

PIEZOMETRÍA Y DIRECCIÓN DE FLUJO SUBTERRÁNEO EN LA ESTACIÓN MACHU PICHU – ANTÁRTIDA

Wai Long Ng Cutipa¹, Luis Cerpa Cornejo¹ & Fluquer Peña Laureano¹

(1) INGEMMET, Av. Canadá 1470 San Borja, Lima; wng@ingemmet.gob.pe, lcerpa@ingemmet.gob.pe & fpena@ingemmet.gob.pe

INTRODUCCIÓN

El verano del 2014, el INGEMMET, formó parte de la expedición ANTAR XXII, con dirección a la Estación Científica Antártica Machu Picchu (ECAMP) - Isla Rey Jorge, Antártida, con el objetivo de formar parte de las investigaciones científicas programadas por el estado peruano. En esta expedición se realizaron trabajos preliminares de hidrogeología, con el objetivo de conocer las características y funcionamiento de los acuíferos que albergan al agua subterránea.

En regiones subpolares y polares, el agua subterránea puede congelarse total o parcialmente de manera estacional, siendo la capa activa el *suprapermafrost* y de manera permanente en el *intrapermafrost*. En el presente estudio se evalúa la existencia del recurso hídrico subterráneo y las características hidroestratigráficas del *suprapermafrost*, además del movimiento y dirección del agua en el subsuelo antártico. El reto futuro consiste en garantizar el abastecimiento de agua de calidad para consumo humano que abastezca la construcción de una estación científica permanente para el uso de científicos, investigadores y visitantes.

METODOLOGÍA

Para caracterizar el acuífero, conocer al movimiento y dirección del agua subterránea en la Antártida, se realizó 8 sondeos de exploración hidrogeológica y se instalaron 06 piezómetros. Los sondeos de exploración hidrogeológica se distribuyeron en la denominada “zona inundable” en los alrededores del ECAMP. Para ello, se utilizó un equipo de perforación manual Auger, marca AMS, con diámetro de perforación 3¼” y capacidad de penetración de 4 m de profundidad. Adicionalmente se realizó la descripción geotécnica de cada sondeo. En 6 de estos 8 sondeos de exploración (en PZ-03, PZ-04, PZ-05, PZ-06, PZ-07 y PZ-08) se instalaron un piezómetro de 4” de diámetro, cribado en la parte inferior para el libre tránsito del agua subterránea; donde se monitorea el nivel piezométrico y se colectaron muestras de agua para análisis en el laboratorio. De los 6 piezómetros, sólo se obtuvo el registro de variación de nivel de agua subterránea en 5 piezómetros, debido a que el PZ-08 se instaló en la etapa final de los trabajos de campo. Para realizar la medición del nivel piezométrico, se empleó un flexómetro de 5 m, realizando el monitoreo de las lecturas 2 veces por día. Con estos trabajos se pudo conocer la piezometría y determinar el movimiento y dirección de flujo del agua subterránea en la Antártida.

GEOLOGÍA LOCAL

La Estación Científica Machu Picchu (ECAMP) presenta afloramientos de rocas Cenozoicas y Pliocenas-Holocenas (Palacios, 1989). El basamento está conformado por una sucesión de rocas volcánicas y volcanoclásticas de naturaleza andesítica-dacítica de edad Eocena (Birkenmajer, 1980, 1989). Estas rocas son intruídas por diques, sills y un stock de naturaleza granítica-granodiorítica-monzonítica (Quispesivana, 1995). En los alrededores de la Estación (figura 1) la morfología está dominada por depósitos de origen glaciar, aluvial y marino. Hacia el Sur, con rumbo E-W se encuentran depósitos de morrenas, compuesto por gravas con clastos subangulosos y angulosos mal clasificados y con escasa presencia de matriz. Erosionando las morrenas se presentan dos sistemas de abanicos aluviales, los cuales litológicamente se caracterizan por la presencia de gravas regularmente clasificadas y con esporádica matriz, hacia la cabecera, cambia conforme se va interdigitando con los depósitos de llanura de inundación. Los depósitos de llanura de inundación son producto de una sedimentación de material fino (arcillas, limos y arenas finas) y corresponden al emplazamiento temporal de cuerpos de agua. Hacia el oeste se desarrolla un sistema fluvial con sus respectivos depósitos aluviales-fluviales y fluviales, los cuales consisten en intercalaciones de arenas y gravas regularmente clasificadas, con matriz limo-arcillosa y arenosa.

Finalmente en la parte norte se presentan las Terrazas Marinas, donde se pudieron distinguir 5 unidades constituidas por gravas arenosas de clastos subredondeados a redondeados, rara vez angulosos, poco cohesionadas, intercaladas de gravas gruesas y algunas capas de arenas.

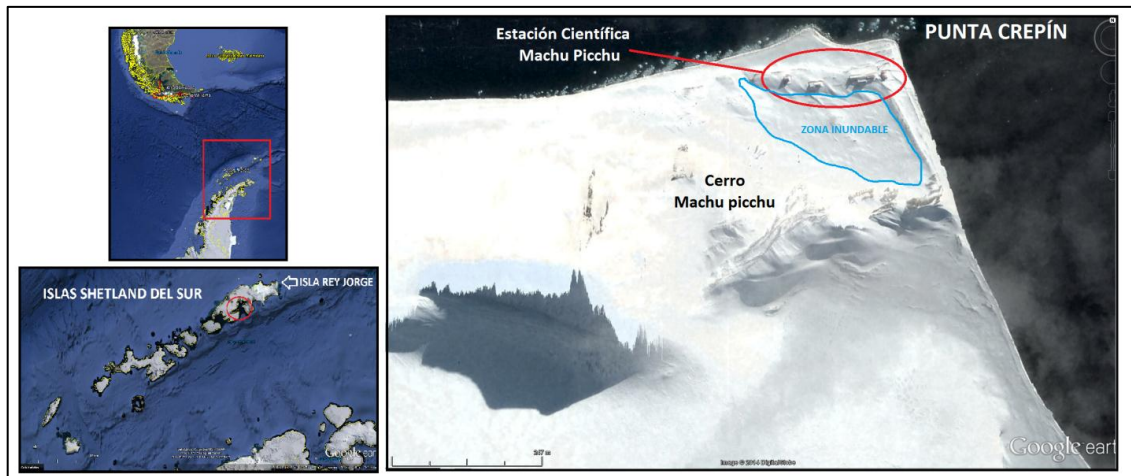


Figura 1 Ubicación de la Estación Científica Antártica Machu Picchu – ECAMP.

ANÁLISIS DE RESULTADOS: PIEZOMETRÍA

El nivel piezométrico varía con la tendencia al tiempo, esta evidencia se observó por la presencia de una explotación constante de agua subterránea a través de pozos rústicos y someros, excavados manualmente o con maquinaria menor, en el último tramo del acuífero (la parte fluvial o desembocadura de la escorrentía temporal al noroeste del ECAMP). La extracción en este punto se realiza con una electrobomba de 2 hp de potencia, que suministra de agua a 2 tanques elevados de 55 galones de capacidad cada uno, los cuales actualmente sirven para el suministro de todos los servicios domésticos de la estación, sin incluir el consumo humano.

En los sondeos realizados, los niveles piezométricos tiene tendencias descendentes de 0.41 m (en PZ-05) a 1.40 m de profundidad (en PZ-01), a medida que avanzan los días continuó el descenso hasta colgarse. Además se encontró el nivel piezométrico a 2.57 m de profundidad en la calicata CAL-07, por lo que se decidió instalar el piezómetro PZ-08.

Los datos de variación piezométrica se muestran en la figura 2, los valores iniciales de cada piezómetro corresponden al nivel de agua subterránea encontrada al momento de la perforación, las variaciones ascendentes iniciales, enmarcadas en líneas entrecortadas de color negro, corresponden al ascenso del agua en el interior del piezómetro, por el cierre del mismo. El descenso en PZ-05 del día 04-02-14 y en PZ-03 del día 04-02-14, enmarcados en línea entrecortada roja, se debe a la obturación de los piezómetros por la acumulación de materiales finos, como arena fina y arcilla; al limpiar los piezómetros, retomaron los niveles correspondientes. Así mismo, las variaciones del PZ-04 son mínimas o más uniformes durante el periodo de colecta de datos.

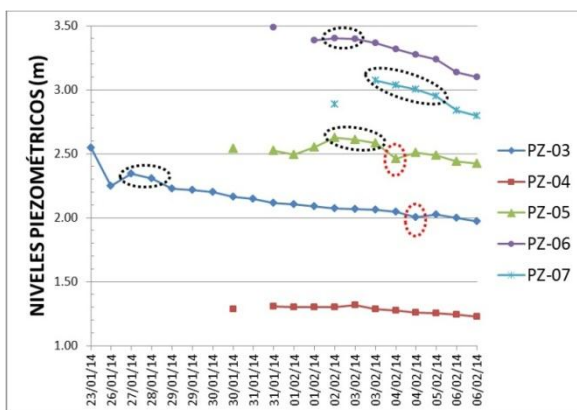


Figura 2 Variación de niveles piezométricos en PZ-03, PZ-04, PZ-05, PZ-06 y PZ-07.

Para realizar un análisis más detallado sobre la variación de los niveles de agua subterránea, se elaboraron 5 diagramas de mayor detalle (figura 3) y una breve descripción correspondiente a cada piezómetro.

Para el PZ-03 (figura 3), luego de la instalación del piezómetro (26-01-14), se provocó una elevación de 0.10 m de columna de agua en el interior del piezómetro, y le tomó alrededor de 2 días recuperar el nivel piezométrico natural. Posteriormente, esta curva mantiene tendencia de descenso que va de 0.01 a 0.06 m por día, hasta el último día de recolección de datos (15 días).

Para el PZ-04 (en detalle en la figura 3), los datos

recolectados hasta el día 02-02-14 (4 días) corresponden a niveles dinámicos a causa de bombeos de extracción de agua subterránea (hasta 4 oportunidades), antes de culminar con la instalación del piezómetro. El ascenso del día 03-02-14 se debe al ascenso de columna de agua por la instalación del piezómetro. Así mismo se puede observar que en los primeros 04 días de mediciones, el nivel de agua se encontraba siempre superior al nivel inicial incluso bajo efectos de extracción de agua por bombeo en el mismo piezómetro, lo cual interpretamos que en este sector el acuífero pueda encontrarse semiconfinado. La variación de los descensos diarios para PZ-04, fue de 0.02 a 0.04 m.

En el PZ-05, se observó un ligero ascenso de 0.05 m al momento de encontrar el nivel piezométrico, lo que evidencia un cierto confinamiento en este sector. Los valores registrados (figura 3) evidencian poca variabilidad, los datos registrados del día 31-01-14 al 01-02-14 (2 días) reflejan distintos niveles en régimen dinámico del piezómetro, provocado por la extracción momentánea. En el primer bombeo durante un minuto aproximadamente se colectó cerca de 25 litros. El ascenso del día 02-02-14 se debió a la instalación del piezómetro, tomándose 4 días en tratar de recuperar su nivel de forma natural. La baja en la curva correspondiente al día 04-02-14 durante la mañana, corresponde a que el piezómetro se encontraba obstruido de arena y arcilla, lo que produjo un ligero taponeo. Al limpiarlo y en las siguientes minutos recuperó su nivel en +12cm (nivel piezométrico a 2.5822 m), que no se pudo visualizar en el gráfico, pero que estaría acorde a la tendencia de disminución. El descenso registrado fue de 0.063 m para el último día en este piezómetro. Como se puede apreciar, para esta curva la tendencia de disminución de nivel de agua subterránea se encuentra por encima del punto inicial con respecto al tiempo, lo que comprueba el ligero descenso en condición hidráulica semiconfinada.

Para el PZ-06 (figura 3), se observa un ligero incremento del nivel piezométrico a más de 0.02 m durante el día 02-02-14 y la mañana del 03-02-14, producto de la instalación del piezómetro. El nivel de agua subterránea retornó a su nivel normal en 2 días, en adelante, los descensos registrados corresponden de 0.02 a 0.10 m por día. Para el PZ-07 (figura 3), la curva muestra un incremento de hasta 0.12 m con respecto al nivel de agua registrado en la exploración, corresponde a la instalación del piezómetro y la ruptura de la presión de poro. Posteriormente se recolectó sólo datos del último día de trabajo de campo, mostrando un descenso de 0.04 m en 13 horas para el día 06-02-14.

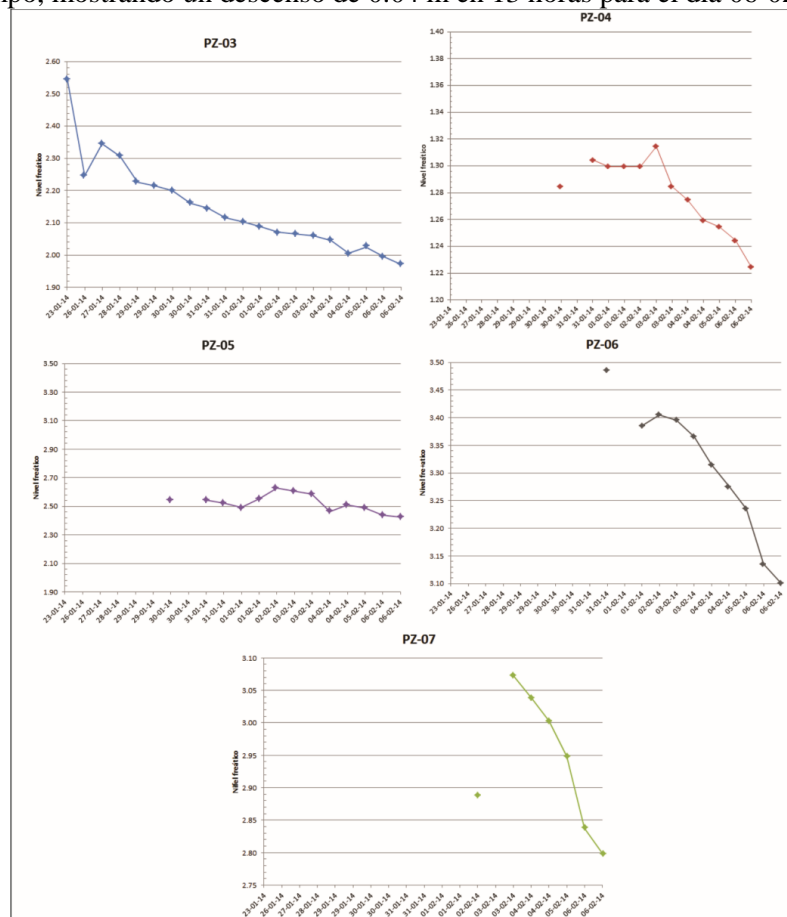


Figura 3 Variación de niveles piezométricos.

De manera general, durante el monitoreo de niveles piezométricos, se observó que la variación del descenso de niveles de agua subterránea fue de 0.01 hasta 0.10 m por día, y hasta unos 0.55 m desde el momento de la apertura del piezómetro hasta el último día de monitoreo.

Con los datos de piezometría de los últimos 3 días (04, 05 y 06 de febrero del 2014) de PZ-03, PZ-04, PZ-05, PZ-06, PZ-07 y el pozo, se elaboró un mapa piezométrico con líneas equipotenciales interpoladas para determinar la dirección de flujo de agua subterránea. El mapa piezométrico y los trabajos de campo permitieron definir la dirección y el movimiento de agua subterránea en los alrededores de la ECAMP-Antártida. La dirección preferencial del movimiento de agua subterránea es de sur a norte (figura 4).

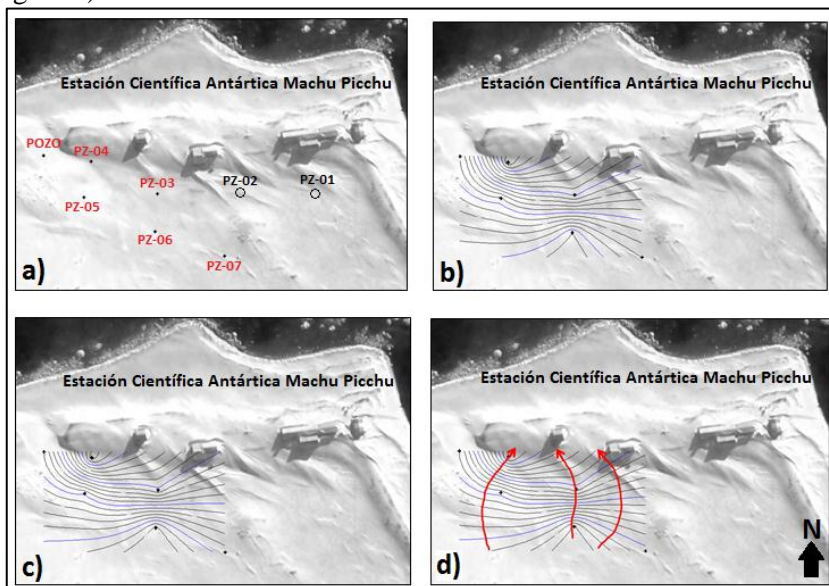


Figura 4. Modelo piezométrico. a) Ubicación de piezómetros y pozo, b) líneas equipotenciales del día 04-02-12, c) líneas equipotenciales del día 05-02-12, d) líneas equipotenciales del día 06-02-12 y dirección del flujo de agua subterránea (NOTA: La cobertura de nieve y la imagen satelital, corresponde a otro periodo).

CONCLUSIONES

- En el subsuelo de la Estación Machu Picchu, existe agua subterránea almacenada por la fundición de la nieve en superficie, por la fundición de la capa activa del suprapermafrost y con pequeños aportes por la fundición lateral del glaciar Lange.
- El agua subterránea se encuentra en un acuífero del tipo poroso no consolidado, que está conformado principalmente por materiales glaciares y aluviales, interdigitados entre sí, que permiten el movimiento de las aguas subterráneas. El acuífero en general es del tipo libre, aunque hacia el oeste se encuentra ligeramente semiconfinado.
- La exploración hidrogeológica a través de perforaciones manuales e instalación de piezómetros, ayudó a conocer la composición litológica del acuífero, mientras que la variación piezométrica y las direcciones de flujo de agua subterránea se determinó a través de mediciones diarias.
- La dirección del flujo de agua subterránea, tiene dirección preferencial de sur a norte.
- Los descensos del nivel piezométrico en el acuífero, se deben principalmente a la explotación de agua subterránea mediante un pozo rústico, que abastece a la Estación Científica Antártica Machu Picchu.

REFERENCIAS

1. Birkenmajer, K. (1980) Geology of Admiralty Bay, King George Island (South Shetland Islands – An outline). Polish Polar Research, 1 1:29-54.
2. Birkenmajer, K. (1989) A guide to Tertiary geochronology of King George Island, West Antarctica. Polish Polar Research, 10 4:555-579.
3. Guzmán, A. (1999) “Características Ingeniero geológicas de los suelos de la fundación de la Estación Machu Picchu y abastecimiento de agua a sus instalaciones”, INGEMMET, Informe técnico A6173.
4. Fidel, L. (1991) “Investigaciones ingeniero geológicas en la estación peruana Machu Picchu (Isla Rey Jorge – Antártida)”, INGEMMET, Informe técnico A4543.
5. Palacios, O. (1989) Geología de Punta Crepín (Isla Rey Jorge – Antártida). Expedición Antar III. Programa de Geología. Informe Interno INGEMMET.