical interpretation applying geothermometers techniques and the interpretation of local and structural geological settings. A sample campaign was carry out with the objective to get representative samples of each thermal zone for chemical analysis, the results were processed using AQUACHEM software and Excel sheet called "Liquid Analysis V1 Powell 2010 Standford GW Geochemical Plotting Spreadsheet". Maps and geological cross sections were generated to allow us to correlate hydrogeochemistry and geothermometers with the existing geological information and propose an explanation about the origin of the hot springs and its heat sources. Finally, conceptual models showing deep-water circulation for each of the thermal zones in Cajamarca have been proposed.

Keywords: Thermal spring, hydrogeochemistry, geothermometer, deep circulation, local geology.

INTRODUCCIÓN

Las fuentes termales son históricamente conocidas en el mundo como fuentes de salud, sólo desde el Siglo XIX son utilizadas para otros fines, desde la industria hasta la generación de energía. En el Departamento de Cajamarca fue en el año 1983 que Electroperu y CESEN efectuaron los primeros estudios de reconocimiento y estudios de prefactibilidad para producción de electricidad en el área de Aguas Calientes – La Grama, provincia de Cajabamba, Cajamarca. Posteriormente, en los años 1999 - 2000, el INGEMMET realizó un inventario de las fuentes termales en el Norte del Perú, y finalmente se realizó un estudio de factibilidad balneológica en colaboración con la República Checa, MINCETUR, INGEMMET, y AQUATEST en el año 2007.

¿Cuál es el origen y características de las principales fuentes termales en el departamento de Cajamarca?

La hipótesis es que las fuentes termales del Departamento de Cajamarca tienen su origen en sistemas de circulación profunda de aguas meteóricas, las cuales por acción del alto grado de fallamiento y fracturamiento, descienden hasta grandes profundidades donde adquieren altas temperaturas a causa del gradiente geotérmico, y surgen poste-

riormente en las fuentes termales.

La interpretación de la hidrogeoquímica y geotermómetros, junto a la interpretación de entorno geológico local y estructural, permitirán proponer un modelo conceptual del origen para cada fuente termal.

UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Departamento de Cajamarca, al Norte del Perú, zona 17S - Datum WGS84, provincias de Santa Cruz, Celendín, San Marcos, Cajabamba y Cajamarca.

PROCEDIMIENTO

Mediante una campaña de muestreo de las aguas termales, se recolectan también parámetros hidrogeológicos de campo, se procesa los resultados con el software Aquachem, del cual obtenemos la clasificación de agua en dos formatos: Diagrama de Piper y Diagrama de Stiff.

Se aplica la hoja de cálculo “Liquid Analysis V1 Powell 2010 Standford GW Geochemical Plotting Spreadsheet” (Powell y Cumming, 2010), obteniéndose la clasificación de aguas termales según el Diagrama Ternario $Cl - SO_4 - HCO_3$ y los resultados para Geotermómetros de Sílice.

Tabla 1: Geotermómetros Químicos de Sílice obtenido a través de “Spreadsheets for Geothermal Water and Gas Geochemistry”, aplicado en las Principales Fuentes Termales del Departamento de Cajamarca.

Nº	Punto de Muestreo	Código	Calcedonia Conductiva	Cuarzo Conductivo	Cuarzo Adiabático
1	Aguas Calientes	AT-LG-2	47	79	82
2	Aguas Calientes	AT-LG-1	42	74	78
3	Baños del Inca - Perolitos	AT-BI-2	74	104	104
4	Baños del Inca - Tragadero	AT-BI-1	74	105	105
5	Chancaybaños	AT-CB-1	46	78	81
6	Chancaybaños	AT-CB-2	49	81	84
7	Chorro	AT-CH-1	66	97	98
8	Jerez	AT-BJ-1	70	101	101
9	Llanguat	AT-LL-2	54	85	88
10	Oscol	AT-OSC-1	67	98	99
11	Yumagual	AT-YU-1	68	99	99

Se genera un plano geológico con información de INGEMMET, en este plano se superponen los diagramas de Stiff obtenidos de Aquachem, con lo cual será posible correlacionar la geología regional y la hidrogeoquímica de las fuentes termales.

Se generan los perfiles geológicos manualmente,

respetando la potencia de los afloramientos en los planos geológicos de planta. Posteriormente se digitalizan los perfiles en el software ArcGIS.

INVENTARIO DE FUENTES TERMALES

En el departamento de Cajamarca se han inventar-

iado 18 fuentes termales en base a la información de Huamaní (2000), MINCETUR, AECI (2005) y Šíma (2007). El alcance de éste estudio no contempla caracterizar todas las fuentes, elegiremos las principales fuentes para su caracterización según criterios hidrogeológicos. Determinamos como las principales fuentes termales a Baños del Inca - Perolitos, Baños del Inca - Tragadero, Yumagual, Osool, Chorro y Aguas Calientes - La Grama, Llanguat, Chancaybaños y Jerez.

CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA

Durante la campaña de muestreo hidrogeoquímico se recolectaron los siguientes parámetros de campo: Coordenadas, Cota, Temperatura del agua termal, pH, Conductividad Eléctrica. El análisis de las muestras se realizó en el laboratorio SGS del Perú.

GEOLOGÍA REGIONAL

Después del análisis de la información geológica existente, se proponen como acuíferos – reservorios de las fuentes termales:

Grupo Pucará (TsJi-p): Hidrogeológicamente se considera acuífero potencial (Huamaní, 2000) cárstico.

Formación Chimú (Ki – chi): Hidrogeológicamente se definió como Acuífero Fisurado Sedimentario (Vargas, 2010, pág. 124)

Formación Farrat (Ki – f): Hidrogeológicamente se definió como Acuífero Fisurado Sedimentario (Vargas, 2010, pág. 123)

Formación Cajamarca (Ks – ca): Hidrogeológicamente se definió como Acuitardo Sedimentario (Vargas, 2010, pág. 130), pero en zonas estructuralmente complejas se puede definir como acuífero cárstico.

CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

La hipótesis es que las fuentes termales del Departamento de Cajamarca tienen su origen en sistemas de circulación profunda de aguas meteóricas, las cuales por acción del gradiente geotérmico y el alto grado de fallamiento y fracturamiento, descienden hasta grandes profundidades donde adquieren altas temperaturas, y surgen posteriormente en las fuentes termales. La hidrogeoquímica, geotermómetros y geología le dan soporte técnico a ésta hipótesis para las fuentes termales de Aguas Calientes – La Grama, Baños del Inca – Perolitos,

Baños del Inca – Tragadero, Chorro, Llanguat y Yumagual.

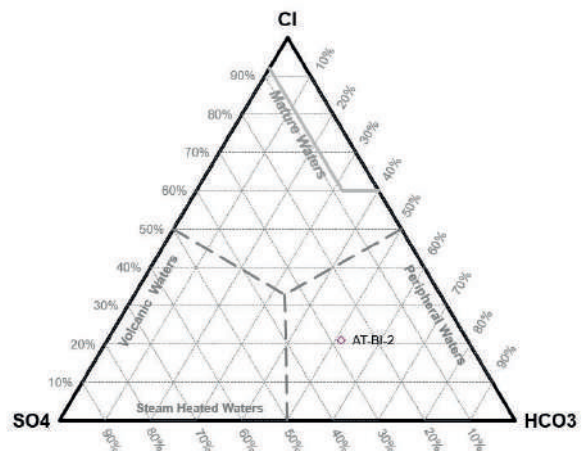


Figura 1: Clasificación como Aguas Termales Periféricas según el Diagrama Ternario para Baños del Inca – Perolitos, determinada por la aplicación de la Hoja de Cálculo “Liquid Analysis VI Powell 2010 Stanford GW Geochemical Plotting Spreadsheet” (Powell y Cumming, 2010)

CONCLUSIONES

Se obtuvo la clasificación de las fuentes termales de Aguas Calientes, Baños del Inca – Perolitos y Tragadero, Chorro, Llanguat y Yumagual como bicarbonatadas sódicas y aguas termales periféricas, lo cual indica que su ocurrencia no se debe a una fuente de calor puntual sino que corresponde a un sistema geotérmico de circulación profunda. La fuente termal Osool clasifica como bicarbonatada cálcica y agua termal periférica, igualmente su ocurrencia no se debe a una fuente de calor puntual sino que correspondería a un sistema geotérmico de circulación profunda. Las fuentes Chancaybaños y Jerez fueron clasificadas como cloruradas sódicas y aguas termales de transición entre periféricas y maduras, siendo casos que requieren mayor investigación para determinar su origen.

En geotermómetros podemos considerar el mejor aproximado el correspondiente a Cuarzo Conductivo, es el indicador que mejor se correlacionó con la temperatura de reservorio inferida de las secciones geológicas. Las temperaturas de reservorio obtenidas varían entre 74°C y 105°C para todas las fuentes.

En el mapa geológico del departamento de Cajamarca, se insertó el gráfico de Stiff correspondiente a cada fuente termal. Por características de

descarga e hidrogeoquímica se propone que las fuentes de Baños del Inca, compartirían reservorio termal. No se observa relación entre las demás fuentes.

Se generaron perfiles basados en el mapa geológico regional, donde se desarrolló el concepto de circulación profunda. Las aguas de precipitación alcanzarían profundidades de 1500 - 3000 m, y por gradiente geotérmico aumentarían su temperatura, generando condiciones favorecedoras de su ascenso hacia la superficie a través de fracturas y fallas. Los reservorios termales estarían representados por el Grupo Pucará, Formación Chimú, Farrat y Cajamarca.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Castañeda, L. (2014). Análisis Estructural del Basamento Cretáceo de la Cordillera Nor Occidental Alrededor del Valle Cajamarquino – Cajamarca-Perú. Cajamarca, 202.
- Custodio, E. y Llamas M. (2001). Hidrología Subterránea. Segunda Edición, Barcelona, TOMO I y II.
- Delgado, J. (1967). Investigación Científica de la Geología y Trabajo Monográfico de la Ecología y Suelos en el Departamento de Cajamarca. Ed. Universidad Nacional Técnica de Cajamarca. Cajamarca, 64.
- Fundación Centro Internacional de Hidrología Subterránea (FCIHS) (2009). Hidrogeología. Ed. Comisión Docente Curso Internacional de Hidrología Subterránea, Barcelona, 768.
- Huamani, A. (2000). BOLETÍN N°22, Serie D. Estudios Regionales. Aguas Termales y Minerales en el norte del Perú. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico del Perú” Lima, 75.
- Fournier, R. (1981). Application of Water Geochemistry to Geothermal Exploration and Reservoir Engineering. Chapter 4 in Geothermal Systems: Principles and Case Histories. Eds. Wiley, New York, 109-143.
- Giggenbach, W. (1991). Chemical Techniques in Geothermal Exploration. In Application of Geochemistry in Geothermal Reservoir Development (F. D’Amore, Co-ordinator)” UNITAR, 119-144.
- INGEMMET, MINCETUR, AECI (Agencia Española de Cooperación Internacional). (2005). Los Baños del Inca de Cajamarca: Aguas Termales para el Nuevo Milenio. Lima, 121.
- Instituto Para la Diversificación y Ahorro de la Energía - IDAE, INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA – IGME. (2008). Manual de Geotermia. Madrid, 187.
- Karingithi, C. (2010). Chemical Geothermometers for Geothermal Exploration. Short Course V on Exploration for Geothermal Resources, Kenya, 12.
- Lagos, A., Sánchez, J., Quispe, Z. y Palacios, O. (2006). Aportes al Análisis de Cuencas Sedimentarias en los Alrededores de las Localidades de los Baños del Inca, Cruz Blanca, Otuzco, Distrito de Cajamarca. Cajamarca, 4.
- Lagos, A., Quispe, Z. (2007). Aplicaciones de Análisis de Cuencas Sedimentarias y Modelamiento Estructural del Área de Cajamarca y Alrededores. Cajamarca, 53.
- Marini, L. (2000). Geochemical Techniques for the Exploration and Exploitation of Geothermal Energy. Italia, 82.
- MINISTERIO DEL AMBIENTE, (2017). Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM - Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua. Lima, 19.
- Nicholson, K. (1993). Geothermal Fluids. Chemistry and Exploration Techniques Berlin, Heidelberg, 263.
- Ortiz, R. (2007). Hidrogeología Física – Conceptos Básicos y Definiciones. PPT.
- Powell, T. y Cumming, W. (2010). Spreadsheets for Geothermal Water and Gas Geochemistry. Thirty-Fifth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, Stanford, California.
- Reyes, L. (1980). BOLETIN N° 31, Serie A. Carta Geológica Nacional, Geología de los Cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba. INGEMMET, Lima, 67.
- Sánchez, F. (2011). Hidroquímica Básica. Universidad de Salamanca, España, 4.
- Šíma, J. et al. (2007). Estudio de Factibilidad de

las Construcciones Balneológicas en las Localidades Cajamarca y Churín. AQUATEST, Lima. 242.

Wilson, J. (1984). BOLETÍN N°38, Serie A. Carta Geológica Nacional, Geología de los Cuadrángulos de Jayanca, Incahuasi, Cutervo, Chiclayo, Chongoyape, Chota, Celendín, Pacasmayo y Chepén. Ed. INGEMMET. Lima, 104.

The Geological Society of America. (2012). GSA Geologic Time Scale V. 4.0. Australia, 1.

Vargas, V. (2010). Caracterización Hidrogeológica de las Cuencas de los Ríos Jequetepeque-Chamán. Cajamarca, 170.

Yock, A. (2009). Geotermometry. Instituto Costarricense de Electricidad, Centro de Servicios y Recursos Geotérmicos. Costa Rica, 8.