

Estudio de la hidrodinámica de aguas subterráneas del sistema cárstico de Laraos y Alis, cuenca alta del río Cañete, mediante isótopos ambientales

Jacinto Valencia*, Enoc Mamani[†], José Magaña

Dirección de Servicios, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

Resumen

En este estudio se caracteriza siete muestra de agua recolectadas de las microcuencas Laraos y Alis parte alta del río Cañete y analizadas por oxígeno-18 ($\delta^{18}O$), deuterio (δ^2H) y tritio radiactivo (3H) mediante la técnica de espectrometría laser con el propósito de establecer la relación recarga-descarga del sistema cárstico bajo estudio, originado por disolución de rocas calcáreas de la formación Jumasha de edad Cretácica y formando estancos de agua subterránea que por conexión y gradiente hidráulica de fracturas descargan en manantiales. La interpretación de los análisis isotópicos realizados de acuerdo con el diagrama $\delta^{18}O/\delta^2H$ nos indica que los manantiales se han originado a partir de infiltración de aguas de lluvias en el sistema cárstico debido al diseño estructural y que hacen de conexión entre microcuencas. Las aguas subterráneas tienen una dinámica diferente, y en menor proporción reciben aportes de aguas de lagunas, esto las hace vulnerables a la contaminación. En el sistema hidrogeológico cárstico, las aguas subterráneas de las microcuencas tienen por una parte dinámica de aguas con largo tiempo de residencia con 1.8 unidades de tritio (RC-7) y otra dinámica de aguas de corto tiempo de residencia de 3 y 3.2 unidades de tritio (RC-4, RC-5, RC-6).

Study of the hydrodynamic of groundwater karst system of Laraos and Alis, upper basin of the Cañete river using environmental isotopes

Abstract

In this study, seven water samples have been characterized, collected from the upper Cañete river micro-basins Laraos and Alis. They were analyzed by Oxygen-18 ($\delta^{18}O$), deuterium (δ^2H) and radioactive tritium (3H) using the technique of laser spectrometry and characterized in order to establish the recharge-discharge relationship karst system under study, formed by the dissolution of limestone from the Cretaceous age formation Jumasha, and forming watertight groundwater that by connection and hydraulic gradient of fractures discharge into springs. The interpretation of the isotopic analysis performed according to the diagram $\delta^{18}O/\delta^2H$ indicates that the springs are originated from infiltrating rainwater into the karst system due to the structural design and make the connection between micro-basins. Groundwater has a different dynamic, and to a lesser extent, receives contributions from waters lagoons, this fact makes them vulnerable to contamination. In the karst hydrogeological system, groundwater from micro-basins has a dynamic part of water with a long residence time with 1.8 units of tritium (RC-7) and another water dynamic of short residence time of 3 and 3.2 tritium units (RC-4, RC-5, RC-6).

1. Introducción

La aplicación de la técnica de análisis de isótopos ambientales resulta muy útil para estudiar la hidrodinámica de aguas subterráneas en sistemas cársticos, como el que se ha desarrollado en la formación Jumasha de edad Cretácica en las microcuencas Laraos y Alis, tributarias del río Cañete en la cuenca alta [1].

Fisiográficamente el área de estudio se ubica en la vertiente occidental de la Cordillera Occidental de los Andes, entre los 3,400 y 4,400 m.s.n.m. donde están instalados centros

mineros que utilizan agua superficial de lagunas para sus operaciones (Figura 1).

El desarrollo y orientación de las estructuras cársticas, la acción de las fluctuaciones del nivel piezométrico de las aguas subterráneas son factores responsables que en el tiempo han generado el desarrollo del diseño del karst siendo ahora estructuras que mayormente están interconectadas para la circulación de los flujos de agua subterránea.

Estas estructuras cársticas en la zona de

* Correspondencia autor: jvalencia@ipen.gob.pe

estudio cumplen doble función; de una parte, facilitan la infiltración y por otra de almacenamiento de importantes volúmenes de agua subterránea con un tiempo de residencia variable y con interconexión de flujos a través de estructuras hidráulicas (fallas y fracturas) [2], haciéndolas muy vulnerables a la contaminación a diferencia de los acuíferos detríticos.

El estudio se realizó en el mes de marzo del 2014 y consistió en caracterizar isotópicamente las aguas subterráneas en el sistema cárstico, para esto se ha utilizado los isótopos ambientales, los que mediante el análisis de muestras de agua superficiales de infiltraciones y manantiales se han obtenido valores isotópicos que interpretados respecto a la Línea Meteorica Mundial (LMM) permiten la identificación del origen de recarga del sistema hidrogeológico [3].

El estudio comprendió el análisis e interpretación de los isótopos oxígeno-18 ($\delta^{18}\text{O}$), deuterio ($\delta^2\text{H}$) y el isótopo radiactivo tritio (^3H) y relaciona la recarga (infiltración) con la descarga (surgencias) del sistema cárstico que por la hidrodinámica indica ser un sistema muy frágil, pudiendo verse afectados los recursos hídricos (Figura 2).

2. Metodología

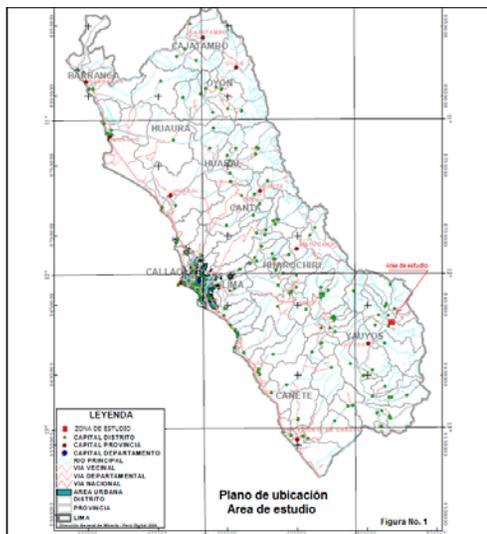


Figura 1. Plano de ubicación zona de estudio Cárstico.

3. Resultados y Discusión

Los isótopos ambientales han permitido

El presente estudio tuvo una etapa de campo en donde se ha efectuado el reconocimiento del área de estudio y el inventario de manantiales, lagunas, cursos e infiltraciones de agua en cavernas y dolinas, en los que se identificaron los puntos de interés para la toma de muestras de agua para el estudio. La planificación e implementación del trabajo de campo, la disponibilidad del protocolo de muestreo de aguas subterráneas para la toma de muestras, observaciones geológicas, medida de los parámetros físico-químicos *in situ* de los puntos de toma de muestras previamente definidos.

Etapa de laboratorio, se efectuaron los análisis de muestras por la técnica de Espectrometría Laser para las determinaciones de los isótopos Oxígeno-18, Deuterio en los laboratorios de INHI y el análisis de tritio en laboratorio del exterior. Los resultados para su interpretación han sido ploteados en el diagrama de $\delta^{18}\text{O}/\delta^2\text{H}$ en función de la Línea Meteorica Mundial (LMM).

Respecto al conocimiento de la hidrodinámica se ha identificado la zona de recarga del sistema, tiempo de residencia, interconexión a nivel de microcuencas y la vulnerabilidad de las aguas subterráneas y del sistema hidrogeológico cárstico.

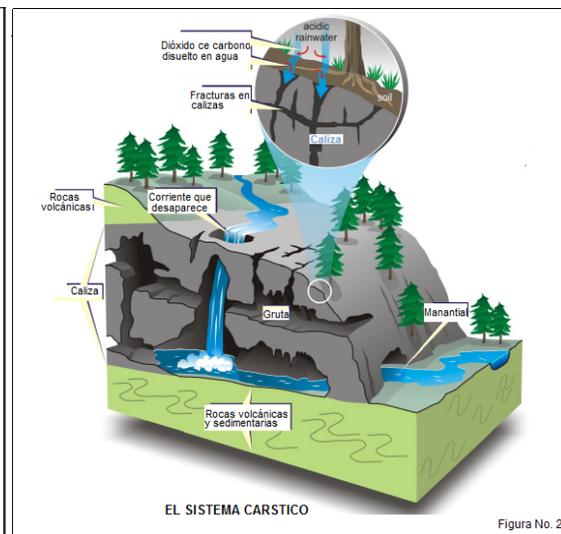


Figura 2. Block diagrama ideal de un sistema.

identificar en cuanto a origen, tipos de aguas en el sistema cárstico Laraos y Alis (Tabla 1).

De acuerdo con la relación $\delta^{18}\text{O}/\delta^2\text{H}$ y la Línea Meteorica Mundial (LMM) del diagrama de la Figura 2 se señala que para la microcuenca Laraos se interpreta que los valores isotópicos de agua de la laguna Pacocha, muestra RC-2 de $-17.41 \delta^{18}\text{O}$, $-128.54 \delta^2\text{H}$ y laguna Pumacocha muestra RC-3 de $-17.55 \delta^{18}\text{O}$ $-130.96 \delta^2\text{H}$, indican aguas de reciente precipitación y a mayor altitud de la zona de descarga, con muy poco tiempo de residencia en el embalse; es decir, de rápida renovación, agua que guarda relación con los valores isotópicos del manantial Laraopuquio, muestra RC-5 de $-17.70 \delta^{18}\text{O}$ y $-132.74 \delta^2\text{H}$. Así como con los valores isotópicos del manantial Alis-2 muestra RC-6 de la microcuenca Alis de $-17.73 \delta^{18}\text{O}$ $-129.33 \delta^2\text{H}$ y contenido de tritio (3 - 3.2 U.T.), en esta última muestra, la relación se debe al alineamiento estructural de dirección N 40° W estableciendo conexión hidráulica entre las dos microcuencas [4]. La muestra RC-1 laguna Yauricocha de $-16.57 \delta^{18}\text{O}$ $-128.6 \delta^2\text{H}$ de poco volumen de agua, indica un mayor tiempo de residencia, alta evaporación y la presencia de puntos de infiltración.

En la microcuenca Alis, dos muestras, RC-7 manantial Alis-1; de $-16.24 \delta^{18}\text{O}$ $-120.65 \delta^2\text{H}$ y RC-6 manantial Alis-2 de $-17.73 \delta^{18}\text{O}$ $-129.33 \delta^2\text{H}$, son diferentes, tanto en los

valores de los parámetros físico-químicos como isotópicos, no obstante su ubicación y proximidad, indican que tienen origen de recarga y trayectorias de flujo diferentes. Para el manantial Alis-1 con valores menos empobrecidos en $\delta^{18}\text{O}$ respecto al manantial Alis-2, nos indica un origen a partir de la infiltración de agua de lluvias de un largo tiempo de residencia (1.8 U.T.) y bajo caudal; mientras que la muestra Alis-2, indica una zona de recarga a partir de aguas de lluvia infiltrada a mayor altitud y precipitada en las condiciones climáticas actuales, de rápido movimiento en el subsuelo por el contenido de tritio (3.2 U.T) [5], ésta condición es debido a que recibe contribución de aguas subterráneas provenientes de áreas mineralizadas de la zona, que están comprendida en el alineamiento estructural SE-NW y que controla el desarrollo del sistema hidrogeológico cárstico.

La poca diferencia, en las marcas isotópicas de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$, de las muestras de filtraciones y manantiales nos indican una misma altitud y fuente de recarga, y estaría ubicada dentro del mismo sistema hidrogeológico cárstico. La interconexión a nivel de las dos microcuencas pone en riesgo de contaminación de las aguas subterráneas, haciendo vulnerable el sistema.

Tabla 1. Análisis isotópicos cuenca alta del río Cañete.

Cod	Ubicación	Altitud msnm	Coordenadas UTM (WGS 84)		Cond us/cm	T°C	pH	Isótopos estables o/oo		Tritio U.T.	Observaciones
			E	N				O-18	H-2		
RC-1	Laguna Yauricocha	4554	422979	8638501	2760	10.9	7.56	-16.57	-128.6		Tomada del cuerpo menor de la laguna
Microcuenca Laraos											
RC-2	Laguna Pacocha	4595	425290	8628266	394	11.8	7.94	-17.41	-128.5		Tomada en punto de descarga
RC-3	Laguna Pumacocha	4307	224724	8630805	863	13.9	9.22	-17.55	-131		Tomada antes de la infiltración en dolina
RC-4	Quebrada La Tranca	3948	418899	8631887	322	11.5	8.63	-16.73	-125.4	3.2	Manantial de fondo de valle
RC-5	Manantial Laraopuquio	3746	417003	8633235	210	10.8	8.16	-17.7	-132.7	3	Manantial difuso
Microcuenca Alis											
RC-6	Manantial Parachaca (Alis-2)	3493	416513	8644091	610	14.5	7.56	-17.73	-129.3	3.2	Manantial margen izquierda río Alis
RC-7	Manantial Parachaca (Alis-1)	3560	415531	8643306	351	9.5	8.57	-16.24	-120.7	1.8	Manantial margen derecha parte alta río Alis

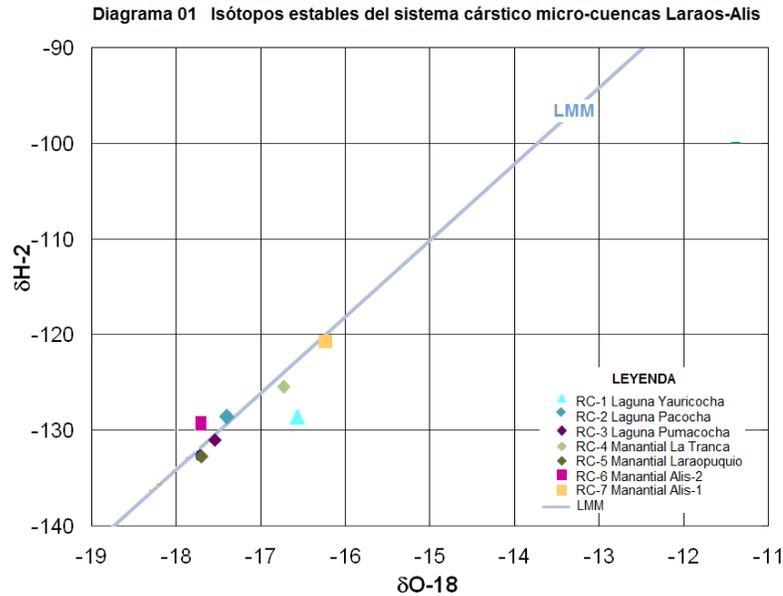


Figura 3. Diagrama $\delta^{18}\text{O}/\delta^2\text{H}$ y Línea Meteorica Mundial (LMM).

4. Conclusiones

En el sistema cárstico de las microcuencas Laraos y Alis, los resultados de isótopos ambientales analizados en muestras de aguas subterráneas permiten interpretar la existencia de conexión hidráulica entre las microcuencas debido al diseño estructural de fallas y fracturas que han controlado tanto el desarrollo como el funcionamiento del sistema cárstico.

Las estructuras cársticas en superficie facilitan la infiltración y almacenamiento de volúmenes de agua subterránea. Sin embargo, los efectos de mezcla de agua en el subsuelo las hacen muy vulnerables a la contaminación en este tipo de sistema cárstico.

5. Referencias

- [1]. Mégard F, Caldas J, Paredes J, De la Cruz N. Geología de los cuadrángulos de Tarma, La Oroya y Yauyos. En: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET). Boletín N° 69. Hojas: 23-I, 24-I, 25-I. Lima; 1996.
- [2]. Andreo B, Carrasco F, Durán JJ, La Morreaux JW. Advances in research in karst media. Berlin: Ed. Springer-Verlag Heidelberg; 2010.
- [3]. Clark Ian, Fritz Peter. Environmental isotopes in hydrogeology. New York: Lewis publishers; 1997.
- [4]. International Atomic Energy Agency (IAEA). Isotope techniques in the study of the hydrology of fractured and fissured rocks. Vienna; 1989.
- [5]. Mook WG, Ed. Isótopos ambientales en el ciclo hidrológico: Principios y aplicaciones. Instituto Geológico y Minero de España. Serie Guías y Manuales N° 1. Madrid, España; 2002.

† In memoriam.