# HIDROGEOLOGÍA DE LAS FUENTES TERMALES DE CAJAMARCA Y CHURÍN PARA EL DESARROLLO DE LAS AGUAS TERMALES Y MINERALES

Fluquer Peña[1], Jiri Sima[2] & Lenka Baratoux[3]

(1) INGEMMET, Av. Canadá 1470 San Borja, Lima, fpena@ingemmet.gob.pe,
(2) AQUATEST a.s., Republica Checa, jsima@aquatest.cz (3) Servicio Geologico Checo, Lenka.baratoux@gmail.com

## INTRODUCCION

El artículo *Hidrogeología de las fuentes termales de Cajamarca y Churín*, es parte del proyecto binacional Peruano - Checo, llamado "Desarrollo de las aguas termales y minerales en el Perú", relativo a la cooperación en materia de termalismo y balneología. El proyecto se realizó durante los años 2005, 2006 y 2007 por geólogos de de la Republica Checa (Empresa AQUATEST a.s., el Servicio Geologico Checo) y el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico del Perú - INGEMMET.
El objetivo principal fue la creación de condiciones para desarrollar las aguas termales y minerales, la balneología e hidroterapia en el Perú.
El proyecto se desarrolló en tres fases: La primera fase consistió en la recopilación y evaluación de información existente, la cartografía y selección de localidades; además de trabajos de campo en cuatro localidades preseleccionadas: Candarave, Chivay, Churín y Cajamarca. Para la selección de las localidades más apropiadas se utilizó el sistema FODA, por el cual se evaluaron las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas de cada localidad. Con los resultados del FODA, la selección fue reducida a dos localidades - Cajamarca y Churín y se trabajo en coordinación con el Ministerio de Comercio Exterior y Turismo – MINCETUR.
En la segunda fase se realizaron trabajos detallados en Cajamarca y Churín, incluyendo mapeos geológicos, hidrogeológico, hidroquímicos y la creación del modelo del flujo de aguas subterráneas.
Para la tercera fase, se estudió el aprovechamiento actual y futuro de las dos localidades desde el punto de vista balneológico, arquitectónico y económico. Sin embargo en este artículo solo se tratará el análisis geologico e hidrogeológico de cada localidad.
Todos los resultados fueron utilizados para formular una propuesta de un nuevo establecimiento balneológico en Baños del Inca y para una reconstrucción del complejo existente en La Meseta - Churín.

## GEOLOGÍA DE CAJAMARCA

La geología de Cajamarca está formada por los sedimentos Triásicos y Jurásicos. Las litologías mayores están representadas por secuencias plegadas del Cretácico inferior y superior. El Terciario superior e inferior esta compuesto por rocas sedimentarias y rocas volcánicas. Se encuentran también rocas intrusivas y subvolcánicas (dioritas, granodioritas, tonalitas, andesitas y dacitas) de edad Terciario Inferior. Los sedimentos cuaternarios de la cuenca de Cajamarca alcanzan entre 30 a 60 m profundidad.
La estructura dominante del área de estudio está representada por pliegues de edad post-Cretácica que se desarrollaron durante la fase orogénica Inca; que afectó prácticamente todos los sedimentos Cretácicos en Perú. Los pliegues y fallas se desarrollaron durante la fase compresiva, sin embargo, en algunos casos interpretamos fallas profundas pre-existentes.

**LA FALLA DE CABALGAMIENTO.** Dirigida hacia el norte; conformada por areniscas de grano fino, lutitas y limolitas fácilmente deformadas del Cretaceo Inferior y pertenecientes a la Formación Carhuaz. Esta formación sobreyace a areniscas cuarzosas de la Formación Farrat del Cretaceo Inferior (L. Reyes; 1980). En profundidad, La falla de cabalgamiento pone en contacto las areniscas cuarzosas de la Formación Chimú con las areniscas de la Formación Farrat; por lo tanto; se amplia el área de infiltración de aguas de lluvia a los acuíferos. El área de infiltración incluye también el flanco sur del anticlinal Baños del Inca (ver Fig. Nº 2).

**ESTRUCTURA DEL ANTICLINAL BAÑOS DEL INCA.** Los flancos del anticlinal están formados por capas de areniscas cuarzosas de la Formación Farrat, en el eje se encuentran las lutitas, limolitas y areniscas de la Formación Carhuaz; más antiguas y menos resistentes a la erosión. El buzamiento del flanco norte de anticlinal Baños del Inca tiene ángulos moderados (entre 30-40°). El flanco sur tiene mayor pendiente (hasta 70°) demostrando el carácter asimétrico de este anticlinal. (L. Reyes; 1980).

**SINCLINAL OTUZCO**. El anticlinal Baños del Inca se va convirtiendo hacia el norte en el sinclinal Otuzco. Se puede observar toda la secuencia de formaciones Inca, Chúlec, Pariatambo, Yumagual, Quilquiñan-Majarrun, Cajamarca y Celendín en el eje de sinclinal. La mayoría de los sedimentos son calizas con intercalaciones de margas y lutitas. Una falla paralela al eje se observa por el centro de sinclinal. Analógicamente al anticlinal de Baños del Inca, la estructura continúa hacia el norte mostrando areniscas resistentes de la Formación Farrat. El centro del anticlinal está erosionado y relleno por los depósitos fluviales con sedimentos de la Formación Carhuaz. Al norte los sedimentos cretácicos se encuentran cubiertos por secuencias de rocas volcánicas (flujos piroclásticos, lahares, tobas) de grupos Huambo y San Pablo (L. Reyes; 1980).

## HIDROGEOLOGIA DE CAJAMARCA

De acuerdo al análisis litológico y estructural se de la cuenca Cajamarca se ha identificado tres acuíferos potenciales (ver fig. Nº 2).
Las areniscas cuarzosas de la Formación Chimú (Ki – chim) forman el acuífero basal en rocas fracturadas, tienen un espesor de 600 m y yace sobre un acuitardo formado por lutitas laminadas negras con intercalaciones de areniscas finas y grises, perteneciente al Jurásico (Formación Chicama, Js- chic). La parte superior de este acuífero esta conformada por margas y limolitas de poca permeabilidad de la Formación Santa (100-150 m) y por areniscas y lutitas de la Formación Carhuaz (500 m), haciendo un espesor de 600 – 650 m; y confinando al acuífero.
El acuífero Medio esta formado por areniscas cuarzosas de la Formación Farrat y tiene un espesor de 500 m. Una secuencia gruesa (1,650 – 1,750 m) de lutitas y margas de escasa permeabilidad con intercalaciones de areniscas y calizas; separa el acuífero medio del acuífero superior.
El acuífero superior tiene carácter fracturado-kárstico, formado por las calizas de la Formación Cajamarca. Aflora al NE de la cuenca de Cajamarca y no ha sido objeto del presente estudio. Encima del acuífero superior del Cretáceo se encuentran los sedimentos del Cretáceo superior, así como los sedimentos volcánicos de Cenozoico.
Además de los acuíferos fracturados existe en la cuenca de Cajamarca; existen también acuíferos porosos no consolidados en los sedimentos fluviales y aluviales de cuaternario, donde ocurre la mezcla de aguas provenientes de profundidad con aguas subterráneas frías de poca profundidad.

## MODELO HIDROGEOLOGICO CONCEPTUAL – CAJAMARCA

Las surgencias de aguas subterráneas termales y minerales en zona de los Baños del Inca se producen mediante dos grupos de manantiales; Perolitos y Tragadero. Según la interpretación geológica e hidrogeológica, la surgencia de estas fuentes se atribuye a la falla de rumbo N-S, que atraviesa toda la cuenca (ver fig. Nº 1), y que intercepta el eje del anticlinal Baños del Inca (Shaullo Chico /Grande). Las areniscas cuarzosas de la Formación Chimú (K-Chim) consideradas como el acuífero principal son las que forman las aguas termales de ambos grupos de fuentes. El perfil hidrogeológico (ver fig. Nº 2), muestra que las areniscas cuarzosas de la Formación Chimú afloran en el borde sur de la cuenca de Cajamarca a una altitud de 3,000 – 3,500 msnm (anticlinal del Yumagual). En esta área los afloramientos de la Formación Chimú tienen una extensión aproximada de 30 $km^2$, constituyendo la zona de alimentación o recarga del acuífero confinado. La formación de los materiales que conforman el acuífero fisurado Chimú se dio con un alto contenido de cuarzo y un mínimo contenido de otros minerales, por lo que las fracturas de estas rocas no tienen rellenos de material meteorizado, haciendo que la Formación Chimú sea muy permeable (K = De 12 a 83 m/día, Test de campo; F. Peña, 2006).

La precipitación pluvial anual se encuentra entre 630 mm/año (estación Weberbeuer) y 637 mm/año (estación Namora); constituyendo la fuente de alimentación del acuífero. Una vez infiltrada las aguas de percolación desciende por las fracturas hasta el límite inferior del acuífero. El agua subterránea continúa su movimiento en dirección de la inclinación de los estratos hacia el norte. Materiales impermeables yacen continuamente sobre el acuífero Chimú; limonitas y areniscas desintegradas de las Formaciones Santa (Ki-sa) y Carhuaz (Ki-ca) que forman el techo del acuífero. Encima de ellas yacen las areniscas de la Formación Farrat (Ki-f) que forman parte principal del fondo de la cuenca Cajamarca, ya que tienen posición subhorizontal. Las areniscas de la Formación Farrat (500 metros de espesor) forman un acuífero independiente en la parte superior, sin embargo la intersección de la Falla N-S con el eje del anticlinal de baños del Inca pone en contacto a los acuíferos Chimú y Farrat (ver fig. Nº 1 y 2). Facilitando la circulación de aguas subterráneas por estas estructuras.

En el área de los Baños del Inca, las secuencias litológicas de las Formaciones Santa, Farrat y Carhuaz forman un anticlinal. En los flancos de esta estructura afloran las areniscas cuarzosas de la Formación Farrat, mientras que en el eje, se encuentran rocas profundamente erosionadas de las formaciones Santa (margas y limonitas) y Carhuaz (lutitas y areniscas rojas). En el eje del anticlinal; y en profundidad; los estratos impermeables de la Formación Santa y Carhuaz fueron sometidos a fracturación intensa donde se produjo una flexión que abrió los caminos para la surgencia del agua subterránea procedente del acuífero confinado Chimú.

En el valle superficial y por detrás del anticlinal, los estratos más viejos se hunden debajo de las secuencias espesas de los sedimentos más jóvenes y de las rocas de origen volcánico. Así se anula la posibilidad del drenaje (comunicación con la superficie) del acuífero basal Chimú. Esta estructura del terreno se observa en el perfil hidrogeológico (Fig. Nº 2).

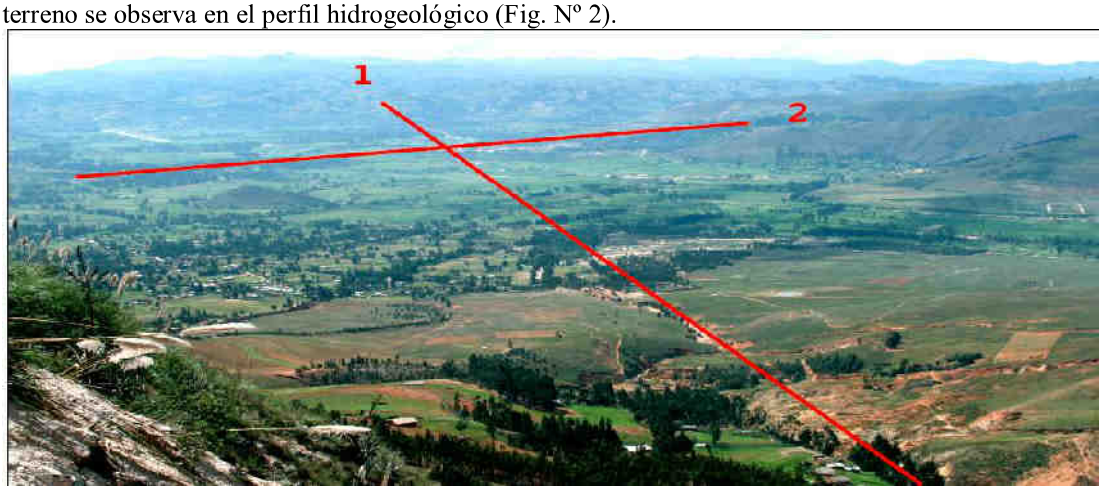



Fig. Nº 1. Intersección de estructuras que generan la surgencia de las fuentes termales: 1: Falla N-S y 2: Anticlinal de Baños del Inca.

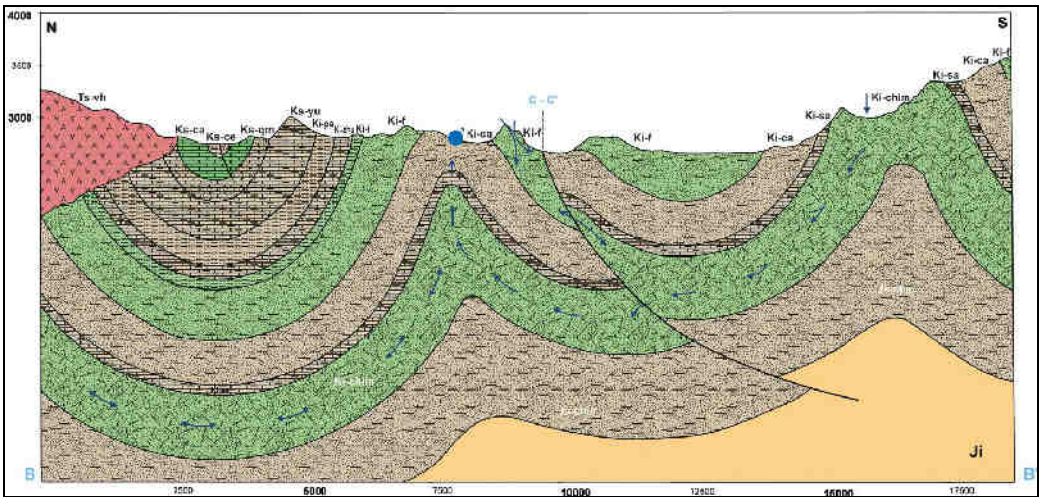
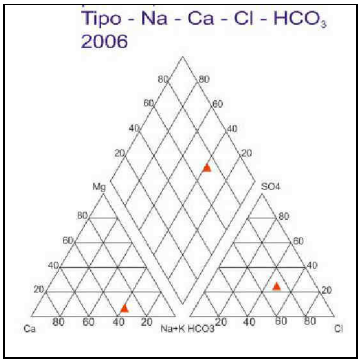


Fig. Nº 2. Modelo hidrogeológico conceptual de las fuentes termales ubicadas en Baños del Inca.

Las surgencias de aguas termales de los grupos Tragadero y Perolitos se originaron gracias a la intersección de los dos elementos estructurales importantes: el anticlinal Baños del Inca y la falla del rumbo N – S; (ver fig. Nº 01) la falla afecta a las rocas de la formación Chimú en el borde sur de la cuenca. La falla es profunda y activa, desde antes del plegamiento hasta hoy. La actividad reciente se manifiesta por el flujo térmico elevado, por el conducto del gas de profundidad, y también por el aporte de las soluciones clóricas, que hacen una metamorfosis de la composición química de las aguas normales y poco mineralizadas del acuífero en las areniscas cuarzosas de la Formación Chimú. Los procesos físico-químicos en la falla N-S, y la circulación del agua relativamente profunda en el acuífero cautivo, hacen posible el origen del sifón termal. Aguas de alta temperatura bajo la presión alta penetran el techo de acuífero y después del paso por los aluviones surgen a la superficie formando los dos grupos de fuentes termales Perolitos y Tragadero. Los depósitos aluviales tienen espesor aproximado de 30 a 60 m y su propia agua subterránea, con la que se mezcla el agua termal.

**HIDROQUIMICA DE LAS FUENTES TERMALES DE CAJAMARCA**



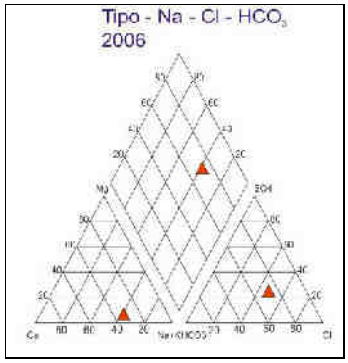


Fig. Nº 3 y 4 Diagrama de Piper de las fuentes Perolitos y Tragadero

La temperatura de las fuentes termales de Perolitos es de 66°C, la conductividad eléctrica es de 700 uS/cm. El grupo de fuentes Tragadero tiene temperatura de 70.7 °C, la conductividad eléctrica es de 681 uS/cm y el pH es de 7.50 De acuerdo a los análisis la composición química de estas fuentes tiene predominio del Sodio y Cloro seguida del Calcio y Bicarbonato.

Según la composición isotópica del oxígeno en las moléculas de agua, las fuentes termales son alimentadas por aguas de lluvia que infiltra en el acuífero. El agua de precipitaciones se enriquece por el óxido carbónico de una parte biógeno y por otra parte magmático. Según el tipo de la roca se forma una solución de concentración variada, que tiene un carácter químico mezclado con el contenido más bajo del magnesio. Esta agua subterránea disuelve también las sales, sobre todo yeso y sal de las rocas,

eventualmente se mezcla con las aguas saladas posiblemente fósiles o de origen marino. Así la mineralización total se incrementa.

## GEOLOGÍA DE CHURÍN

Las rocas más antiguas son del Jurásico, evidenciadas por los sedimentos del miembro Churín de la Formación Chicama (Romero y La Torre; 2003). Las rocas Jurásicas cabalgan por la falla Churín-Acaín-Jucul sobre las secuencias plegadas del cretáceo (grupo Goyllarisquisga y las formaciones Chúlec, Pariatambo y Jumasha) que forman parte importante del área de estudio. Al suroeste predominan rocas volcánicas Casma del cretácico y Calipuy del terciario. Se observan también intrusiones de granitos, dioritas y tonalitas del terciario. Además son típicas las acumulaciones de sedimentos aluviales y deslizamientos, que generan morfologías escarpadas.
La parte estructural esta representada por varias fallas de cabalgamiento de rumbo NO-SE con desplazamiento vertical y profundo, además presenta vergencias al noreste y suroeste. Estos cabalgamientos están localizados en rocas de edad Jurásica, rocas volcánicas cretácicas y en sedimentos cuaternarios. Se observaron también fallas de cizalla de rumbo NE-SO con movimiento destral afectando la estructura dominante (pliegues) que en sectores terminan en cabalgamientos.

## HIDROGEOLOGÍA DE CHURÍN

El primer acuífero del área de Churín está formado por areniscas cuarzosas del miembro Cabracancha (Jm-ca) de la Formación Chicama del Jurasico. Este acuífero tiene un espesor de 400 m y se considera que es el ambiente donde se forman las fuentes termales de Fierro y Tingo. En la parte superior se hallan limoarcillitas que alternan con calizas, areniscas con frecuente yeso del miembro Churín (Jms-ch), y las areniscas y lutitas con intercalaciones del carbón de la Formación Oyón (Ji-oy). Se trata de la secuencia no interrumpida de los estratos, con espesor de 1,000 m y constituyen una separación algo impermeable del primer y segundo acuífero (ver Fig. Nº 6)
Las areniscas cuarzosas de la Formación Chimú (Ki-chi) (500 m) y las areniscas con calizas arenosas de la Formación Santa (Ki-sa) (70 m) constituyen el segundo acuífero en rocas fracturadas con un espesor total de 570 m (ambiente de la formación de fuentes Churín, Huancachín y Patón).

## MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL – CHURÍN

Las fuentes termales más importantes se localizan en el mismo poblado de Churín y alrededores. Son fuentes que afloran en varios lugares, dispersas en el sentido horizontal y vertical. Surgen sobre domo de travertino, que tiene una longitud aproximada de 300 m y una altura de 100 m (ver Fig. Nº 5).

Fig. Nº 5: Ubicación de las fuentes termales en Churín.

fig. Nº 6: Modelo hidrogeológico de las fuentes termales en Churín.

Según el modelo hidrogeológico de la Fig. Nº 6 en la sección B – B', El acuífero Chimú afloran al noreste de Churín, donde se produce la alimentación de aguas subterráneas (anticlinal Huacho sin Pescado). La superficie de infiltración es de aproximadamente 30 $km^2$. El agua infiltrada baja por las fracturas hasta la base del acuífero a una profundidad estimada de 1,370 – 1,970 m por debajo de la superficie, donde adquiere su alta temperatura Luego circula en dirección de la inclinación hacia la surgencia a la altura del río Huaura. El acuífero está cubierto con lutitas y areniscas de las formaciones Carhuaz (Ki-ca) y el miembro Churín (Jms-ch), que funcionan como un techo confinante. La salida del agua se debe a una o más fallas de dirección paralela con el valle de Churín que cortan las formaciones impermeables Carhuaz y el miembro Churín. La falla tiene una estructura profunda y su actividad se manifiesta por un flujo termal elevado, en la falla las soluciones de clorita modifican la composición química del agua mineralizada sobre todo en las cuarcitas del acuífero Chimú.
Los procesos físico-químicos en la falla y la circulación profunda en el acuífero cautivo, condicionan el origen de un sifón termal donde el agua subterránea es sometida a una presión elevada. El grupo de fuentes de Churín (La Meseta 20 l/s) surge a la superficie, condicionada por el domo de travertino.

**HIDROQUIMICA DE LAS FUENTES TERMALES DE CHURÍN**

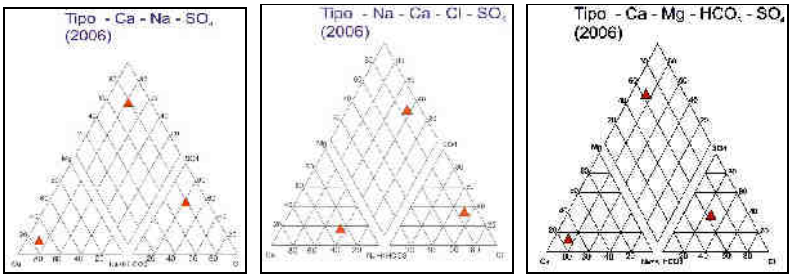



Fig. Nº 7, 8 y 9. Diagrama de Piper de las fuentes La Meseta, Fierro y Huancahuasi, respectivamente

La temperatura en las fuentes termales de la Meseta es de 32°C, la conductividad eléctrica, es de 1815 uS/cm, evidenciando el alto contenido en sales y carbonatos. La fuente de baños de Fierro, proviene de un recorrido mas profundo por lo cual su temperatura es de 48 °C y su conductividad eléctrica de 2480 uS/cm, por su parte la Fuente de Huancahuasi tiene alta temperatura 60°C y 1815 uS/cm.

## CONCLUSIONES

- Las fuentes termales y minerales en Baños del Inca - Cajamarca incluyen dos grupos de fuentes, Tragadero y Perolitos, el ambiente donde se forman son areniscas cuarzosas del acuífero Chimú.
- Los elementos geológicos estructurales (la falla paralela al valle y la pila de travertino) condicionan las surgencia de las fuentes termales y minerales en el valle de Churín.
- Las aguas termales de la localidad Baños del Inca en Cajamarca y las aguas termales de Churín son aptas para el uso en hidroterapias, balneologia, para el tratamiento de enfermedades tales como artritis reumática, enfermedades neurológicas, las del sistema locomotor, enfermedades de la piel, incluso cardiovasculares, etc. etc.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Strukmeier, W., Margat, J. 1995. Hydrogeological Maps A Guide and a standard legend". Inter. Contributions to Hydrogeology, International Association of Hydrogeologists. Heise, vol 17.

Reyes, L. 1980. Boletín Nº 31 Serie A de Carta Geológica Nacional, Geología de Los Cuadrángulos de Cajamarca (15-f), San Marcos (15-g) y Cajabamba (16-f), INGEMMET.

Romero, D. La Torre, O. 2003. Actualización de la Carta Geológica Nacional a escala 1:50,000 (cuadrángulo de Oyón, hoja 22-j-III), INGEMMET.