

Caracterización de dos grupos de manantiales en el río Diguillín, Chile

• José Luis Arumí* •

Universidad de Concepción, Chile

*Autor de correspondencia

• Ricardo Oyarzún •

Universidad de La Serena, Chile

• Enrique Muñoz •

Universidad Católica de la Santísima Concepción, Chile

• Diego Rivera •

Universidad de Concepción, Chile

• Evelyn Aguirre •

Comisión Chilena de Energía Nuclear

Resumen

Arumí, J. L., Oyarzún, R., Muñoz, E., Rivera, D., & Aguirre, E. (noviembre-diciembre, 2014). Caracterización de dos grupos de manantiales en el río Diguillín, Chile. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 5(6), 151-158.

La disponibilidad de agua en zonas de clima mediterráneo alcanza niveles críticos durante la temporada estival, que se caracteriza por escasez de precipitaciones y alta demanda de agua, por lo que el caudal base de los ríos es principalmente generado por deshielo o por la liberación de aguas subterránea. Este artículo presenta la caracterización de dos grupos de manantiales que producen el caudal base en la parte alta de río Diguillín, ubicado en la Cordillera Andina de la Región del Biobío, Chile (36.9° S). Un grupo está ubicado en la cabecera del río, en el Valle de Aguas Calientes, y el otro está ubicado en un sector denominado Agua Bonita. Se caracterizaron ambos grupos de manantiales, identificando los sistemas hidrogeológicos que drenan y el origen de la recarga de agua, considerando para ello información geológica y geomorfológica del lugar, así como las características químicas e isotópicas de muestras de aguas de ríos, manantiales y de precipitación. Los manantiales del Valle de Aguas Calientes aportan aproximadamente 2.5 m³/s desde un sistema acuífero ubicado al interior del Volcán Chillán; los manantiales de Agua Bonita aportan unos 4.5 m³/s desde un sistema de rocas fracturadas recargado por filtraciones de aguas lluvia en el valle del estero Renegado.

Palabras clave: hidrología de montañas, aguas subterráneas, manantiales, acuífero rocas fracturadas, volcanes.

Abstract

Arumí, J. L., Oyarzún, R., Muñoz, E., Rivera, D., & Aguirre, E. (November-December, 2014). Characterization of Two Spring Clusters at the Diguillín River, Chile. *Water Technology and Sciences (in Spanish)*, 5(6), 151-158.

Water availability at Mediterranean climatic zones reaches critical levels during the dry season that is characterized by low rainfall, high water demand and that streamflow is mostly generated by snowmelt and groundwater liberation. This article presents the characterization of two groups of springs that produce most of streamflow at the upper part of the Diguillín River watershed, located at the Andean Mountains of the Region of the Biobío in Chile (36.9° S). A group is located at the headwaters of the river, in the Valle de Aguas Calientes and the second is located in a sector named Agua Bonita. For both groups of springs were characterized the hydrogeological systems that drain and the origin of water recharges, taking into account geological and geomorphological information, as well as hydrochemistry and water isotope data of water samples taken from river, springs and precipitation. The springs of the Valle de Aguas Calientes contribute with approximately 2.5 m³/s from an aquifer system located to the interior of the Volcano Chillan; the springs of Agua Bonita contribute approximately with 4.5 m³/s from a fractured rocks aquifer.

Keywords: Mountain hydrology, groundwater, springs, fractured rocks aquifers, volcanoes.

Recibido: 17/01/14

Aceptado: 19/06/14

Introducción

En cuencas ubicadas en zonas de clima mediterráneo, la disponibilidad de agua es una limitante para el desarrollo sustentable que requiere agua de riego, bebida, usos industriales y el mantenimiento de los ecosistemas. La disponibilidad de agua durante los meses de estiaje está controlada por el tipo y dinámica de los procesos hidrológicos que generan el flujo base. Si bien es cierto que en cuencas con predominio de nieves o glaciares el flujo base es principalmente producido por derretimiento de dichas fuentes, existen muchos casos donde depende de la liberación de aguas subterráneas a través de diferentes tipos de manantiales (Távora-Espinoza & Sanz, 2010).

Gran parte de la investigación hidrológica en sistemas de montañas se ha centrado en la dinámica de nieve y glaciares, prestándose menos atención a los procesos de aguas subterráneas que alimentan a los manantiales responsables de mantener el flujo base (Viviroli *et al.*, 2011). Sin embargo, los procesos de almacenamiento y liberación de aguas subterráneas pueden ser muy importantes en cuencas de montaña donde existen sistemas de rocas fracturadas o complejos sistemas

volcánicos (Manga, 1996; Peiffer *et al.*, 2011; Gmati, Tase, Tsujimura, & Tosaki, 2011; Andermann *et al.*, 2012; Muñoz-Villers & McDonnell, 2012).

Este artículo presenta los resultados de una investigación prospectiva que se realizó en el río Diguillín, que nace en la ladera sur del volcán Chillán, a una latitud de 36.9° sur, en la región del Biobío, ubicada en la zona Central de Chile (figuras 1a y 1b). El objetivo de esta investigación fue caracterizar los dos grandes sistemas de manantiales que aportan el flujo base que dicho río recibe durante los meses de estiaje: uno ubicado en la cabecera del río, en el Valle de Aguas Calientes, y el otro ubicado en un sector llamado Agua Bonita, que está aguas abajo de la confluencia del estero Renegado con el río Alto Diguillín (figura 1c).

Métodos

En primer lugar, se realizaron entrevistas a actores locales, como regantes, lugareños, andinistas y pescadores deportivos, a fin de determinar la ubicación de manantiales en el río Diguillín. Por otro lado, se analizó la información geológica disponible (Dixon *et al.*, 1999; Naranjo, Gilbert, & Sparks, 2008), que

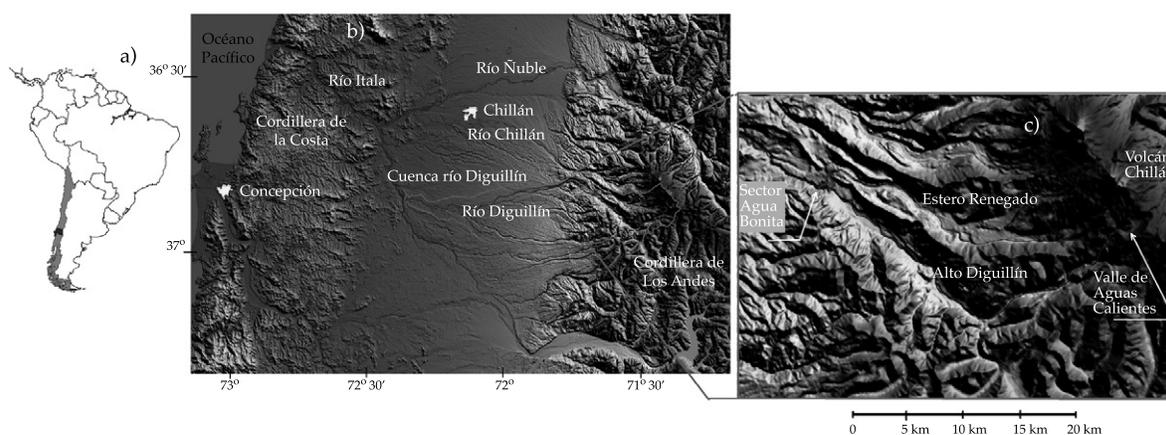


Figura 1. a) Ubicación de la cuenca del río Diguillín en Chile; b) ubicación en la región del Biobío, mostrando las ciudades principales de Concepción, Chillán y Los Ángeles; c) ubicación del estero Renegado y Alto Diguillín, junto con el sector de Agua Bonita, el Valle de Aguas Calientes y el Volcán Chillán.

explica la marcada influencia de los procesos volcánicos asociados con el Complejo Termas de Chillán sobre la configuración geomorfológica de la cuenca.

Posteriormente se realizaron recorridos que permitieron ubicar y verificar las agrupaciones de manantiales, las cuales fueron referenciadas, fotografiadas y donde se tomaron muestras de agua (sectores Valle de Aguas Calientes y Agua Bonita, en las nacientes del río Diguillín y en el río Diguillín después de confluencia con el estero Renegado, respectivamente). Estas muestras se llevaron el mismo día de su obtención al Laboratorio de Análisis de Suelos y Plantas de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Concepción para su análisis químico y enviadas para el análisis de isótopos ambientales estables (^{18}O y ^2H) a la Comisión Chilena de Energía Nuclear. Estudios recientes muestran la utilidad de este tipo de enfoques (integración de información geológica y uso de trazadores ambientales) para la caracterización de los patrones de flujos, inherentemente complejos en acuíferos volcánicos/sistemas de rocas fracturadas (p. ej., Mulligan, Ryan, & Padilla, 2011; Parisi *et al.*, 2011).

Los análisis químicos incluyeron cationes y aniones mayores (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-}) y nutrientes (NO_3^- , PO_4^{3-}). Las técnicas analíticas fueron espectrofotómetro de absorción atómica (para los cationes) y, para los aniones, los métodos argentométrico (Cl^-), turbidimétrico (SO_4^{2-}) y potenciometría (HCO_3^-). En el caso de los análisis isotópicos, éstos fueron llevados a cabo a través de espectroscopía de absorción láser, con un equipo del tipo "liquid water stable isotope analyzer" (Los Gatos Research, CA, USA); los resultados se expresan en la forma tradicional (δ , ‰).

Junto con las muestras de manantiales, durante las campañas de terreno se tomaron muestras de agua en el estero Renegado y en el río Diguillín (antes y después de confluencia), las cuales se analizaron química e isotópicamente de forma similar a lo descrito antes. Además, se instalaron colectores de aguas de lluvia en

las localidades de Las Trancas (1 250 msnm), Chacay (800 msnm) y Chillán (130 msnm), para poder determinar una línea meteórica local, considerando en forma ponderada las precipitaciones registradas. Estas muestras fueron obtenidas en general de forma más o menos inmediata después de cada evento de precipitación.

Resultados y discusión

Los caudales de estiaje del río Diguillín se originan principalmente en los dos grandes grupos de manantiales estudiados, que en conjunto aportan un caudal cercano a los 7 m^3/s al río Diguillín, logrando así que este río presente caudales mínimos estables, incluso durante los años de mayor déficit de precipitaciones.

Grupo de manantiales Valle de Aguas Calientes

El complejo volcánico Nevados de Chillán posee muchos manantiales fríos y termales distribuidos a lo largo de su perímetro (Naranjo *et al.*, 2008), por lo que posible suponer que el material que forma la estructura volcánica permite la existencia de un acuífero que recibe recarga por infiltración de aguas lluvias y derretimiento de nieve, y que está en contacto con la cámara magmática del volcán, lo que calienta el agua, produciendo vapor que escapa por fallas geológicas, produciendo los manantiales de agua caliente y las fumarolas que existen alrededor del volcán. Esto es similar a los sistemas descritos por Gmati *et al.* (2011) y Peiffer *et al.* (2011), y se esquematiza en la figura 2a.

En el valle de Aguas Calientes se concentra la descarga del acuífero existente en la zona del volcán Chillán, donde el valle se ve afectado por una falla geológica que tiene una orientación este-oeste. Esta zona tiene una superficie de 90 hectáreas, se ubica a una elevación de 2 100 msnm (figura 2b) y ahí existe un número considerable de manantiales de agua caliente

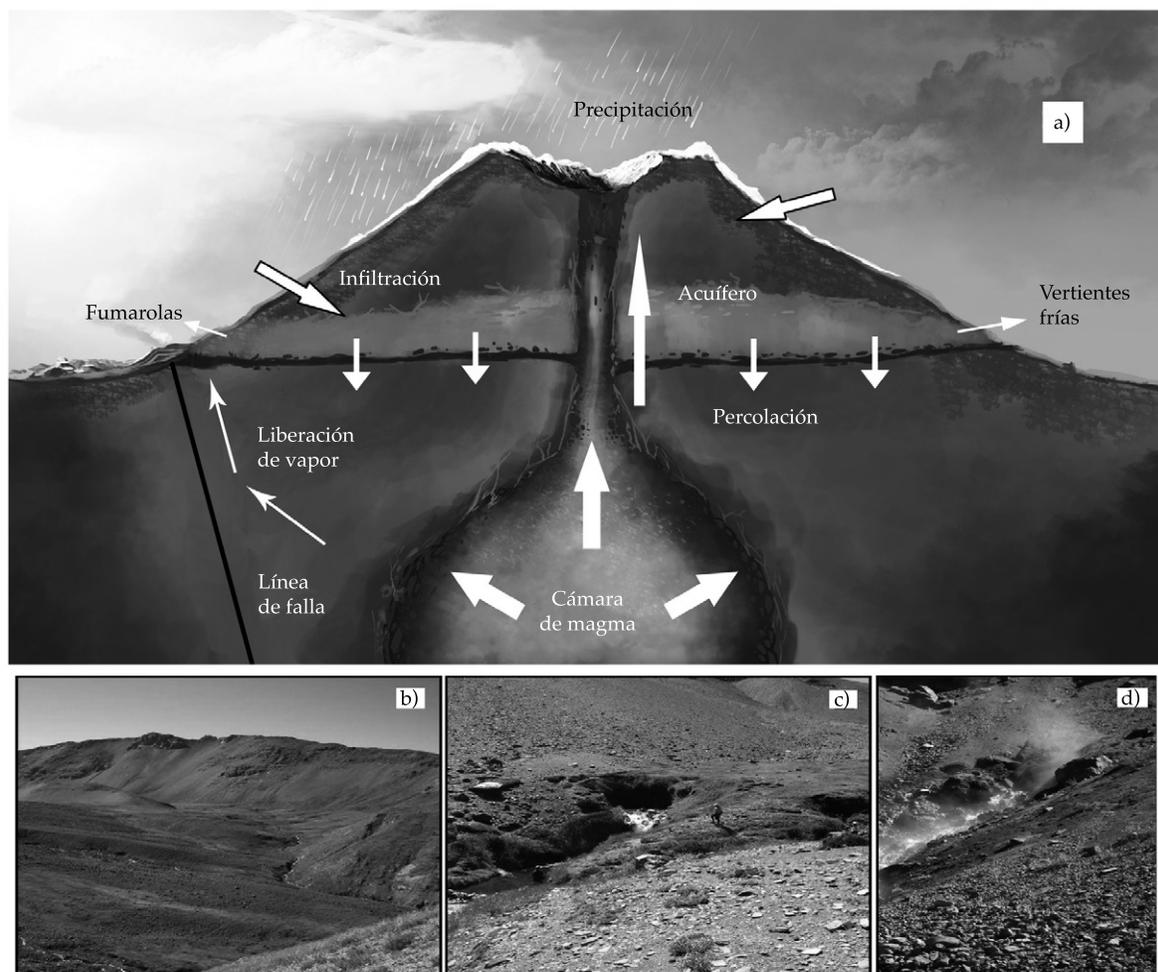


Figura 2. a) Esquema conceptual del probable sistema acuífero existente en el volcán Chillán (adaptado de Peiffer *et al.*, 2011); b) vista general del Valle de Aguas Calientes; c) vertiente de aguas calientes donde nace el río Diguillín en una vertiente termal; d) vertiente de aguas calientes en la parte media del valle.

y fría que alimentan el río Diguillín, que a la salida del valle alcanza un caudal medio durante estiaje de $2.5 \text{ m}^3/\text{s}$ (HydroChile, 2009). En el valle destacan dos grandes manantiales: la vertiente principal, donde nace el río Diguillín (figura 2c), que se encuentra a 2 160 msnm y su agua alcanza los $45 \text{ }^\circ\text{C}$; la segunda vertiente importante está a 2 180 msnm (figura 2d) y sus aguas tienen una temperatura de $65 \text{ }^\circ\text{C}$.

Grupo de manantiales, sector de Agua Bonita

Durante el otoño de 2012 se realizó un recorrido del río Diguillín, logrando identificar un grupo de manantiales en un tramo de dos kilómetros, en un sector localmente conocido como Agua Bonita (figura 1c). Los manantiales pertenecientes a este grupo corresponden a descargas de agua desde rocas fracturadas

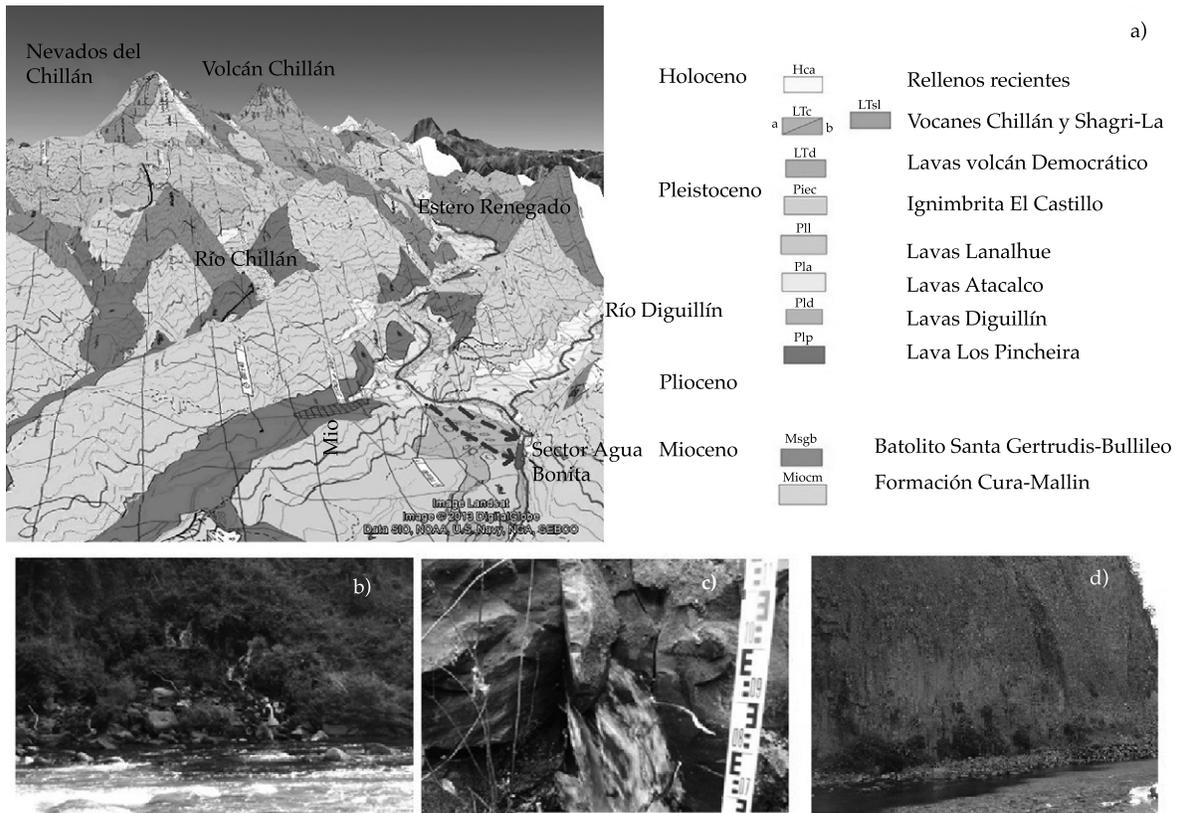


Figura 3. a) Geología de la parte alta de la cuenca del río Diguillín, adaptada digitalizando la carta de Naranjo *et al.* (2008) y superponiéndola sobre la plataforma *Google Earth*, donde las líneas segmentadas representan el probable flujo de agua subterránea por el medio fracturado; b) vertiente que descarga al río Diguillín; c) descarga desde rocas fracturadas; d) los manantiales se concentran en la base de un risco ubicado en la ribera norte del río Diguillín.

que están distribuidas en la ribera norte del río Diguillín (figuras 3a y 3b) y que se ubican en la base de una pared de 100 metros de altura (figura 3c). Como es impracticable medir el caudal de cada vertiente, a fines de marzo de 2012 y principios de abril de 2013 se hicieron campañas de aforos en el tramo del río Diguillín aguas arriba y abajo del sector de Agua Bonita. El caudal medido aguas arriba fue de 2.5 m³/s y aguas abajo se midió un caudal de 7.0 m³/s, lo que implica que los manantiales aportan 4.5 m³/s al río.

El origen del sistema de rocas fracturadas se debe a los procesos geológicos que generaron el valle del estero Renegado, asociados con

una serie de flujos de lava producidos por el volcán Chillán. El primer flujo de lava (lavas Pincheira) cortó su paso por una gran formación glacial existente hace 600 000 años, formando las paredes características que cierran el valle y abriéndose al final del glaciar, para generar una serie de colinas que actuaron como barrera para los posteriores flujos de lava. Estos flujos bajaron por el valle y fueron forzados a desviarse hacia el sur al río Diguillín (figura 3d). La existencia de los manantiales de rocas fracturada se debe a los procesos de enfriamiento que sufrieron las lavas al enfrentar tanto restos del glaciar como lagos pos glaciares (Naranjo *et al.*, 2008). Los suelos predominantes

en el valle del estero Renegado son arenosos y, por lo tanto, poseen altas tasas de infiltración, lo cual favorece la recarga al sistema de aguas subterránea, formado por las rocas fracturadas, que alimenta a los manantiales ubicadas en el sector de Agua Bonita.

Análisis químicos e isotópicos

Se analizó la información química e isotópica de las muestras obtenidas usando métodos gráficos. La figura 4a corresponde a diagramas de Piper, que representan la composición predominante de las aguas de los manantiales y de los cauces estudiados; mientras que las aguas de la zona del estero Renegado y del río Diguillín antes de su confluencia con el Renegado son más bien del tipo bicarbonatadas-cálcicas o sódicas, las del río Diguillín, después de su confluencia con el Renegado, son del tipo cloruradas-magnésicas. Esto se explicaría por la influencia que tendrían la infiltración y el flujo de agua subterránea desde las zonas altas a través de la zona de las lavas Diguillín y que afloran en el sector de Agua Bonita. Las lavas Diguillín se clasifican como “lavas macizas andesíticas afánicas, de piroxeno (silicato Fe y Mg), escaso olivino y ocasionalmente anfíbola” (Naranjo *et al.*, 2008). En forma complementaria, se advierte que hay una mayor “cercanía” (en términos de la disposición en el diagrama) de las muestras del sector de Renegado con las del río Diguillín después de confluencia, en comparación con las del mismo río antes de juntarse con Renegado, lo que apoyaría la conceptualización del sistema de flujo recién descrito.

Lo anterior se ve reforzado con la información presentada en la figura 4b. Las muestras más empobrecidas (valores más negativos) corresponden a las obtenidas en la zona de Aguas Calientes, lo cual es esperable, al ser la parte más alta de la zona de estudio (y que, por lo tanto, recibe las precipitaciones más empobrecidas isotópicamente). Además, resulta interesante notar el desplazamiento de las muestras hacia la derecha de la recta

meteórica (valores de ^{18}O), algo que es esperable en aguas termales asociadas con zonas de volcanes (Xun, Bin, Haiyan, Juan, & Ying, 2009). Por otro lado, se advierte que las muestras del sector 4 son en general bastante similares a las de los sectores 2 y 3, y no están enriquecidas, lo cual sería de alguna forma esperable asociado con los procesos de evaporación propios de un sistema de flujo superficial (figura 4c). En otras palabras, la mezcla de las aguas del río Diguillín antes de confluencia y del estero Renegado, más el afloramiento (manantiales) de aguas subterráneas recargadas a mayor altura (y, por lo tanto, con señales isotópicas más negativas) explicaría los resultados encontrados. Finalmente, y a modo de complemento, se puede señalar que fue posible determinar una relación señal isotópica (^{18}O)/altura (Z) de $^{18}\text{O} (\text{‰}) = 0.003 Z - 6.38$. Esta relación, junto con ser bastante cercana (especialmente en su pendiente) con aquella descrita por Ohlanders, Rodríguez, & McPhee (2013) para áreas de montaña de la zona central de Chile, permite estimar para los manantiales del sector 4 (Diguillín después de confluencia con estero Renegado) zonas de recarga por sobre los 1 100-1 200 msnm, es decir, bastante por encima de los 600 a 700 msnm del sector de Agua Bonita.

Conclusiones

El caudal de estiaje del río Diguillín está alimentado principalmente por dos grupos de manantiales, que aportan en conjunto un caudal cercano a los 7.0 m³/s. El primer grupo de manantiales se encuentra ubicado en un valle andino conocido como valle de Aguas Calientes, y corresponde a un conjunto de manantiales termales y de agua fría que drenan el acuífero formado por los rellenos que forman el volcán Chillán. El segundo grupo de manantiales corresponde a la descarga de un acuífero formado por un sistema de rocas fracturado, que es recargado por filtraciones de aguas lluvias y deshielo que se producen sobre la cuenca del estero Renegado, y que aportan un total de aproximadamente 4.5 m³/s al río

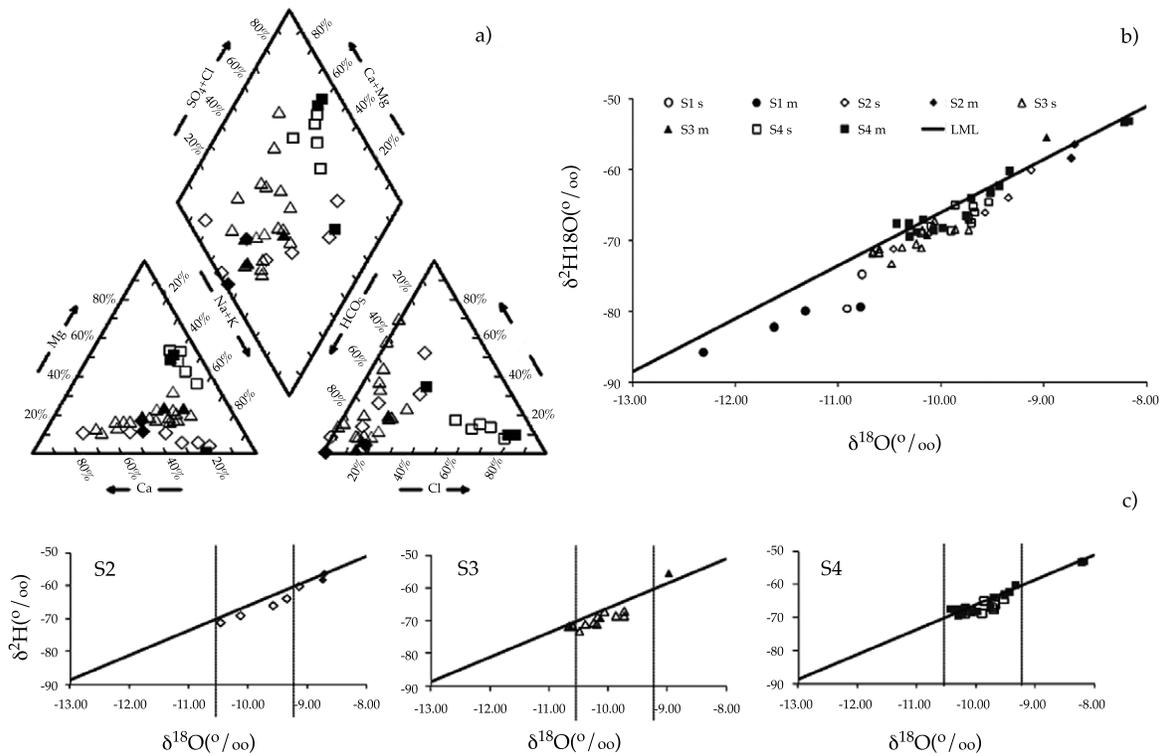


Figura 4a. Diagramas de Piper que muestran la clasificación general de las muestras de agua tomadas en la zona. \diamond : río Diguillín antes de confluencia; Δ : estero renegado; \square : río Diguillín después de confluencia (símbolos en blanco corresponden a aguas superficiales y en gris a vertientes). Figura 4b. Relaciones ^{18}O vs. ^2H en las muestras tomadas tanto en los manantiales (*m*, símbolo gris) como en cauces superficiales (*s*, símbolo blanco) en los sectores de Aguas Calientes (1, círculo); río Diguillín antes de confluencia (2, rombo); estero Renegado (3, triángulo), y río Diguillín después de confluencia (4, cuadrado). Se incluye además la recta meteórica local (LML): $\delta^2\text{H} = 7.5 \delta^{18}\text{O} + 8.9$. Finalmente, la figura 4c presenta separadamente las muestras de los sectores 2, 3 y 4.

Diguillín aguas abajo de su confluencia con el estero Renegado.

El sistema de manantiales de Agua Bonita garantiza el caudal mínimo del río Diguillín; sin embargo, como este sistema drena un acuífero fracturado que es recargado en la zona del estero Renegado, resulta ser altamente sensible al cambio de uso de suelo que ocurre en ese sector. Se requiere continuar esta investigación para determinar los patrones de flujo, ubicar con exactitud las zonas de recarga y descarga, y estimar tiempos de viaje de posibles contaminantes que ingresen al acuífero por vía de la infiltración de los cientos de fosas sépticas existentes en el valle.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a Conicyt por el financiamiento dado a través de los proyectos Fondecyt 1110298 y Conicyt/Fondap/15130015.

Referencias

- Andermann, C., Longuevergne, L., Bonnet, S., Crave, A., Davy, P. & Gloaguen, R. (2012). Impact of Transient Groundwater Storage on the Discharge of Himalayan Rivers. *Nature Geosci.*, 5(2), 127-132, <http://dx.doi.org/10.1038/ngeo1356>.
- Dixon, H., Murphy, J., Sparks, M., Chávez, S., Naranjo, J., Dunkley, J., Young, P., Gilbert, S., & Pringle, J. (1999). The Geology of Nevados de Chillán Volcano, Chile. *Revista Geológica de Chile*, 26(2), 227-253.

- Gmati, S., Tase, N., Tsujimura, M., & Tosaki, Y. (2011). Aquifers Interaction in the Outhwestern Foot of Mt. Fuji, Japan, Examined through Hydrochemistry and Statistical Analyses. *Hydrological Research Letters*, 5(1), 58-63.
- HydroChile (2009). *Estudio de Impacto Ambiental Central Hidroeléctrica Aguas Calientes, Capítulo 5. Línea de base* [en línea]. Providencia, Santiago, Chile, Gestión Ambiental Consultores. Consultado 10 dic. 2013. Recuperado de <http://seia.sea.gob.cl/documentos/documento.php?idDocumento=3695064>.
- Manga, M. (1996). Hydrology of Spring-Dominated Streams in the Oregon Cascades. *Water Resources Research*, 32(8), 2435-2439.
- Mulligan, B. M., Ryan, M. C., & Padilla, T. (2011). Delineating Volcanic Aquifer Recharge Areas Using Geochemical and Isotopic Tools. *Hydrogeology Journal*, 19, 1335-1347.
- Muñoz-Villers, L., & McDonnell, J. (2012). Runoff Generation in a Steep, Tropical Montane Cloud Forest Catchment on Permeable Volcanic Substrate. *Water Resources Research*, 48, doi: 10.1029/2011WR011316.
- Naranjo, J., Gilbert, J., & Sparks, R. (2008). *Geología del complejo volcánico Nevados de Chillán, Región del Biobío* (28 pp.). Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica 114. Santiago, Chile: Servicio Nacional de Geología y Minería.
- Ohlanders, N., Rodríguez, M., & McPhee, J. (2013). Stable Water Isotope Variation in a Central Andean Watershed Dominated by Glacier and Snowmelt. *Hydrology and Earth System Science*, 17, 1035-1050.
- Parisi, S., Pasternoster, M., Kohfahl, C., Pekdeger, A., Meyer, H., Hubberten, H., Spilotro, G., & Mogelli, G. (2011). Groundwater Recharge Areas of a Volcanic Aquifer System Inferred from Hydraulic, Hydrogeochemical and Stable Isotope Data: Mount Vulture, Southern Italy. *Hydrogeology Journal*, 19, 133-153.
- Peiffer, Y., Taran, A., Lounejeva, E., Solís-Pichardo, G., Rouwet, D., & Bernard-Romero, R. (2011). Tracing Thermal Aquifers of El Chichón Volcano-Hydrothermal System (México) with $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, Ca/Sr and REE. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 205(3-4), 55-66.
- Távora-Espinoza, L., & Sanz, E. (2010). Hydrogeology and Hydrodynamic of the Gormaz Springs Aquifer and its Importance to the Base Flow of the Duero River, Spain. *Water Technology and Sciences (in Spanish)*, 1(3), 5-15.
- Xun, Z., Bin, F., Haiyan, Z., Juan, L., & Ying, W. (2009). Isotopes of Deuterium and Oxygen-18 in Thermal Groundwater in China. *Environmental Geology*, 57, 1807-1814.

Dirección institucional de los autores

Dr. José Luis Arumí

Universidad de Concepción
Facultad de Ingeniería Agrícola
Departamento de Recursos Hídricos
Centro CRHIAM
Conicyt/Fondap-15130015
Vicente Méndez 595
Chillán, CHILE
Teléfono: +56 (42) 2208 804
jarumi@udec.cl

Dr. Ricardo Oyarzún

Universidad de la Serena
Facultad de Ingeniería
Departamento Ingeniería de Minas
Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas
Benavente 980, La Serena, CHILE
Teléfono: +56 (51) 2204 378
royarzun@userena.cl

Mto. Enrique Muñoz

Universidad Católica de la Santísima Concepción
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Civil
Alonso de Ribera 2850
Concepción, CHILE
Teléfono: +56 (41) 2345 355
emunozo@ucsc.cl

Dr. Diego Rivera

Universidad de Concepción
Facultad de Ingeniería Agrícola
Departamento de Recursos Hídricos
Centro CRHIAM
Conicyt/Fondap-15130015
Vicente Méndez 595
Chillán, CHILE
Tel.: +56 (42) 2208 804
dirivera@udec.cl

Dra. Evelyn Aguirre

Comisión Chilena de Energía Nuclear
Departamento Aplicaciones Nucleares
Laboratorio Isótopos Ambientales
Nueva Bilbao 12501, Las Condes
Santiago, CHILE
Teléfono: +56 (2) 2364 6130
eaguirre@cchen.gob.cl