

COMPORTAMIENTO HIDROGEOLOGICO DE LAS ROCAS VOLCANICAS EN LA PARTE ALTA DE LA CUENCA DEL RIO QUILCA – VITOR – CHILI

Fluquer Peña¹, Percy Sulca¹ y Josemanuel Carpio¹

¹ Instituto Geológico Minero y Metalúrgico- INGEMMET, Av. Canadá 1470 San Borja. Email: fpena@ingemmet.gob.pe

INTRODUCCION

La cuenca del río Quilca-Chili se ubica al sur del Perú, en la región Arequipa y parte de la región Moquegua. La zona explorada tiene una superficie de 7 875,8 km² y se ubica dentro de la cordillera occidental de los andes, entre la latitud 16° 10' y 16° 30'S y las longitud 71° 10' y 71°40' E (Figura 1). Del sector sur al oeste, resalta un alineamiento marcado de conos volcánicos que por acumulación sucesiva de sus coladas han formado una cadena de montañas; que incluye los volcanes Pichupichu, Misti y Chachani. El sector oeste, comprende una gran altiplanicie limitada por la divisoria de la cuenca hidrográfica.

En este espacio se ubica la ciudad de Arequipa, la segunda ciudad más importante del Perú, con una población cercana al millón de habitantes y extensas campiñas agrícolas que tienen un régimen constante de consumo de agua. El servicio de agua potable abastece a cerca de 650,000 habitantes y es suministrada por SEDAPAR. Para el riego, se utiliza las aguas del río Chili, que cruza por la ciudad y registra un aforo de 70 m³/s; caudal máximo mensual y 15,60 m³/s; caudal medio anual (Estación Charcani, ANA, 2010). Las cuales solo cubre parte del abastecimiento de las campiñas agrícolas, generándose conflictos por el uso de este recurso.

Con objeto de generar nuevas herramientas de prospección y exploración de aguas subterráneas se han evaluado el comportamiento hidrogeológico de las rocas que se ubican en la parte alta de la cuenca del río Chili, el cual constituye un sistema hidrogeológico complejo de origen volcánico y tectónico. Para este efecto se realizaron estudios en base al mapa geológico, seguido de un inventario detallado de manantiales, fuentes termales y bofedales, así como el análisis físico químico e isotópico de muestras seleccionadas, además de ensayos de infiltración que permitió medir la permeabilidad de los materiales en puntos estratégicos.

Considerando que la alimentación de los acuíferos provienen de la precipitación pluvial, en este sector, la precipitación media anual, es variable entre: 519 mm (Estación Imata, 4495 msnm), 710 mm (Estación El Pañe, 4524 msnm) y de 309 mm (Estación El Frayle, 4015 msnm), los que constituyen la fuentes de alimentación y recarga. El paisaje es agreste, impresionante por la grandiosidad de las formaciones rocosas espectaculares, así como la flora y fauna importante, que tiene relación directa con la presencia de las aguas subterráneas.

Morfológicamente, forma una altiplanicie junto a la depresión intermedia, en forma de un gran plano inclinado hacia el suroeste y alcanza alturas de 5000 msnm, en los edificios volcánicos.

ASPECTOS GEOLOGICOS

Las diferentes erupciones han dejado la acumulación de material volcánico desde el mesozoico al cenozoico. Las rocas más antiguas corresponden al mesozoico, representadas por areniscas y lutitas del Grupo Yura que afloran en las cercanías al poblado de Yura y en la altiplanicie de pampa Cañahuas (desvío de la carretera a Chivay). Las rocas del cenozoico cubren la mayor parte de la zona de estudio, formando una extensa altiplanicie representada por una serie de pequeños cerros y llanuras, recortado por valles y quebradas de



causes anchos y poco profundos. La mayoría de estos cerros corresponden a conos volcánicos antiguos fuertemente erosionados por las quebradas y por la acción glaciaria pleistocénica.

En la parte central y norte se observa el Grupo Tacaza, compuesta de ignimbritas, tobas y en forma esporádica lavas andesíticas. Sobre el Grupo Tacaza se encuentran rocas de la Formación Maure y Sencca constituidas por piroclastos de naturaleza andesítica, dacítica y riolítica, seguida de la Formación Capillune constituida por una intercalación de arenas, areniscas, arcillas, conglomerados, piroclastos y tefras que se presentan en capas delgadas y con coloraciones grises, blanquecinas y anaranjadas. Por encima de las formaciones Maure Senca y Capillune se encuentra en discordancia el Grupo Barroso del plioceno pleistoceno, conformado por derrames lávicos y piroclastos de composición andesítica y dacítica. Todos estos materiales se encuentran parcialmente cubiertos por depósitos glaciares y fluvio-glaciares conformados por gravas, gravillas y arenas mezclados con piroclastos. En esta zona se distinguen también numerosos complejos volcánicos.

CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLOGICAS DE LAS ROCAS VOLCANICAS

El estudio hidrogeológico de rocas volcánicas constituye un caso muy específico ya que no forman parte de los típicos acuíferos porosos o fisurados sedimentarios. Las rocas volcánicas antiguas procedentes de un arco volcánico o de volcanes extintos, tienen naturaleza distinta, lavas, piroclastos, tobas y otros elementos forman los depósitos volcánicos condicionados por factores diversos como la edad, la distancia al centro de emisión, la tectónica posterior, la erosión e intemperización, etc. Por consiguiente; la localización de acuíferos requiere de la reconstrucción de la historia geológica, para conocer su morfología y su relación con materiales de contacto. La estructura general de las formaciones volcánicas consisten principalmente en un apilamiento de materiales, pueden ser acuíferos (impermeables) hasta acuíferos de alta conductividad hidráulica, piroclastos con porosidad efectiva del 50% (cuadro 1), estas características hacen que sus propiedades hidrogeológicas sean variables, en base a su orientación y espesor, los materiales volcánicos con alta heterogeneidad y anisotropía (Custodio & Llamas 1996).

Cuadro 1. Clasificación hidrogeológica de rocas volcánicas

UNIDAD VOLCANICA	LITOLOGIA	m (%)	K (m/día)	ESPESOR	CLASIFICACIÓN
Grupo Tacaza	Brechas y tobas Areniscas Flujos de lava	De 1 a 20 De 4 a 25 De 1 a 10	De 0.20 a 8.64 De 0.076 a 0.36 De 1.5 a 19.87	± 1800	Acuitardo Volcánico
Grupo Maure	Conglomerados Areniscas Volcánicos	De 1 a 40 De 4 a 25 De 1 a 10	De 0.2 a 8.64 De 0.076 a 0.36 De 1.5 a 19.87	± 1200	Acuífero Volcánicos Sedimentario
Formación Capillune	Arenas, areniscas Piroclastos Cenizas y arcillas	De 4 a 25 De 1 a 50 De 4 a 60	De 0.076 a 0.36 De 10X10 ⁻⁵ a 1 De 8.3 X10 ⁻⁷ a 1	± 210	Acuífero Volcánico Sedimentario
Grupo Barroso	Lavas Andesíticas	De 1 a 10	De 1.5 a 19.87	± 150	Acuífero Volcánico

Fuentes: Peña & Sulca (2009), Custodio (1996), Sanders & Smith (1998), Morris & Johnson (1982), Davis (1969).

ACUITARDO TACAZA

Los materiales del Grupo Tacaza, son variados. La parte inferior destaca por su litología, compuesta por tobas de composición dacítica y riolítica desvitrificadas de naturaleza impermeable, la cual favorece el almacenamiento y descarga de aguas subterráneas a través de manantiales y bofedales. En la parte superior contiene ignimbritas, lavas y brechas andesítica a basáltica, intercalados con vulcarenitas y aglomerados de coloración gris rojiza. Una parte de estos materiales tienen permeabilidad vertical y las direcciones de flujo se concentran a través de las fracturas constituyéndose en acuitardos volcánicos, sin descartar que la parte superior pueda albergar acuíferos moderados de baja conductividad hidráulica.

ACUIFERO MAURE

Su litología la compone de una secuencia vulcano sedimentaria inter-estratificado con conglomerados, areniscas cuarzosas parcialmente compactas, limolitas de color verde oscuro, horizontes de material volcánico redepositado y tufos volcánicos. Estos materiales parecen haber sido alterados por procesos

exógenos y se presentan en diferentes formas y tamaños. La permeabilidad de estos materiales es muy variable, como la porosidad. Estas variaciones litológicas generan que el Grupo Maure tenga características de acuífero semiconfinado. En el altiplano, sector El Ayro, parte alta de la Región Tacna, han mostrado evidencias de constituir un acuífero potencial (INADE 1993, PET, 2008).

ACUIFERO CAPILLUNE

La Formación Capillune, tiene estratificación horizontal a subhorizontal, cerca a su contacto con rocas más antiguas, presentan buzamientos entre 20 y 25°. Su litología se compone de una intercalación de areniscas, arcillas, conglomerados y piroclásticos que se presentan en capas delgadas grises, blanquecinas y anaranjadas. La configuración de sus estratos y su litología genera heterogeneidad acentuada, principalmente por que las capas sub-horizontales tienen variada composición litológica, por lo tanto su comportamiento hidráulico también es variable, los horizontes permeables tienen una acentuada permeabilidad horizontal (fotos 1 y 2). Este componente litológico nos permite clasificar a los horizontes de areniscas tobaceas, piroclastos y lapillis en acuíferos y a los horizontes de arcillas, cenizas y limos como acuitardos, por lo tanto esta formación es típica de acuíferos multicapa, y que en sectores se encuentran confinados. En el sector de Pati, se observa que gran parte de estas surgencias originan numerosos manantiales que forman grandes bofedales (foto 2). La parte superior de esta formación, donde coincide con estratos impermeables se comportan también como controles para la surgencia de manantiales, que proviene de acuíferos ubicados por encima de la Formación Capillune, ejemplo lavas andesíticas fisuradas del Grupo Barroso.



Foto 1. Estratos horizontales a sub horizontales de la Formación Capillune, evidenciando niveles saturados y niveles impermeables.



Foto 2. Descarga de manantiales en el acuífero multicapa de la Formación Capillune originando bofedales de ladera. sector Pati.

ACUIFERO BARROSO

El Grupo Barroso congrega a varios estratos volcán del plioceno reciente, formados principalmente por lavas andesíticas gris oscuras. En varios sectores se encuentran coronando la parte superior y los flancos de las estructuras volcánicas, en otros, sobreyace a las tobas blancas del Grupo Maure. Estas lavas andesíticas tienen predominancia de fracturas verticales formadas por enfriamiento y coincidente con la dirección de emplazamiento de las lavas, estas fracturas son las que almacenan las aguas subterráneas y condicionan la dirección de flujo de las surgencias. El modelo hidrogeológico conceptual del acuífero Barroso se inicia con la recarga que recibe de la precipitación pluvial, estas se infiltra en sus fracturas, circula en

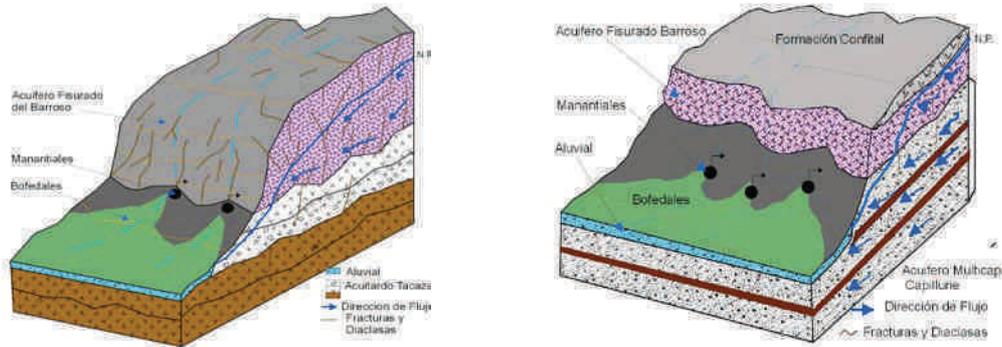


Foto 3. Manantiales que surgen entre las lavas del Grupo Barroso en contacto con cenizas y piroclastos impermeables

dirección vertical y surgen a superficie en contacto con las tobas o materiales impermeables del Acuífero Capillune.

MODELOS HIDROGEOLOGICOS ESQUEMATICOS

Considerando la disposición heterogénea de las rocas volcánicas se tiene los siguientes modelos hidrogeológicos conceptuales:

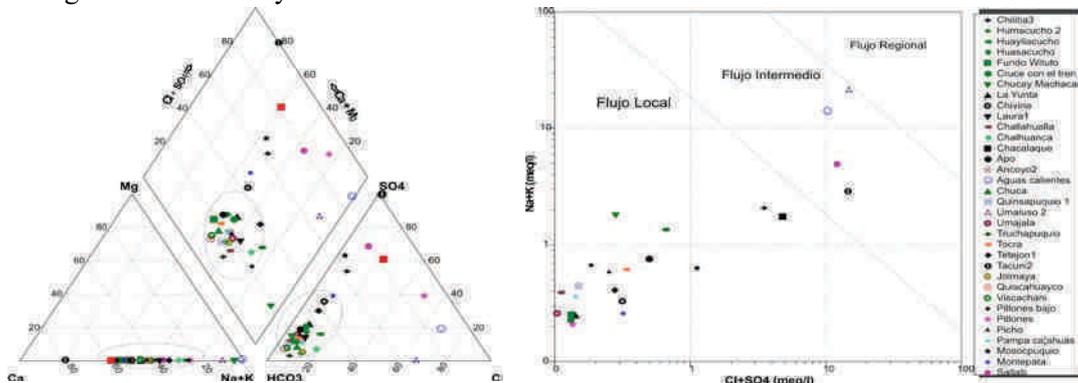


A) Acuíferos con descargas de control topográfico.

B) Acuíferos multicapa, con descarga de control litológico

HIDROQUIMICA DE LOS ACUIFEROS

Según el diagrama de Piper (Grafico 1), las aguas subterráneas procedentes de las rocas volcánicas son bicarbonatadas sódicas y bicarbonatadas cálcicas, que representan a aguas dulces de poca profundidad y corto periodos de circulación. Según las evolución hidroquímica ($Cl+SO_4$ vs $Na+K$ (meq/l)) de flujos (Mifflin, 1988 en Ángeles et al 2004), muestran aguas de recorridos locales y algunos manantiales de flujos intermedios, considerando que la mayoría de las surgencias están por encima de los 3500 msnm, se tiene una zona de recarga entre los 3500 y más de 5000 msnm.



CONCLUSIONES

Los acuíferos Maure y Capillune son del tipo confinado, el acuífero Barroso es del tipo libre, estos acuíferos por su gran extensión tiene condiciones de acuífero regional, lo cual pueden ser una gran alternativa para la explotación de los recursos hidráulicos subterráneos para la ciudad de Arequipa.

La interacción volcánico fisurado-volcánico tobaceos ignimbríticos, condiciona la circulación del agua subterránea por las estructuras internas de la roca, ya sea fracturas y/o diaclasas o poros inter-granulares. Los materiales finos, como las tobas del Tacaza o cenizas del Capillune constituyen substratos impermeables que permite la surgencia a través de manantiales de gran caudal.

Se requiere de estudios detallados que determinen el verdadero potencial de estos acuíferos, además de la elaboración de modelos matemáticos en base a cálculos de parámetros hidrogeológicos mediante perforaciones de investigación.

REFERENCIAS

- Dalmayrac, B., Laubacher, G., Marocco, R. 1988. *Características Generales de la Evolución Geológica de los Andes Peruanos*. Lima, Perú. INGEMMET. Bol 12, D. 313p.
- INADE- Instituto Nacional de Desarrollo, 1993 y PET Proyecto Especial Tacna 2008. Archivos inéditos.
- Ángeles, S.; Rosales L. & Ramos J. (2004) – *Características de flujos regionales, y su manifestación, tres casos en México*, Instituto de Geografía.
- Custodio, E. & Llamas, M. (1996) - *Hidrología subterránea*. 2a. ed. Barcelona: Omega, 2 t.
- Sanders & Smith (1998), Morris & Johnson (1982), Davis (1969), en Vedat Vatu (1998) *Aquifer Hydraulics*.
- Peña F., Cotrina G. & Acosta H. (2009) Hidrogeología de la Cuenca del río Caplina, INGEMMET. Bol 1, H.