

EVALUACIÓN DEL POTENCIAL HIDROGEOLÓGICO DE LA CUENCA DEL RÍO YARABAMBA: MARGEN SURORIENTAL DE AREQUIPA.

Por: Juan Aníbal Lajo Soto*

* Universidad Nacional de San Agustín. alajosoto@gmail.com / jlajos@unsa.edu.pe

1. INTRODUCCIÓN

La cuenca del río Yarabamba, se desarrolla en la margen suroriental de la ciudad de Arequipa y sobre las vertientes suroccidentales de la montaña del Pichu Pichu (Figura 1). Se encuentra sobre rocas sedimentarias, plutónicas, volcánicas y depósitos clásticos recientes, ordenados cronológicamente desde el Jurásico superior al Cuaternario reciente.

Las mayores aportaciones subterráneas, están vinculadas con las facies volcánicas y tienen sus orígenes en la infiltración de las precipitaciones pluviales que se desarrollan al este de la cordillera volcánica (Altiplano); sin embargo, estudios geofísicos realizados permiten señalar que un potencial local adicional también puede encontrarse en las facies plutónicas fracturadas y depósitos clásticos recientes.



Figura 1. Mapa de ubicación de la cuenca del río Yarabamba.

2. ESTRATIGRAFÍA Y CAPACIDAD ACUÍFERA

2.1. FACIES SEDIMENTARIAS DEL GRUPO YURA

El Grupo Yura se expone a manera de una ventana estratigráfica en el dominio central de la cuenca. Está definida por una alternancia de pizarras gris oscuras a negras y areniscas cuarcíticas gris claro verdosas; las cuales, ordenadas en bancos delgados de 0.50 m a más de 1 m de espesor, muestran por lo general buzamientos de 20° a 29° hacia el SSE. Con estos depósitos, se asocian pequeñas surgencias cuyos rendimientos oscilan entre 1,0 l/s a 6,0 l/s, particularmente están asociadas con las areniscas cuarcíticas y fluyen lentamente en forma de hilos a través de los planos de contacto y a través de fracturas, a veces sobre un área más o menos considerable; en efecto, se trata de “Aguas estrato – fisurales”, circulantes en un régimen de escorrentía difusa moderada. Dado el rendimiento de las surgencias a estos depósitos puede considerárseles como “poco acuíferos” y/o con leve tránsito a “medianamente acuíferos” en zonas de alto fracturamiento.

2.2. FACIES PLUTÓNICAS DEL BATOLITO DE LA CALDERA

Truncando la continuidad de las facies sedimentarias, se encuentra por la mitad inferior de la cuenca una serie de facies plutónicas ordenadas en una secuencia de acidez creciente desde gabros, dioritas, tonalitas, granodioritas hasta granitos con texturas diferentes (Batolito de la Caldera). Con estas facies se asocian pequeñas surgencias de “Aguas filonianas de fisura” cuyos rendimientos varían de 0,01 l/s a más de 0,89 l/s. Sus orígenes se deben a la infiltración de las aguas pluviales a través de las alteritas y acumuladas gracias a un diaclasamiento un tanto más o menos profundo. No obstante las evidencias, su importancia es solo local, por tanto, desde un punto de vista regional, este complejo se reporta más bien como “Barrera impermeable” en la funcionalidad hidrológica de la cuenca.

2.3. FACIES VOLCÁNICAS DE LA FORMACIÓN SENCCA

Definiendo al primer horizonte de la gruesa cobertura volcánica, se encuentra por la mitad suroriental de la cuenca una serie de tobas dacíticas y/o riolíticas (sillares) correspondiente a la Formación Sencca. La sección de más o menos 200 m de espesor muestra dos niveles: a) un nivel inferior constituido por tobas cuarzosas de color blanco rosáceo, con disyunción columnar en bloques resquebrajados y b) un nivel superior, constituido por la alternancia de tobas masivas de color blanco – amarillento y rojizo, con horizontes de areniscas tobáceas friables. Con esta unidad se asocian “Aguas de estrato intersticiales” y “Aguas filonianas de fisura”, su capacidad acuífera ha sido definida a partir de cuatro perforaciones en la pampa de San José de Uzuña (Minero Perú, 1975), en este caso, las reservas acuosas están vinculadas principalmente con el nivel superior vulcano – terrígeno, allí, las aguas contenidas en un medio sin presión, se encuentran en los espacios intersticiales de las areniscas tobáceas y en las fisuras del material tobáceo. Aunque no se tiene un valor cuantificado, estos depósitos se reportan como “medianamente acuíferos”.

2.4. FACIES VOLCÁNICAS DEL GRUPO BARROSO

En discordancia sobre la Formación Sencca, se encuentran las facies efusivas del Grupo Barroso. La secuencia es divisible también en dos unidades: a) una inferior de mayor extensión constituida por aglomerados y coladas de lava que se ordenan en bancos subhorizontales de 5 a 20 m de espesor (constituye básicamente la montaña del Pichu Pichu) y b) una unidad superior de menor extensión constituida por lavas andesíticas porfíricas gris claras, con disyunción en bloques subredondeados de hasta 3 a 4 m. Con esta unidad se asocia casi todo el aporte subterráneo de la cuenca, se trata de “Aguas filonianas de fisura” y “Aguas estrato fisurales” cuyos rendimientos oscilan desde simples filtraciones hasta volúmenes de 218 l/s (manantiales de Quimsapujoy, Hospicio y Totorani), aquí, las aguas circulan a través de los planos de contacto y fisuras, o bien, por aparentes canales labrados sobre los aglomerados y cubiertos por coladas lávicas más recientes (manantial de Totorani). En definitiva, los altos rendimientos de los manantiales, reportan a estos depósitos como “muy acuíferos”.

2.5. FLUJOS DE BARRO VOLCÁNICO

Rellenando depresiones en los depósitos volcánicos, sedimentarios y plutónicos, se encuentran “Flujos de barro volcánico frío” Estos depósitos, varían desde condiciones más densas y de corto recorrido en la parte superior de la cuenca, hasta condiciones más fluidas y de largo recorrido en las partes inferiores de la misma. Son de color gris y marrón claro y están constituidos por fragmentos heterométricos y angulosos de andesíticas y tobas, englobados en una matriz areno-tobácea y arcillosa de poca consistencia. Aunque las características texturales de estos materiales crean condiciones favorables para la acumulación de agua subterránea, sin embargo, sus funciones en el rendimiento hidrológico de la cuenca son casi muy pobres. Ello se debe a que el contraste de las estaciones secas y cálidas separadas por épocas de intensa precipitación, origina un endurecimiento superficial en estos materiales, permitiendo una débil infiltración a cambio de un mayor escurrimiento.

2.6. FACIES LACUSTRES DE LA CUBETA DE SAN JOSÉ DE UZUÑA

Rellenando pequeñas subsidencias al pie de la montaña del Pichu Pichu (pampa de San José de Uzuña), se encuentran facies lacustres depositadas sobre los flujos de barro y facies volcánicas del Grupo Barroso. Están constituidas por sedimentos terrígenos (limos y areniscas tobáceas) y organógenos (diatomitas) ordenados en una delgada estratificación horizontal con potencias de 3 a 25 m. No obstante la existencia de pequeños resumideros o bofedales, no muestran mayor significado hidrológico, debido a sus características de impermeabilidad.

2.7. DEPÓSITOS CLÁSTICOS

Completando la estructura geológica de la cuenca, se encuentran pequeñas acumulaciones clásticas constituidas por materiales morrénicos, fluvio-glaciarios, aluviales y eluviales. Por su dimensión, estos

depósitos no revisten mayor importancia en la funcionalidad hidrológica de la cuenca; en el mejor de los casos, con ellos se vincula un débil escurrimiento en el periodo de lluvias, o bien forman bofedales, cuando se comportan como terrenos de cultivo de difícil drenaje. Ocasionalmente, cuando alcanzan una extensión significativa, se asocian "Aguas estrato intersticiales" y constituyen potenciales reservorios acuíferos (El molino ubicado aguas abajo de la localidad de Yarabamba).

3. HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA

Dentro de los aportes hidrológicos de la cuenca, las aguas subterráneas constituyen las fuentes de alimentación permanente de los ríos y las fuentes de sobrevivencia agrícola y social de la misma.

3.1. MANIFESTACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

Las aguas subterráneas, se manifiestan según dos formas distintas: en forma de "manantiales" y en forma de "resumideros o bofedales. Dentro de este conjunto, los manantiales son la forma de manifestación más importante, se han inventariado 57 manantiales: 4 captados y 55 no son captados, la mayoría se hallan al pie de la montaña del Pichu Pichu definiendo un alineamiento NO-SE a los 3,400 msnm. En unos casos, fluyen de una manera difusa en forma de hilos separados entre los planos de contacto y las fisuras (rocas plutónicas, sedimentarias y en algunas rocas volcánicas). En otros, fluyen en un lugar más o menos definido, con buen caudal y por debajo de los frentes de las coladas de lava (facies volcánicas). Sus rendimientos oscilan desde simples escurrimientos de 0,01 a 6,0 l/s en las facies plutónicas y sedimentarias, hasta volúmenes de 39 l/s a más de 200 l/s en las facies volcánicas. El régimen de escurrimiento es regular, las vertientes son perennes y el agua permanece siempre clara aun en tiempo de lluvias.

3.2. ORIGEN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

Las aguas subterráneas de la cuenca del río Yarabamba, tienen su origen en la infiltración de las aguas meteóricas provenientes de las precipitaciones pluviales que se desarrollan en el altiplano al este de la cordillera (Laguna de Salinas) ocasionalmente, reciben un débil incremento desde los deshielos de la montaña del Pichu Pichu y de las precipitaciones caídas en su frente occidental. El argumento que explica este origen, se funda en que el régimen de escurrimiento de las vertientes (manantiales) en el curso del tiempo, ha permanecido constante y regular aun en tiempos de sequía prolongada.

3.3. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

Las aguas subterráneas se distribuyen en los diferentes niveles de la geo-estructura de la cuenca. La mayoría de los niveles acuíferos son de dimensiones variables y descansan a escasa profundidad haciendo claramente objetivas sus descargas en superficie. Se trata de una serie de miembros acuíferos con superficies no confinadas donde las aguas libres de presión fluyen impulsadas por la gravedad hacia las laderas y otras depresiones, allí afloran en forma de manantiales o simplemente forman los resumideros.

3.4. CARACTERÍSTICAS HIDRODINÁMICAS

3.4.1. CIRCULACIÓN DE LAS AGUAS

Las aguas subterráneas están en una dinámica continua. El ciclo se inicia con la infiltración de las aguas provenientes de las precipitaciones pluviales desarrolladas al este de la montaña del Pichu Pichu (Altiplano), la infiltración se realiza a través de las zonas de intemperismo, el agua por gravedad, desciende en un movimiento vertical hasta ser retenida mayormente por los niveles impermeables del volcánico Barroso. En este caso, se asume que el agua influenciada por la presión hidrostática, filtra siguiendo los planos de contacto y en general a través de las fisuras para alumbrar finalmente por debajo de los frentes de las coladas de lava, entre los 3,350 y 3,550 msnm. Un volumen residual que

no fluye a esta altitud, continua hacia la parte más inferior de la cuenca, para invadir localmente a las facies del Grupo Yura y flujos de barro; circunstancialmente, a las facies plutónicas.

3.4.2. DIRECCIÓN DEL FLUJO HIDRÁULICO

De manera general, las aguas fluyen en una dirección de NE a SO. Esta dirección ha sido determinada asumiendo una relación de la distribución espacial de los manantiales con el área de alimentación y el método geométrico de los tres puntos. La pendiente promedio, se estima en 5°32'.

3.4.3. VELOCIDAD DEL FLUJO HIDRÁULICO

Considerando el medio de circulación fisural y un régimen de flujo no laminar, se estima que la velocidad está en el rango de 2 a 3,5 m/año. Las medidas absolutas pueden obtenerse del tiempo de viaje de rastreadores estables que se inyectan al agua subterránea.

3.5. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS

3.5.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Se caracterizan por su alto grado de transparencia, su estado inodoro e incoloro y su sabor extraordinariamente agradable (dulce). La temperatura es en cierta forma constante en el curso del tiempo, los valores obtenidos en el mismo punto de afloramiento oscilan entre 9° a 13°C. La conductividad eléctrica varía a + 25°C entre 0.08 y 0.59 mmhos/cm, estos valores sensiblemente bajos, señalan que las aguas son de extraordinaria pureza (agua destilada). El Ph varía entre 6.2 y 7.3, estos valores ponen en evidencia un agua ligeramente neutra con ligeras variaciones.

3.5.2. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

El quimismo de las aguas, se ha fijado sobre el análisis de 9 muestras de los manantiales más importantes (Cuadro 1). Los análisis, se ha realizado bajo las normas internacionales de regadío del laboratorio de Riverside. Considerando la relación de adsorción del sodio (RAS) que varían desde 0.13 a 2.73 y los valores de la salinidad total, que varía entre 0.08 y 0.59 micromho/cm; se concluye que las aguas subterráneas se vinculan con dos familias: C1S1 y C2S2, las cuales reúnen la siguiente interpretación: Agua de baja salinidad (C1), Agua de salinidad media (C2) y Agua baja en sodio (S1).

Cuadro 1. Características Físico-químicas de las Aguas

N° y Nombre De la fuente	T (°C)	C.E. 25°C	P.H.	meq/l								Q l/s	s.s	Clasificación
				Ca	Mg	Na	CO3	HCO3	NO3	SO4	Cl			
02. Hospicio	12.5	0.4	6.2	0.6	0.8	2.6	0.0	2.4	0.0	0.4	1.2.	134,9	0.186	C2 S1
03. Totorani	13.0	0.59		1.0	2.2	2.7	0.0	2.1	0.0	1.4	2.4	217,4		C2 S1
04. Illihuaya	9.4	0.27	7.2	0.6	1.0	1.1	0.0	1.6	0.0	0.1	1.0	22,0	0.124	C2 S1
08. Chujomolle	9.8	0.08	6.8	0.2	0.4	0.2	0.0	0.5	0.0	0.0	0.3	6,0	0.066	C1 S1
11. Agua Buena	10.1	0.15	6.9	0.4	0.6	0.5	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	3,0	0.152	C1 S1
10. Escoscola	9.9	0.08	6.6	0.2	0.6	0.1	0.0	0.4	0.0	0.1	0.4	33,4	0.016	C1 S1
20. Quimsapujio	12.0	0.54	7.3	0.6	1.8	3.0	0.0	1.6	0.0	2.6	1.2	41,2	0.276	C2 S1
21. Horihuela	11.5	0.11	6.7	0.4	0.6	0.1	0.0	0.4	0.0	0.1	0.6	39,7	0.302	C1 S1
24. Carcatane	11.7	0.35	6.5	0.6	1.0	1.9	0.0	1.6	0.0	0.3	1.0	7,0	0.544	C2 S1

T = Temperatura del agua en el punto de surgencia; C.E. = Conductividad eléctrica a + 25°C medida en mmhos/cm.
meq/l = Unidad en miliequivalentes por litro; Q = Caudal medido en l/s (litros por segundo); s.s. = Sólidos en suspensión

3.6. APROVECHAMIENTO DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS

La totalidad de las aguas subterráneas, son aprovechadas en las actividades agrícolas, tanto dentro como fuera de la cuenca. En promedio, el volumen total alumbrado asciende a 18'837,200.8 m³ al año, de ellos, 16'510,621.6 m³ son utilizados en el riego de los distritos de Polobaya, Quequeña y Yarabamba y 2'326,579.2 m³ fugan de la cuenca para el riego de los distritos de Pocsi y Mollebaya.

CONCLUSIONES

1. las aguas subterráneas están mayormente vinculadas con las rocas volcánicas, en menor proporción se relacionan con las rocas sedimentarias, plutónicas, flujos de barro y depósitos clásticos recientes. Sus rendimientos oscilan desde simples emanaciones hasta más de 200 l/s. No obstante lo señalado y en casos excepcionales, estas últimas pueden constituir localmente buenos acuíferos, tal es el caso de las facies plutónicas de la zona de hornillos (Pampa de Tumbabaya), los flujos de barro de la peneplanicie agrícola de Quequeña y los depósitos clásticos débilmente consolidados ubicados inmediatamente al oeste de la localidad de Yarabamba.
2. Un balance hídrico preliminar, precisa que las aportaciones subterráneas de la cuenca alcanza en promedio 18'837.200 m³ al año. Mayormente se manifiestan al pie de la montaña del Pichu Pichu y muestran una influencia del factor altitudinal. Tienen su origen en la infiltración de las precipitaciones atmosféricas desarrolladas al este de la cordillera, una infiltración adicional reciben desde los deshielos del Pichu Pichu y de las precipitaciones caídas en su frente occidental. El régimen de escurrimiento es permanente y regular, las aguas son de extraordinaria calidad y alumbran siempre límpidas aun en tiempo de lluvias.

BIBLIOGRAFÍA

BOCANGEL & BOCANGEL INGENIEROS EIRL. (2008). Sondeos de Resistividad Eléctrica por Aguas Subterráneas. Municipalidad de Yarabamba. Informe Interno.

GOMEZ, M. (1974). Estudios Preliminares en Exploración por Aguas Subterráneas en la Pampa de Uzuña (Distrito de Polobaya). Tesis. UNSA. Arequipa.

LAJO, A. y GAMARRA, A. (2010). Investigaciones Hidrogeológicas en la Cuenca del Río Yarabamba: Margen Suroriental de Arequipa. XV Congreso Peruano de Geología. Cusco.Perú.

