

UNA NUEVA EXPERIENCIA DE GALERÍA FILTRANTE EN CUSCO: PILLAO MATAO-SAN JERÓNIMO

Víctor Carlotto^{1,2}, Rene Pumayali^{1,3}, Fluquer Peña², Renato Yabar³, Martín Oviedo^{1,3},
Víctor Tupac Yupanqui⁴, Daniel Tintaya¹

¹Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco UNSAAC - ²INGEMMET, Av. Canadá 1470 San Borja, Lima, vcarlotto@ingemmet.gob.pe - ³Centro Guaman Poma de Ayala, Jr. Retiro 346 Urb. Tahuantinsuyo – Cusco

⁴Universidad Nacional de San Agustín UNAS, Arequipa

INTRODUCCIÓN

La explotación de las aguas subterráneas mediante la construcción de galerías filtrantes es una alternativa frente a la mayor demanda de agua, tanto para el consumo humano y la agricultura. Esta técnica de explotación se viene realizando con mucho éxito en el valle de Cusco desde el año 1986. Actualmente se cuenta con 6 galerías filtrantes funcionando y una en ejecución que es la de Pillao motivo de este trabajo.

Como antecedente mencionamos que hace varios años la municipalidad del distrito de San Jerónimo y el Centro Guamán Poma de Ayala, acordaron realizar el estudio conjunto de aguas subterráneas, para incrementar la oferta de agua potable y riego de los pobladores del mencionado distrito y en este caso de la Comunidad Pillao Matao, con el objetivo de incorporar sistemas alternativos de captación, mediante galerías filtrantes sobre acuíferos fisurados. En este caso los estudios se realizaron el año 2002, pero el proyecto se viene ejecutando actualmente (mayo-junio del 2008).

De acuerdo al proyecto presentado por el Centro Guamán Poma de Ayala (2001), el estudio para la construcción de la galería filtrante en Pillao Matao, ha comprendido varias etapas. La primera etapa de reconocimiento ha servido para determinar el área de influencia y recarga del acuífero (cuenca hidrogeológica). Luego se inició el mapeo de las unidades lito-estratigráficas e hidrogeológicas a escala 1/10,000, además de la evaluación geomorfológico-estructural y finalmente la evaluación de las fuentes de agua. La segunda etapa del estudio ha consistido en el mapeo al detalle y la evaluación estratigráfica, estructural y microtectónica; así como la determinación de las características mecánicas e hídricas de las rocas. En esta etapa también se han determinado las características geofísicas a partir del método de resistividades, aspectos que han servido para plantear el emplazamiento de dos galerías filtrantes, una denominada Pillao y la otra Matao. La tercera etapa del estudio ha comprendido el análisis de la información recopilada, los diseños y los cálculos de costos respectivos. La cuarta fase corresponde a la construcción de una sola galería, la galería Pillao, la que se está ejecutando.

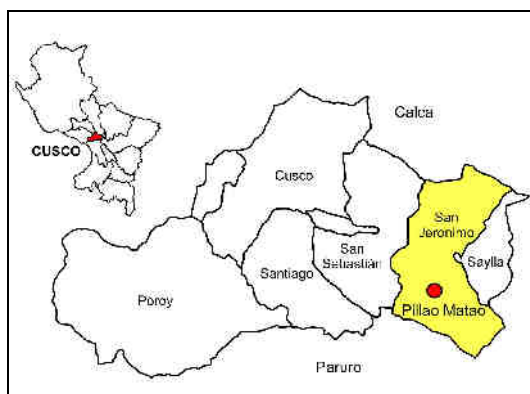


Fig. 1. Ubicación de la zona de estudio y vista panorámica de las capas rojas del Grupo San Jerónimo en la zona del proyecto

El área de estudio se ubica en el distrito de San Jerónimo, provincia de Cusco y Región Cusco (Fig. 1), dentro de la subcuenca Huatanay, microcuenca Pillao Matao, donde la comunidad del mismo nombre,

cuenta con áreas de cultivo pero sufre la escasez de agua para irrigarlas durante la temporada de estiaje. La zona utiliza aguas procedentes de la quebrada Kkirkas, que se alimenta de fuentes subterráneas cuya producción alcanza alrededor de 8.5 l/s, la que es insuficiente para la demanda agrícola. La galería de Pillao actualmente se encuentra en construcción con un avance aproximado de 35 m de un total proyectado de 150 m.

GEOLOGÍA E HIDROGEOLOGÍA

El área de estudio se ubica al sur del distrito de San Jerónimo, en las laderas de las Montañas de Vilcaconga, cerca al límite con el piso de valle del Huatanay. La ladera que empieza a los 3400 msnm, es bastante estable, no es muy abrupta, tiene una pendiente de 30 a 40 grados y está cortada por pequeñas quebradas de dirección N-S a NO-SE, resaltando la quebrada Kkirkas que es la colectora de las aguas procedente de los manantes. Las cumbres máximas de las montañas están a una altura de 4000 msnm, constituyendo el límite hidrológico de la cuenca, pero no el límite hidrogeológico. Estas montañas están formadas por potentes capas rojas de areniscas y lutitas del Grupo San Jerónimo del Eoceno-Oligoceno inferior, así como de areniscas de la Formación Punacancha (Fig. 2)

El Grupo San Jerónimo es una potente serie de rocas sedimentarias de más de 5000 m de espesor, que ha sido dividida en dos formaciones Kayra y Soncco. Estas unidades están conformadas por areniscas feldespáticas y cuarzo feldespáticas, intercaladas con algunos niveles de limolitas y lutitas rojas, y además, capas de conglomerados. Estas rocas se hallan fuertemente fracturadas lo que les permite tener buena capacidad de almacenamiento y circulación de las aguas subterráneas, aunado a las grandes superficies de exposición, constituyen el mayor y más importante acuífero de la región.

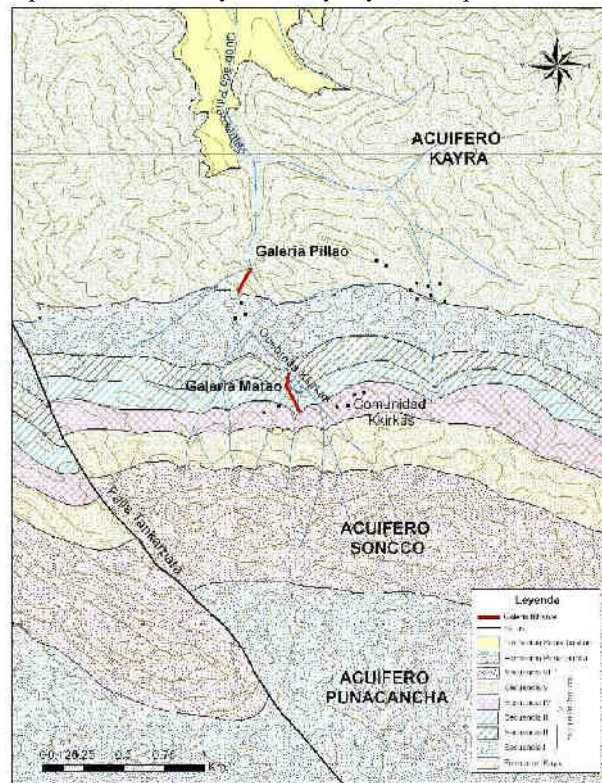


Fig 2. Mapa geológico-hidrogeológico de Pillao Matao con la ubicación de los dos proyectos de galerías filtrantes

La Formación Kayra en el área de influencia del proyecto, tiene más de 1000 m de espesor y se halla fuertemente fracturada. La Formación Soncco (1600 m) sobreyace a la formación Kayra y está constituida por 6 secuencias (Fig. 2). La primera (100-160 m) conformada por limolitas y lutitas intercaladas con escasos estratos de areniscas, que puede considerarse como un sello a los niveles

acuíferos superiores (Formación Soncco), y también inferiores (Formación Kayra), es decir actúa como una pantalla impermeable (acuifugo) y separa los acuíferos Kayra y Soncco (Figs. 2 y 3). Las fracturas corresponden en realidad a las esquistosidades S1 (NO-SE a E-O) y S2 (N-S a NE-SO) que se han desarrollado con los pliegues que afectan las rocas. Estas fracturas son las que han originado el acuífero fisurado ya que han favorecido la acumulación y descarga de las aguas subterráneas. Por otro lado, en la zona de estudio la falla Tancarpata (Fig. 2) muestra desplazamientos de rumbo sinistral y controla al SO el acuífero Soncco permitiendo las emanaciones de aguas subterráneas en la Quebrada Huillcarpay, es decir a lo largo de la falla. Localmente, existen fallas de poco desplazamiento y alineamientos de dirección promedio N-S a NE-SO, como es el caso de Kkirkas que parece trabajar como un colector de las aguas subterráneas para luego descargarlas en forma de manantiales u ojos de agua.



Fig. 3. Fotos mostrando los acuíferos de la zona de estudios y el fracturamiento de las areniscas de la Formación Kayra

INVESTIGACIONES GEOFÍSICAS

En la zona de estudio se ha aplicado el método de prospección eléctrica de resistividad, debido a la experiencia que se tiene con este método en la exploración de acuíferos fisurados. Como se sabe el método geoelectrico, depende del tipo de roca, grado de compactación, estado de fracturación, grado de alteración y del nivel de saturación de agua. Sin embargo, en zonas de relieves y con geología compleja, como es este caso, el método geoelectrico tiene sus limitaciones, por lo que para obtener resultados válidos, se realiza una buena correlación con los datos geológicos de superficie obtenidos por la cartografía, sedimentología y tectónica. Esto ha sido posible a partir de la construcción de secciones estructurales donde se han incluido los valores de los sondajes eléctricos verticales (SEV). Es decir estos datos nos han permitido conocer mejor las características geológicas y geofísicas de los acuíferos a ser perforados.

En la sección estructural (Fig. 4) el SEV-14 muestra, en la parte superior, valores de resistividades aparentes que varían entre 40 y 85 Ohmios.m, que son interpretados como correspondientes a las intercalaciones de limolitas y areniscas de la Secuencia 1 de la Formación Soncco; en profundidad, los valores que llegan a 140 Ohmios.m se deberían a la presencia de areniscas saturadas en agua del acuífero Kayra. El SEV-13 muestra valores variables entre 90 y 140 Ohmios.m que es interpretado como relacionado a areniscas saturadas en agua y por lo tanto es el objetivo de la galería; los valores altos de 200 Ohmios.m en profundidad indicarían mayor compactación de las areniscas. El SEV-12 muestra valores variables, siendo los de la parte superior entre 40 y 130, los que puede relacionarse al acuífero, sin embargo mas abajo, los valores van de 125 a 210 Ohmios.m indicando que la roca estaría más compactada. El SEV-11 tiene características de respuesta similares al SEV-12 (Fig. 4).

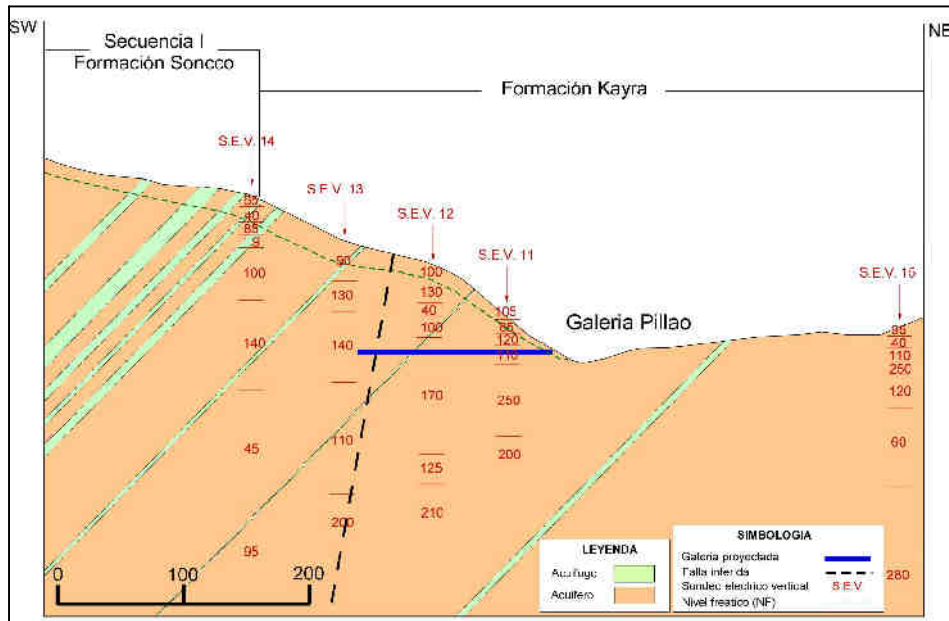


Fig. 4 Sección geológica - geofísica mostrando los puntos SEV y los valores de resistividad en Ohmios.m

En consecuencia, los datos geofísicos correlacionado a los datos geológicos de superficie, además de la topografía, han permitido ubicar el punto y dirección de la galería, atravesando rocas de baja resistividad que pueden ser areniscas saturadas con agua correspondiendo al acuífero Kayra.

HIDROMETRÍA E HIDROQUÍMICA

Se han realizado medidas de caudales de los 10 manantes existentes en la microcuenca Kkirkas, las que arrojan un total de 8.50 l/s, de los cuales 3.5 l/s proceden del acuífero Kayra y 5 l/s del acuífero Soncco. De acuerdo a la concentración porcentual de los cationes y aniones se pudo clasificar al agua como: agua bicarbonatada cálcica, sulfatada magnésica (acuífero Kayra) y agua sulfatada cálcica, bicarbonatada sódica (acuífero Soncco). Además estas aguas son duras, > 200 ppm de CaCO_3 (acuífero Soncco) y moderadamente duras, < 200 ppm de CaCO_3 (acuífero Kayra). Los análisis bacteriológicos indican que no hay contaminación fecal. Del resultado de la interpretación de los diagramas logarítmicos de potabilidad de agua y de acuerdo a las normas establecidas por la Organización Mundial de la Salud (OMS), estas aguas son aptas para el consumo humano y también para el riego.

ESTIMACIÓN DE RESERVAS DE LOS ACUÍFEROS

Para la galería Pillao el volumen de los acuíferos rocosos ha sido determinado en referencia a la 3500 msnm y que corresponden a los acuíferos de Kayra y Soncco. No se ha tomado en cuenta las reservas por debajo de estos niveles ya que no drenarían hacia la galería proyectada. Se ha considerado una Altura Media de la Cuenca (Hm) de 3757 msnm y se ha estimado una precipitación media anual (Pm) para la cuenca hidrogeológica de Pillao Matao y en consecuencia para el área del proyecto de 904 mm/año. De acuerdo a las características de la cuenca se ha determinado un coeficiente de escorrentía directa (Pn) de 488.16 mm Para el coeficiente de infiltración efectiva (inf) se han realizado los cálculos en función de la concentración del anión Cl en las aguas subterráneas y en las aguas de precipitación, siendo el resultado de 264.45 mm/año. La Reserva Total del Acuífero (Qap) calculada en función a la porosidad efectiva media ($m_c=5.49\%$), es de 17.08 Hm^3 , sin embargo, el volumen saturado de agua determinado por la gradiente hidráulica, nos da la reserva comprobada del acuífero (Qnf) de 15.12 Hm^3 .

Por otro lado, se ha calculado el tiempo de recarga TR en 27.90 años que viene a ser el tiempo en el cual se puede almacenar el agua por medio de la infiltración (natural) en el acuífero. También da el valor del tiempo en el cual se puede descargar toda la cantidad de agua almacenada actualmente en la masa rocosa. Esto implica que la recarga total del acuífero Pillao sobre la cota 3500 tardará un tiempo de 27.90 años; y estos volúmenes pertenecen a las reservas permanentes y son el objetivo del proyecto de explotación. Sin embargo, el caudal de descarga Q medido de 8,5 l/s en los manantiales y al final de la quebrada, indica un gasto actual al año de $Q=0.27 \text{ Hm}^3/\text{año}$. En consecuencia, las descargas naturales, que vienen a constituir las reservas regulables del acuífero, son pequeñas si se considera el volumen de las reservas permanentes del acuífero.

Por otro lado, la parte de influencia del acuífero a ser explotado por la galería Pillao, tiene una descarga de solo 3.5 l/s ó $0.11 \text{ Hm}^3/\text{año}$. Además, realizando un análisis de los gastos actuales para la galería Pillao, es decir el caudal de descarga actual de $0.11 \text{ Hm}^3/\text{año}$, mas los gastos que se van a realizar durante la explotación de la galería y que ha sido calculada en 11.5 l/s ó $0.36 \text{ Hm}^3/\text{año}$, estos nos indican un Gasto Total Proyectado de $0.47 \text{ Hm}^3/\text{año}$ que es menor a la Recarga anual (Ra) de Pillao que es $0.54 \text{ Hm}^3/\text{año}$.

En conclusión, el gasto actual más el gasto proyectado de la galería presenta valores inferiores a los de recarga de los acuíferos, por consiguiente no se corre el riesgo de sobreexplotar los acuíferos, manteniendo en forma constante las reservas. Pero aun así, se ha planificado y ejecutado la recarga del acuífero mediante la construcción de zanjas de infiltración que vienen ya viene funcionando, es decir captando más agua de lluvias para los acuíferos que empezarán a ser explotados brevemente.

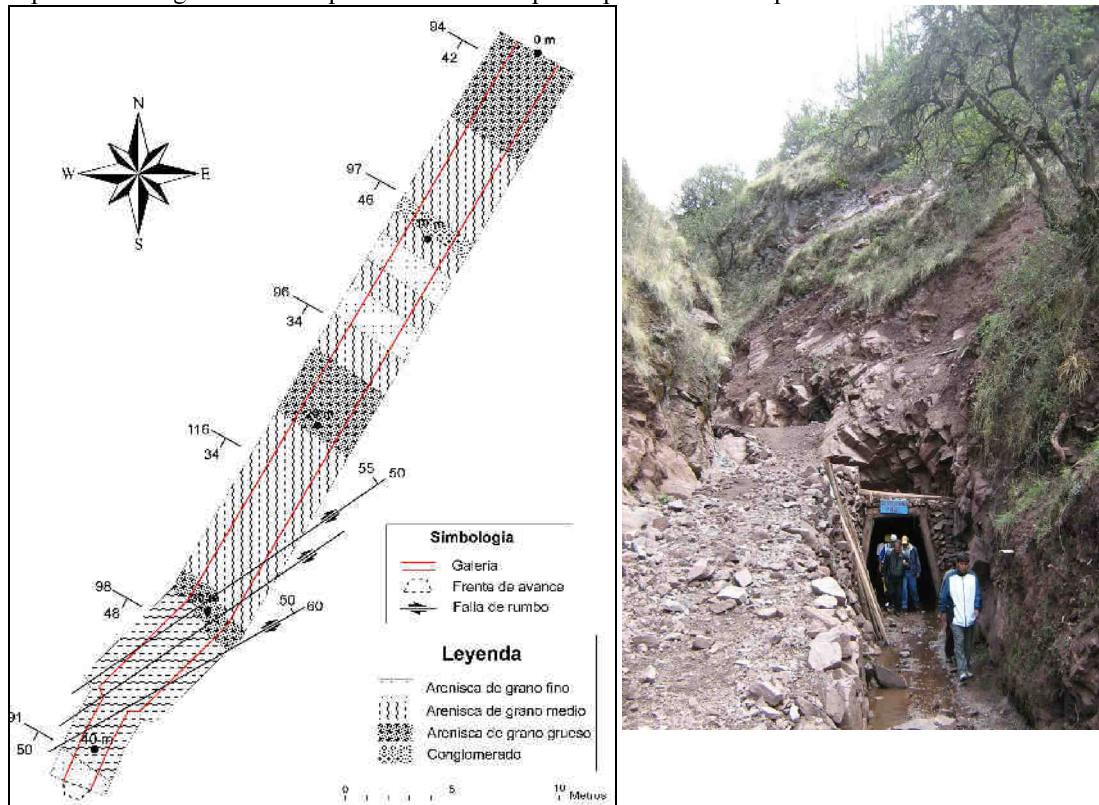


Fig. 5. Mapa geológico y foto de la galería filtrante hasta el 30/05/08.

CONCLUSIONES Y ESTADO ACTUAL DE LA GALERÍA

Las características geológicas, estructurales, hidrogeológicas, geomorfológicas y topográficas, más los estudios de geofísica han permitido diseñar la ubicación y dirección de la galería Pillao que permitirá extraer agua del acuífero fisurado Kayra. El portal de la galería se sitúa en las coordenadas UTM 8°49'413N y 184,490E, a una altura de 3470 msnm. La galería tiene una dirección N210° y una longitud

de 150 m, para poder producir 11.50 l/s. La sección de la galería es de 2m x 2m con una pendiente a favor del drenaje de 0.5 %.

El año 2007 la municipalidad distrital de San Jerónimo tomó el proyecto e inició la obra logrando construir sólo 37 m de la galería la que fue paralizada por problemas administrativos y técnicos. Este año 2008, a fines del mes de mayo, la obra ha sido transferida al Centro Guamán Poma de Ayala para poder culminarla. Al momento de escribir este artículo la galería tiene una longitud de 42 m.

Como se ve en la figura 5, los primeros 37 m de la galería han sido construidos en la dirección N225° no habiendo seguido la orientación proyectada debido a la falta de control. Ahora se está retomando la dirección original del proyecto es decir N210° para llegar al objetivo planteado. Al inicio, la galería ha cortado principalmente areniscas de grano grueso y medio y una capa de conglomerados a los 10 m. A los 30 m se han interceptado unas fallas transcurrentes de orientación NE-SO, dextrales y de pequeño desplazamiento. Las fracturas predominantes medidas en la galería tienen orientación NE-SO y en menor proporción NO-SE (Fig. 6). A partir de los 35 m la roca muestra bastante humedad y goteo de agua por algunas fracturas, indicando la cercanía al acuífero (Fig. 6).

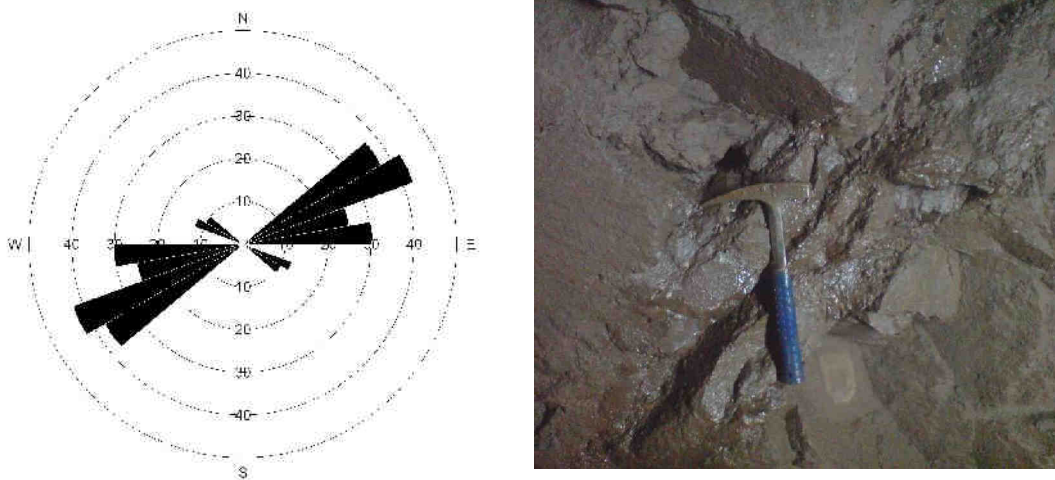


Fig. 6. Diagramas de fracturas en el frente de la galería y foto mostrando fuerte humedad principalmente en la roca fracturada.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Municipalidad Distrital de San Jerónimo-Cusco y al Centro Guamán Poma de Ayala por permitir publicar los resultados de este proyecto. Asimismo aclaramos que muchos de los autores que participamos en el proyecto el año 2001, ahora estamos trabajando en otras instituciones, lo cual no significa la participación institucional actual en el tema motivo de esta publicación.

REFERENCIAS

Poma de Ayala, G. 2001. Proyecto: Construcción de las Galerías Filtrantes de Matao y Pillao. Centro Guaman Poma de Ayala, Cusco, p. 54.