
Aplicación de isótopos ambientales para determinar zonas de recarga en el complejo sistema acuífero de la subcuenca del río Zaratí

González-González, Alexandra

Universidad Tecnológica de Panamá, Facultad de Ingeniería Civil
Panamá, Panamá

alexandra.gonzalez1@utp.ac.pa

Fábrega-Duque, José

Universidad Tecnológica de Panamá
Panamá, Panamá

Jose.fabrega@utp.ac.pa

ORCID: 0000-0003-1536-0386

Adar, Eilon

Ben Gurion University
Israel, Israel

eilon@bgu.ac.il

Atencio, Betzabé

Ben Gurion University
Israel, Israel

betzabe.atencio24@gmail.com

Abstract

The city of Penonome and its municipalities are facing an increase in water demand due to population growth. To address this need, excessive exploitation of groundwater has been used as a temporary solution without a view to sustainable management of these waters in the Zarati River sub-basin. For this reason, the need arises to identify recharge areas as a first step to identify the origin of these waters through the measurement and spatial distribution of stable isotopes (^{18}O and 2H). These allowed us to identify different recharge areas, one to the NE, corresponding to the middle and upper part, and another to the NW of the lower part, which should be designated for conservation.

Key words: Hidrogeología, isótopos estables, zonas de recarga

Resumen

La ciudad de Penonomé y sus municipalidades enfrentan un incremento en la demanda de agua debido al crecimiento poblacional. Para abordar esta necesidad, se ha recurrido a una explotación excesiva de agua subterránea como una solución temporal sin miras a una gestión sostenible de estas aguas en la subcuenca del río Zarati. Por esta razón surge la necesidad de identificar las zonas de recarga como primer paso para identificar el origen de estas aguas a través de la medición y distribución espacial de isótopos estables (^{18}O y ^2H). Estos permitieron identificar diferentes áreas de recarga una al NE correspondiendo a la parte media y alta; y otro al NO de la parte baja, las cuales deben ser destinadas para su conservación.

Palabras claves: Hidrogeología, isótopos estables, zonas de recarga

1. INTRODUCCIÓN

El conocimiento de las zonas de recarga del sistema acuífero de la subcuenca del río Zarati (SRZ) es vital para la implementación de estrategias para la gestión y conservación de los recursos hídricos, que podrían asegurar el agua subterránea para esta región. La ciudad de Penonomé y sus municipalidades se enfrentan a un aumento de la demanda de agua debido a la creciente población, el turismo, auge agrícola e industrial y para solventar esta necesidad se ha optado por una explotación excesiva de agua subterránea como una medida paliativa sin miras a una gestión sostenible de las mismas, por esta razón surge la necesidad de identificar las zonas de recarga como primer paso para lograr una comprensión de estas aguas [1]–[3].

Determinar zonas de recarga a partir de técnicas físicas requiere de grandes volúmenes de mediciones directas y de data hidrometeorológica para evaluar un sistema acuífero y en regiones como la SRZ este tipo de información es escaso, lo que dificulta la aplicación de estos métodos. Hasta el momento se han desarrollado modelos conceptuales integrando información existente sobre geología, estratigrafía, hidrología y clima para simplificar el comportamiento hidrogeológico, pero el nivel de detalle es muy general para poder explicar procesos tan complejos como las zonas de recarga [4]. Por esta razón en este estudio se utilizan los isótopos estables como una alternativa frente a los métodos físicos, que permite conceptualizar cualitativa y cuantitativamente las zonas de recargas. Al estar inmersos en el ciclo hidrológico de forma natural, permiten rastrear el origen de las aguas subterráneas teniendo como referencia la precipitación local. El comportamiento general de los isótopos estables Oxígeno $\delta^{18}\text{O}$ (‰) y Deuterio $\delta^2\text{H}$ (‰) es que se encuentren valores muy negativos o empobrecidas en las regiones montañosas y valores más positivos o enriquecidos a medida que se aproximan a la costa [5].

2. MÉTODO

Se colectaron 79 muestras de agua de las cuales 15 corresponden a manantiales y 54 a pozos distribuidos espacialmente dentro de la SRZ y sus alrededores, además de 10 a muestras de agua superficial del río Zaratí. Las mismas fueron filtradas con filtros de 0.22 micras y almacenadas en viales de 2 ml, procurando evitar la evaporación. En campo se midieron parámetros como: Conductividad eléctrica (uS/m), oxígeno disuelto (mg/), temperatura (°C) y nivel piezométrico (m).

Las muestras fueron analizadas con el espectrómetro Picarro isotópico H₂O-CRDS (Cavity Ring-Down Spectroscopy) en los laboratorios de análisis de agua del Zuckerberg Institut of Water Research, Israel. Los valores obtenidos de $\delta^{18}\text{O}$ (‰) y $\delta^2\text{H}$ (‰) se representaron gráficamente a lo largo de la Línea de agua meteórica global (GMWL) y la Línea de agua meteórica local (LMWL) [6] proporcionando información sobre su origen. Las firmas isotópicas se analizaron espacialmente a través de la interpolación IDW, en Arcgis Pro. Además, se elaboró una aproximación del flujo de las aguas subterráneas a partir de mediciones puntuales de niveles piezométricos tomadas en campo y de registros encontrados en otros estudios.

3. RESULTADOS

La grafica de relación $\delta^{18}\text{O}$ vs $\delta^2\text{H}$ en la figura 1, indica que todas las aguas muestreadas son de origen meteórico debido a su cercanía a la línea meteórica local (LMWL), además sugiere al menos dos distintas fuentes contribuyen a la composición de las aguas subterráneas en la cuenca de Zaratí.

La subcuenca de Zaratí se encuentra dentro del área de influencia del Volcán el Valle de Antón y se encuentran aguas termales, sin embargo, se identifican dos tipos de aguas termales, el primero se refiere a los pozos termales dentro de la caldera (circulo morado figura 1), estas corresponden a un acuífero confinado que se recarga de agua meteórica a través de las fisuras de los domos: Cerro Gaital, Pajita, Caracoral, y además se mezcla con agua termal de un acuífero más profundo [7], [8]. Por otro lado, se encuentran aguas termales con alta salinidad (>8mS/cm), señaladas en el circulo naranja de la figura 1, con valores isotópicos enriquecidos que afloran aproximadamente a 20 km de la caldera de El Valle, en el corregimiento de Pajonal, este grupo pertenece a un acuífero profundo sometido a 600°C, este proceso geotérmico altera la composición isotópica de las aguas termales haciendo que estas sean altamente enriquecidas en isótopos pesados, por esto se encuentran muy alejadas de la línea meteórica local.

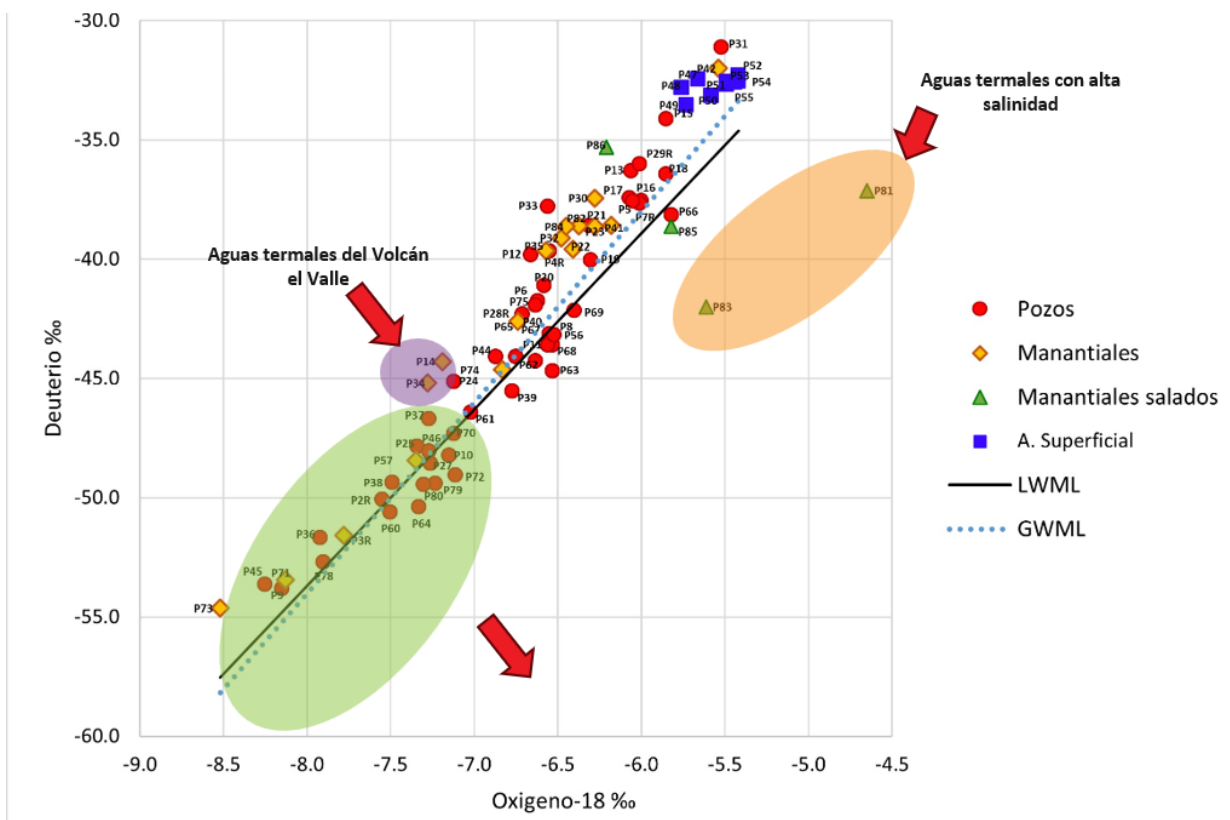


Figura 1. Relación isotópica entre $d^{18}O$ y d^2H de las diferentes tipos de fuentes y las líneas meteoricas local en color negro [6] y la meteorica global en color azul (Craig, 1961)

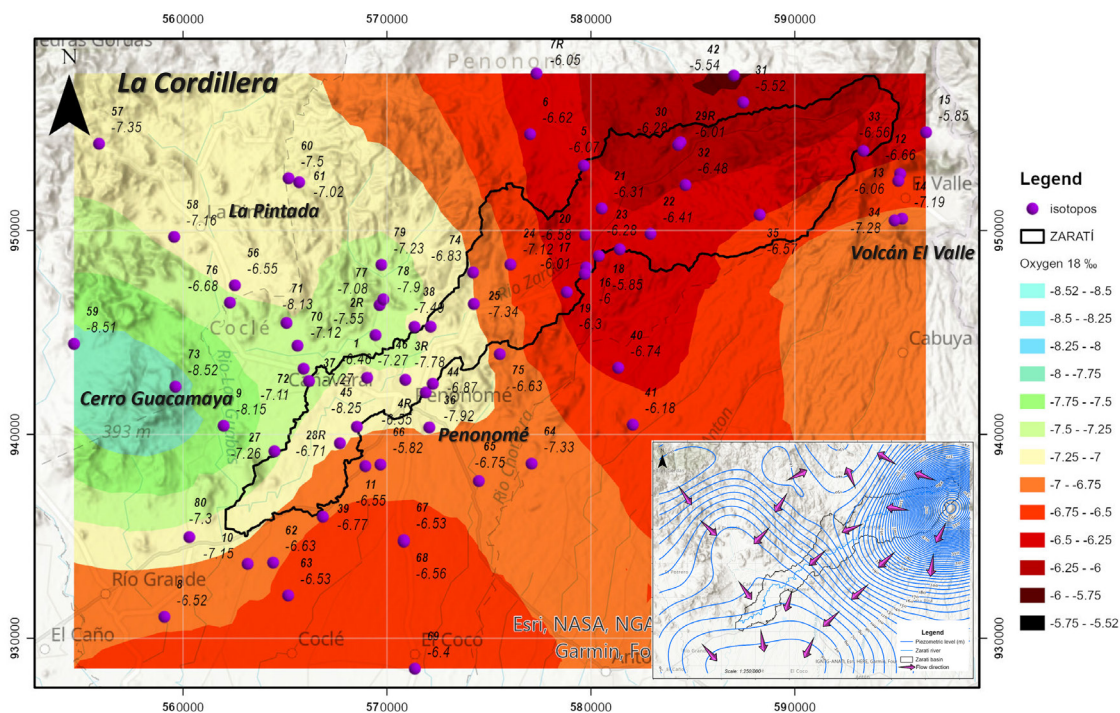


Figura 2. Distribución espacial de las firmas isotópicas en Zarati.

Los valores en tonos claros corresponden a isótopos empobrecidos y los tonos oscuros a isótopos enriquecidos. Las flechas indican la dirección del flujo subterráneo.

El mapa con la distribución espacial de las firmas isotópicas del ^{18}O sobre Zaratí (figura 2) ilustra que los valores empobrecidos (circulo verde figura 1) se localizan en la cuenca baja. Este comportamiento sugiere que la recarga de la cuenca baja proviene directamente de las montañas de la Cordillera Central y del Cerro Guacamaya. Lo anterior coincide con la dirección general del flujo de agua subterránea en la figura 2, que indica un aporte en dirección NO-S. Generalmente, se puede decir que los flujos subterráneos de Zaratí, al igual que la región de Coclé, fluyen directamente desde la Cordillera Central hacia la base del escurrimiento en forma de abanico

4. CONCLUSIONES

Se determinaron dos tipos de aguas termales en el área de estudio, unas localizadas únicamente en la caldera del Volcán El Valle de Antón, que se consideran una mezcla de agua recargada directamente de la precipitación y mezclada con aguas más profundas cercanas a la cámara magmática. Las otras aguas termales son salobres y con diferente composición isotópica porque estas emanan directamente del acuífero profundo que está en contacto con la cámara magmática.

La cuenca baja de Zaratí, es una zona de mezcla de dos áreas de recarga, la primera proveniente de la parte alta y la segunda con origen en las montañas de la Cordillera y el Cerro Guacamaya.

Las direcciones de flujo subterráneo coinciden con los patrones isotópicos encontrados. Dirección Noreste-Sudoeste (NE-SO) y Noroeste-Sur (NO-S), con algunas desviaciones hacia el Norte de la parte alta.

Las áreas de recarga identificadas en este estudio requieren prioridad en cuanto a protección por parte de las autoridades competentes para procurar la seguridad del recurso subterráneo.

REFERENCIAS

- [1] M. Lorenzo, E. Sanchez, M. Munoz, J. Fabrega, J. A. Leiva, and M. G. Castellon, "Groundwater Budget of the Zaratí River Sub-Catchment," Proc. - 2022 8th Int. Eng. Sci. Technol. Conf. IESTEC 2022, pp. 567–574, 2022, doi: 10.1109/IESTEC54539.2022.00095.
- [2] J. O. Noel Amaya, J. Fábrega Duque, and M. G. Casstrellón, "Identificación de áreas de recarga a través de un modelo hidrológico en la región del Arco Seco de Panamá," 2805-1807, pp. 251–256, Jun. 2021, doi: 10.33412/APANAC.2021.3193.
- [3] W. del C. González, "Manejo y protección de zonas de recarga hídrica y fuentes de agua para

- consumo humano en la subcuenca del río Zaratí, Panamá.,” pp. 1–175, 2011, [Online]. Available: <http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/handle/11554/2932>
- [4] C. W. Andries, T. Kanyerere, S. Israel, and M. Butler, “The application of environmental isotopes to conceptualize groundwater recharge in a coastal aquifer system: Case study of the West Coast Aquifer System, South Africa,” *Phys. Chem. Earth*, vol. 124, no. February, p. 102995, 2021, doi: 10.1016/j.pce.2021.102995.
- [5] P. Cook, *Introduction to Isotopes and Environmental Tracers as Indicators of Groundwater Flow*. Guelph, Ontario, Canada, 2020. doi: 10.21083/978-1-7770541-8-2.
- [6] A. Caballero, “Exploración de aguas subterráneas en el Arco Seco de Panamá (Sector de Las Tablas) mediante métodos geofísicos,” Jan. 2010, Accessed: Apr. 28, 2023. [Online]. Available: <https://diposit.ub.edu/dspace/handle/2445/64879#.ZEsuAn4AleM.mendeley>
- [7] E. Martínez and R. Rodríguez, “Diseño de un modelo para crear un Geoparque en El Valle de Antón.,” Universidad Tecnológica de Panamá, 2017.
- [8] H. Sandoval, T. Destro, R. Rodríguez, E. Martínez, E. Gutiérrez, and Y. Solís, “Study and description of the Soap Stone of Pajonal,” *Proc. - 2022 8th Int. Eng. Sci. Technol. Conf. IESTEC 2022*, pp. 733–739, 2022, doi: 10.1109/IESTEC54539.2022.00120.

AUTORIZACIÓN Y LICENCIA CC

Los autores autorizan a APANAC XIX a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC:

Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>.

Ni APANAC XIX ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.