

## INTERPRETACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LAS SURGENCIAS DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL VALLE DE LOS VOLCANES ANDAHUA – AREQUIPA

Fluquer Peña<sup>1</sup>, Bilberto Zavala<sup>1</sup>, Josemanuel Carpio<sup>1</sup> y Percy Sulca<sup>1</sup>

INGEMMET, Av. Canada 1470 San Borja. Email: fpena@ingemmet.gob.pe, bzavala@ingemmet.gob.pe

### INTRODUCCION

Muchos lugares del territorio peruano presentan características geomorfológicas y litológicas singulares que genera especial interés geológico. Uno de estos espacios es el valle de los volcanes, ubicado dentro de la Cordillera Occidental de los Andes, en el cual se aprecias un importante patrimonio arqueológico, centros poblados rurales y vegetación especial como cactus levantados sobre lavas volcánicas. El valle de Andahua, se ubica en la región Arequipa, en la parte alta de la provincia de Castilla entre Orcopampa, Andahua y Ayo. Geográficamente se ubica entre las coordenadas 15° 06' y 15°45' de latitud sur con 72°10' y 76°34' de longitud oeste. Comprende altitudes entre 1350 msnm (río Colca) y 5450 msnm (nevado Chila)<sup>1</sup>.

Los recursos hídricos del valle de Andahua, ha jugado un papel importante en la formación y modelado de su paisaje: la agreste topografía, los perfiles de colinas y los depósitos volcánicos que actualmente se observan; simplemente, no podrían existir sin la presencia del agua. Además de ser la fuente de sostenimiento de un gran ecosistema asociado a su nutrida vegetación en la laguna Mamacocha, que constituye una especie de oasis en un desierto de rocas volcánicas, que se encuentran íntimamente ligados a la presencia de las aguas subterráneas.

El valle de Andahua, configura un impresionante paisaje, formado por 24 conos volcánicos monogenéticos y de diferentes tamaños, creando una imagen singular del valle. Estas características del valle de los volcanes de Andahua permiten considerarlo como un espacio natural que debe ser protegido como patrimonio geológico nacional.

El presente artículo tiene como objetivo principal describir las características hidrogeológicas del valle e interpretar el comportamiento hidráulico de los recursos hídricos subterráneos.

### EVOLUCION GEOLÓGICA E HIDROGEOLOGIA DEL VALLE

Según la carta geológica de Huambo y Orcopampa (Caldas, 1973), las rocas más antiguas corresponden a sedimentos marinos formados hace unos 150 M.A, Grupo Yura, capas rojas continentales de la Formación Murco, calizas marinas de la Formación Arcurquina (100 a 145 M.A.) que evidencian episodios de transgresión y regresión marina. Procesos de tectogénesis a fines del Cretáceo (hace 65 a 70 M.A.) desarrollaron fajas de deformación en las rocas, mostrando plegamientos y fallas geológicas. Estas características tectónicas y la predominancia litológica de areniscas y calizas nos permiten interpretar que estas rocas son permeables y que favorecen al almacenamiento de aguas subterráneas, sin descartar las lutitas y algunos niveles de calizas como materiales impermeables.

Después de una fase de erosión y desarrollo de relieve, Caldas diferencia fases de intensa actividad magmática, una durante el Mioceno (Hace 5 a 23 M.A.) que originó un intenso magmatismo efusivo (Formación Orcopampa), asociado a intrusivos hipabisales y vinculados a soluciones mineralizantes. Una fase de vulcanismo tipo fisural y naturaleza piroclástica en el Plioceno medio-superior, denominándolo Formación Sencca (2,6 a 5,3 M.A.) y en el plio-pleistoceno una nueva fase principalmente andesítica (entre los últimos 10 000 años y 2, 6 M.A.), han originando estrato-volcanes ubicados en las alineaciones de fallas principales (Grupo Barroso). Las lavas andesíticas son materiales permeables y constituyen buenos acuíferos, las tobas son impermeables o acuitados, sin embargo, se tiene claro que existe una gran variabilidad hidrogeológica en los depósitos volcánicos.

Un levantamiento regional alcanzó altitudes considerables, suficientes para la formación de casquetes glaciares, morrenas, lagunas, valles glaciares, acumulación de depósitos aluviales, al inicio del retroceso

<sup>1</sup> Los límites del geoparque fueron tomados de la guía geoturística denominada "Andahua – Valle de los volcanes" elaborada por el Ingemmet (B. Zavala, en prensa) donde al este y oeste coinciden con la divisoria de aguas, al norte está marcado por la culminación de áreas con vulcanismo lávico reciente.

glacial y un relieve casi similar al actual. Para el Cuaternario reciente Caldas describe un magmatismo caracterizado por la formación de conos piroclásticos, diferentes generaciones de coladas de lava y domo-lava denominado Grupo Andahua. Estos depósitos tiene condiciones de ser permeables por los flujos de lava en bloques, que su mayor manifestación se observa cerca el cauce de los ríos Andahua, Orcopampa y afluentes, los más notorios cubren el cauce del río desde Chachas hasta Ayo.

## RECURSOS HÍDRICOS DEL SUBSUELO

Las rocas volcánicas y sedimentarias del valle de Andahua poseen características propias que interactúan con el movimiento de las aguas en el subsuelo. La presencia de rocas volcánicas de origen magmático (andesitas, basaltos, etc.) y rocas sedimentarias (areniscas y conglomerados); tienen fracturas y diaclasas con espacios vacíos que facilitan la percolación y almacenamiento de agua subterránea. Considerando la recarga de aguas subterráneas, el valle de los volcanes tiene una característica singular, la mayoría de las rocas son permeables, la alimentación y recarga de la precipitación media es moderada, entre 3.6 mm/año (Estación Ayo) y 500 mm/año (Estación Orcopampa), de los cuales la concentración del 60-80% de la precipitación anual se produce en los meses de diciembre a marzo<sup>2</sup>. En la parte alta de la cuenca, en los alrededores de Orcopampa, los niveles piezométricos que tienen intersección con la superficie originan la surgencia de 26 manantiales (ver mapa hidrogeológico), de los cuales 23 son de aguas frías, dos fuentes de resurgencia y una fuente termal. El caudal de producción que tienen estos manantiales es variado, está condicionado por el tamaño y geometría de las rocas donde se almacenan.



Foto 1. Manantial Misapujio, 110 l/s de caudal.



Foto 2. Vista panorámica de la fuente termal Huancarama

<sup>2</sup> Datos tomados del estudio inédito "Diagnostico de gestión de la oferta de agua en la cuenca Camaná Majes Colca", AUTODEMA 2001.

**Misapujio** es un manantial con tres puntos de surgencia, el caudal estimado con el método de Maning es de 110 l/s, son aguas bicarbonatadas magnésicas, que evidencian un corto recorrido y se interpreta que pueden estar interconectadas con el río Misapujio mediante un canal abandonado. Se tienen además manantiales importantes como el Condesuyo (15 l/s), Condorcaca (5.8 l/s) y otros (ver mapa Hidrogeológico) que proceden de acuíferos fisurados y volcánicos que aportan al río Andahua y los entornos paisajísticos del valle.

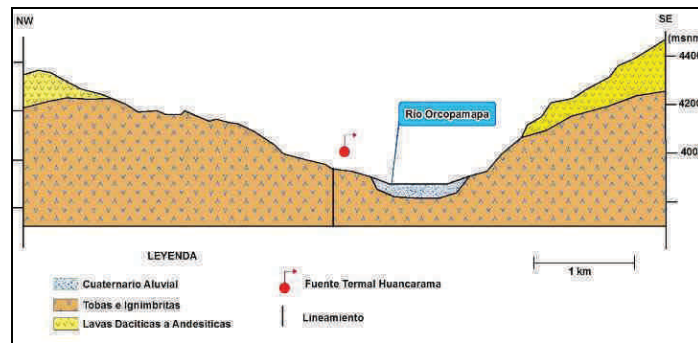


Figura 1. Modelo hidrogeológico conceptual de la fuente termal Huancarama

Muy cerca de Orcopampa se encuentra la **fuentes Termal Huancarama**, en cuyo modelo hidrogeológico (figura 1) se interpreta unas rocas andesíticas y dacíticas muy fracturadas contribuyen a la infiltración de aguas de lluvia en el acuífero. A mayor profundidad se tienen tobas e ignimbritas algo impermeables que son los confinantes laterales. Las aguas que infiltran al subsuelo a más de 1000 metros de profundidad, adquieren alta temperatura (54,30 °C) del grado geotérmico de la tierra y surgen a superficie por medio de un lineamiento de dirección noreste suroeste. La composición química de sus aguas es sódica clorurada, los valores de sodio es 69.7 mg/l y cloro 69 mg/l, típicos de aguas de lluvia que interactúan con rocas volcánicas.



Foto 3. Resurgencia de Shanquilay y canal rustico de aguas para riego.

**Resurgencia de Sanquilay**, consiste en un túnel o galería horizontal realizada por los agricultores de Andahua, con el objeto de interceptar las aguas del río Andahua, cuyo trasvase tiene una longitud mayor a los 150 m. El caudal de producción es de aproximadamente 8.5 m<sup>3</sup>/s, la que sobrepasa la capacidad del canal rebosando en impresionantes cataratas (Foto 3). Por su amplio recorrido superficial y contacto con zonas agrícolas, las aguas son sulfatadas cálcicas.

**Resurgencia Mamacocha**, en un gran paisaje volcánico y desértico, destaca una de las zonas más impresionantes del valle. Flujos de lavas en bloques cuyo emplazamiento cubre el piso de valle, en una extensión promedio de 17 km de largo y 3 km de ancho (desde la laguna de Chachas hasta Ayo), es de naturaleza porosa y clásica, donde los espacios vacíos entre los bloques de lava son bastante permeables. Este material es el que represa el río Andahua en el sector de Chachas, sin embargo los espacios vacíos ubicados entre los bloques facilitan la infiltración y circulación de las aguas en el subsuelo, para salir luego a superficie en un impresionante manantial de resurgencia en el sector llamado Mamacocha. En este punto la morfología del valle genera un estrangulamiento del cauce del valle y condiciona la formación de una gran laguna (Foto 4), las colinas que la bordean están compuestas por un substrato rocoso sedimentario jurásico-cretácico y una cobertura de suelo coluvial. El contacto entre las rocas volcánicas y las calizas lutitas y areniscas del Grupo Yura (Figura 2) que en este sector tienen niveles de carácter impermeable, son las que condicionan la surgencia del manantial.

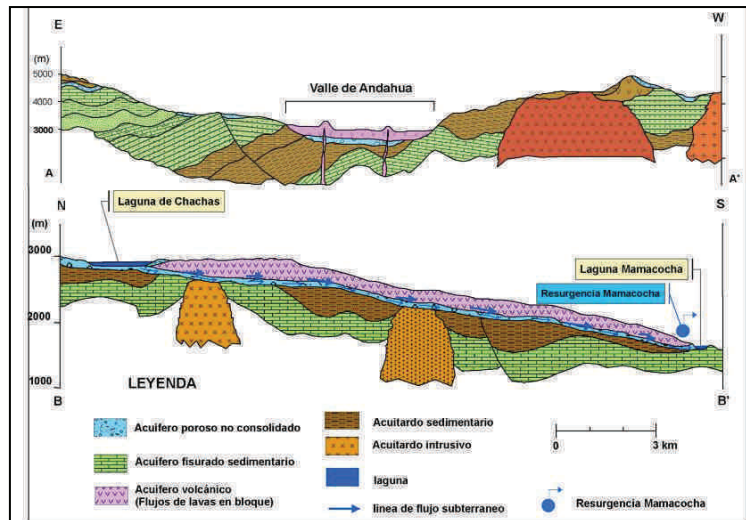


Figura 2. Modelo hidrogeológico de la resurgencia Mamacocha.

Las aguas son bicarbonatadas cálcicas, el calcio como catión principal que interactúa con rocas sedimentarias y volcánicas y el anión bicarbonato lo adquiere del contacto que tiene las aguas con las calizas de la Formación Socosani al momento de la percolación (Figura 2). Tiene bajo contenido de sales (CE de 297 uS/cm) y con pH neutro (7,22). Desde el punto de vista físico químico es apta para el consumo humano. La temperatura tomada en la surgencia es de 16.9° C lo que indica que son aguas de profundidad de infiltración (entre 400 -700 m).



Foto 4. Resurgencia y laguna Mamacocha (vista al Sur)

## CONCLUSIONES

Los acuíferos fisurados volcánicos (andesitas y dacitas) tienen descarga natural de aguas subterráneas, estas pueden ser aprovechadas mediante captaciones directas de los manantiales. La resurgencia de aguas subterráneas que genera la laguna Mamacocha tiene aguas de calidad para el consumo, esto genera condiciones para crear un espacio ecológico, natural y geoturístico. Las características hidrogeológicas del valle de los volcanes de Andahua realzan este espacio geográfico que debe ser considerado como Patrimonio Natural.

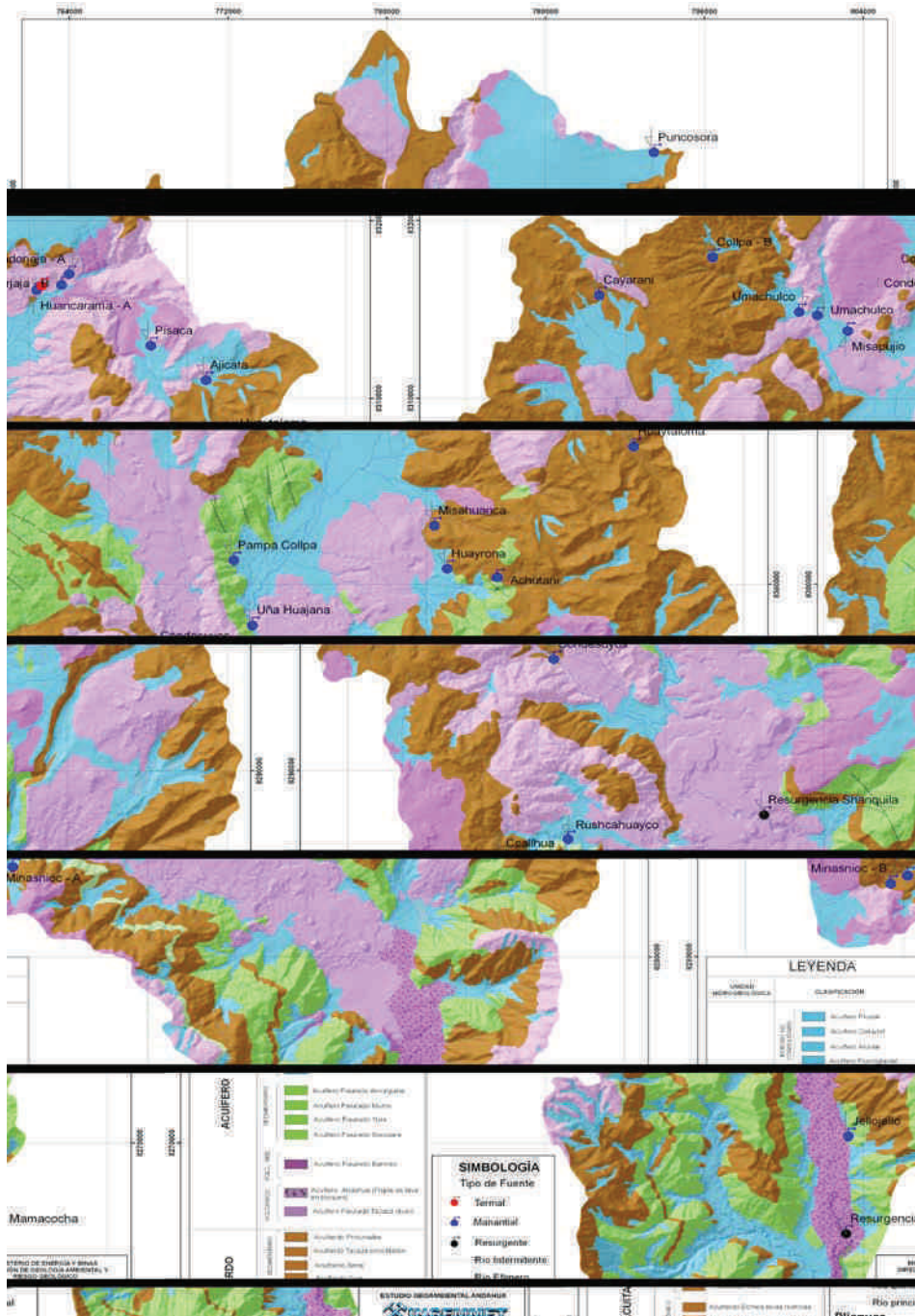


Figura 3. Mapa Hidrogeológico del valle de los volcanes - Andahua

## **REFERENCIAS**

Caldas, J. (1993). Geología de los cuadrángulos de Huambo (32-r) y Orcopampa (31-r). Boletín N° 46, INGEMMET, Serie A: Carta Geológica Nacional, 62p, 2 mapas y 3 perfiles.