

Determinación del “efecto de altitud” en base a $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$ como indicadores de recarga de aguas subterráneas, cuenca del río Cañete

Jacinto Valencia*

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

Resumen

En base a los resultados de análisis de isótopos estables $\delta\text{O-18}$ y $\delta\text{H-2}$ en muestras de agua de manantiales, debido a la similitud con la composición isotópica de las precipitaciones en altura, conforme al carácter conservativo de los isótopos $\delta\text{O-18}$ y $\delta\text{H-2}$ y en referencia a la altitud de las muestras se ha obtenido los valores isotópicos del “efecto de altitud” y la identificación de la zona de recarga para el sector en estudio. Las muestras han sido recolectadas en la parte alta de la cuenca del río Cañete (3490-4300 msnm) alcanzando una diferencia de altitud entre muestras de 800 m. Los valores isotópicos están afectados por fraccionamiento y desviaciones sistemáticas (δ) con respecto a la altitud, así como por los procesos de evaporación y condensación previos a la infiltración. Para su interpretación los análisis isotópicos han sido realizados mediante espectrometría laser en los laboratorios de IPEN y han brindado información de la altura a la que tiene lugar la recarga del hidrosistema. El “efecto de altitud” del sector de estudio es del orden de -0.45 o/oo para el δO18 y de -3.30 o/oo para el δH2 por cada 100 m de altitud. De acuerdo con estos valores, la zona de recarga ha sido obtenida gráficamente en base a diagramas y está ubicada entre los 3600-4350 msnm, zona de la cuenca donde se producen las mayores precipitaciones en forma líquida.

Palabras claves: Hidrología; Isótopos estables; Agua meteórica; Precipitación; Recarga de aguas subterráneas; Aguas subterráneas; Altitud

Determination of the "altitude effect" based on $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{H}$ as indicators of groundwater recharge, Cañete river basin

Abstract

Based on the results of stable isotope analysis $\delta\text{O-18}$ and $\delta\text{H-2}$ in water samples from springs, due to the similarity with the isotopic composition of the precipitation in height and according to the conservative character of the isotopes $\delta\text{O-18}$ and $\delta\text{H-2}$ and in reference to the altitude of the samples, it has obtained the isotopic values of the "altitude effect" and the identification of the recharge area for the sector under study. The samples have been collected in the upper part of the Cañete river basin (3490-4300 MASL), reaching an altitude difference between samples of 800 m. The isotopic values are affected by fractionation and systematic deviations (δ) with respect to the altitude as well as by the processes of evaporation and condensation prior to infiltration. For its interpretation, the isotopic analyzes have been performed by laser spectrometry in the IPEN laboratories and, have provided information on the height at which the recharge of the hydrosystem takes place. The "altitude effect" of the study sector is of the order of -0.45 o/oo for δO18 and -3.30 o/oo for δH2 per 100 m of altitude. According to these values, the recharge zone has been obtained graphically based on diagrams and is located between 3600-4350 MASL area of the basin where the highest rainfall in liquid form occurs.

Keywords: Hydrology; Stable isotopes; Meteoric water; Precipitation; Groundwater recharge; Ground water; Altitude

1. Introducción

Debido a que en la molécula de agua se encuentran presentes los isótopos $\delta\text{O-18}$ y $\delta\text{H-2}$ que son afectados por las desviaciones isotópicas sistemáticas (δ) del contenido de una muestra, respecto a un patrón en o/oo (SMOW, V-SMOW, SLAP) a causa de que

los procesos de evaporación y condensación originan ligeros fraccionamientos en estas especies, razón por la cual ambos isótopos resultan ser indicadores de la altitud de recarga, por su carácter de trazadores

* Correspondencia autor: jvalencia@ipen.gob.pe

naturales que brindan información sobre el origen de la recarga del agua subterránea.

El presente estudio se enfoca en la cuenca del río Cañete ubicada a 120 km al sur de Lima (Figura 1) con curso de agua permanente, con una extensión de cuenca de 219 km desde la línea de costa hasta los 5800 msnm, agua que sirve para diversos usos; en la parte baja generación de electricidad y en la parte media y alta para riego y minería.

La información de campo, recolección de muestras de agua de surgencias pertenecientes a manantiales en la vertiente de la cuenca, originadas principalmente por infiltración de agua de lluvias. El levantamiento de la información hidrogeológica fue efectuado en la parte media y alta de la cuenca en el mes de mayo del 2014. Fisiográficamente corresponde a la vertiente del Pacífico con una orientación de la cuenca normal a la línea de costa y una pendiente de moderada a alta, el substrato lo constituye rocas de diversa composición como granitos en la parte baja, volcánicos en la parte media y formaciones calcáreas en la parte alta, estas últimas afectadas por fenómeno cárstico y son huéspedes de mineralización polimetálica.



Figura 1. Ubicación del área de estudio y zona de influencia de la cuenca del río Cañete.

El relieve accidentado de la cuenca origina la variación en la composición isotópica con relación a la altura (efecto orográfico), lugar donde se produce la precipitación que se ve reflejada en las surgencias de agua, información que se ha utilizado para obtener las características de este hidrosistema.

2. Metodología

Para en el estudio se ha contado con información de campo de la parte alta de la cuenca del río Cañete, entre los 3490-4300 msnm., resultado de efectuar el inventario de manantiales y surgencias de las cuales se tomaron muestras de agua para su análisis y el estudio.

Se ha dispuesto y seguido el protocolo de muestreo para aguas subterráneas, debido a que no se dispone información de agua de precipitaciones de la zona para los análisis isotópicos que se complementan con información hidrogeológica y parámetros físico-químicos en los puntos de toma de muestras.

Los análisis isotópicos de 06 muestras se realizaron en espectrómetro laser LGR. La Tabla 1 muestra los resultados isotópicos y, han sido utilizados para elaborar el diagrama, oxígeno-18 /deuterio en relación con la Línea Meteorológica Mundial (LMM) que muestra una composición isotópica de aguas meteóricas (Figura 2), estos valores isotópicos junto con la altitud a la que fueron tomadas las muestras se han utilizado para elaborar los diagramas y poder determinar la altura a la que ocurre la recarga de los manantiales bajo estudio en la cuenca. En las Figuras 3 y 4, que muestran la línea de tendencia de la altitud y la desviación δ de los isótopos (oxígeno-18 y deuterio), esto ha permitido en base a la relación gráfica calcular el “efecto de altitud” en contenido isotópico en muestras de manantiales en la zona de estudio de la cuenca del río Cañete.

La técnica aplicada constituye una importante herramienta en hidrogeología para abordar estudios de aguas subterráneas en base a surgencias en diferentes puntos altitudinales respecto a una cuenca, en este caso el río Cañete.

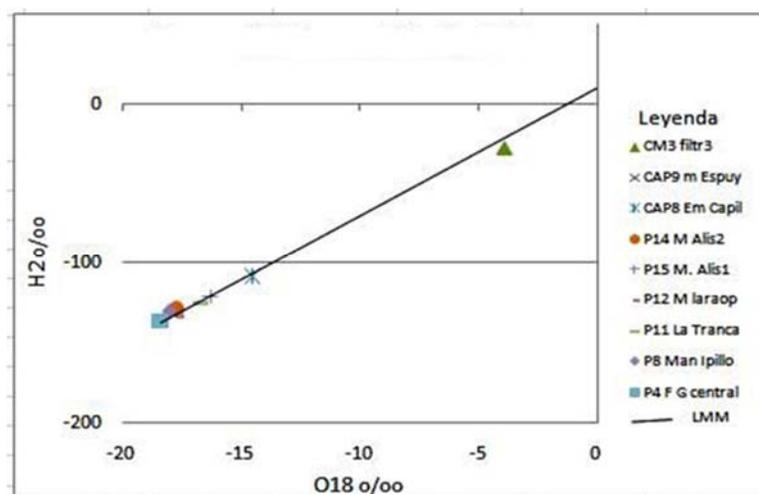
Tabla 1. Resultados de isótopos estables, cuenca del río Cañete.

Código de Muestra	Coordenadas (UTM)	Altitud (msnm)	Isótopos estables	
			$\delta O18$	$\delta H2$
P14 Man. Alis2	N8644091 E416513	3493	-17.73	-129.33
P15 Man. Alis1	N8643306 E415531	3560	-16.24	-120.65
P12 M. Laraop	N8633235 E417003	3746	-17.7	-132.74
P11 La Tranca	N8631887 E418899	3948	-16.73	-125.42
P8 Man. Ipillo	N8630827 E427342	4347	-18.03	-130.56
P4 F G Central	N8640303 E423519	4132	-18.36	-135.82

3. Resultados y discusión

Teniendo en cuenta que las precipitaciones no son uniformes en toda la cuenca del río Cañete. Así, en la parte alta, cabecera de cuenca, con un tiempo de residencia corto de las aguas subterráneas, se comportan como un

componente directo y determinante en la formación de flujos y corrientes de los hidrosistemas [1]. En la parte baja, con un tiempo de residencia mayor y un menor aporte por precipitación local, pero afectados por interconexión y mezcla, estas tendrán un comportamiento menos representativo.

**Figura 2.** Diagrama de isótopos estables de la cuenca alta del río Cañete.

Debido a que la composición isotópica del oxígeno y del hidrógeno de la mayoría de los ríos del mundo se aproximan a la LMM, así como por la similitud del contenido isotópico de la precipitación y de las aguas subterráneas en las partes altas de la cuenca, estas reflejan en buena medida la composición isotópica observada en la precipitación [2]. Además, se conoce que la evaporación de aguas superficiales en la altura no resulta mayormente afectada su composición isotópica y por consiguiente se atribuye por el carácter conservativo del $\delta O18$ una similitud isotópica entre aguas de lluvia y aguas subterráneas surgentes [5].

La cuenca bajo estudio con una orientación normal a la línea de costa constituye una transecta donde se puede apreciar como el efecto altitudinal y de continentalidad (orográfico) debido a la Cordillera de los Andes influye en la variación de la temperatura y con ello el contenido isotópico del vapor de agua condensado, que luego por la precipitación se infiltra en el subsuelo pasando a formar las aguas subterráneas, permitiendo en la zona de surgencia determinar con cierta aproximación la altura donde ocurrió su recarga [3].

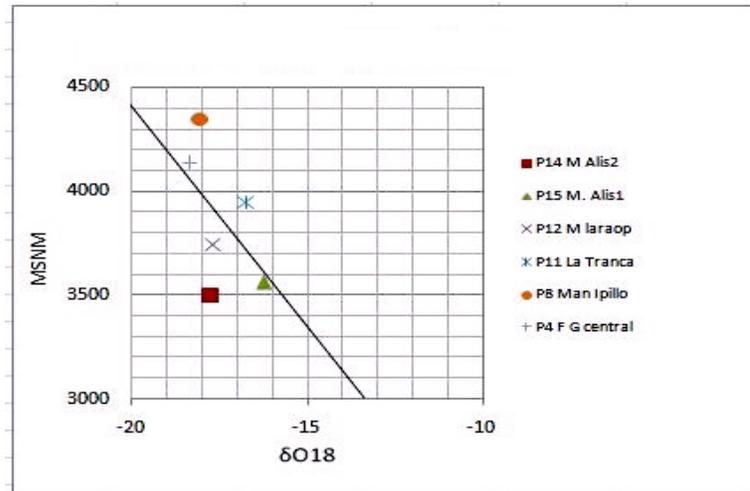


Figura 3. Efecto de altitud, se muestra el empobrecimiento del δO18 con la altitud.

En ésta cuenca, los manantiales de la zona de altura, arriba de los 3500 msnm se originan en zonas de alta cordillera en donde se produce la recarga de la mayoría de acuíferos; queda por investigar los manantiales de la parte baja de la cuenca donde debe de ocurrir un cambio en la composición isotópica debido a causas del origen de la recarga, el efecto de mezcla entre distintos flujos de aguas subterráneas y el mayor tiempo de interacción agua-roca.

Los valores obtenidos del efecto de la altitud en el presente estudio y, de acuerdo a la literatura especializada [3] están dentro del rango establecido de -0.15 a -0.5 para el δO18 y para el δH2 de -1 a -4 o/oo por cada 100 de altitud, a partir de los valores de muestras de aguas subterráneas [4].

El “efecto de altitud” en la cuenca del río Cañete en base a la marca isotópica que presentan los manantiales en su parte alta y ubicados a diferente altitud, están en valores de -0.45 o/oo para el δO18 (Figura 3) y de -3.30 o/oo para el δH2 por cada 100 m. de altitud (Figura 4). Con los valores obtenidos, es posible determinar el parámetro fundamental del hidrosistema, la altura a la que tiene lugar la recarga [5], que en la zona de estudio se sitúa entre los 3600 a 4350 msnm. Parte de la cuenca donde se producen las mayores precipitaciones en forma líquida y con una composición isotópica más ligera [6], y a una mayor altitud en la zona prevalecen las precipitaciones sólidas (nieve).

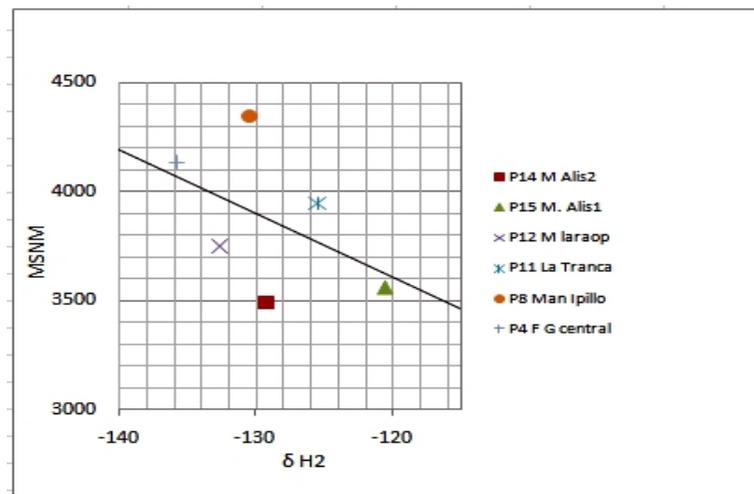


Figura 4. Efecto de altitud con relación al empobrecimiento de δH2 con la altitud.

4. Conclusiones

En base al contenido isotópico de agua de manantiales y surgencias de la parte alta de la cuenca del río Cañete se ha obtenido valores de “efecto de altitud” de -0.45 o/oo para el $\delta^{18}\text{O}$ y -3.30 o/oo para el $\delta^2\text{H}$ por cada 100 m de altitud y en consecuencia, la recarga está comprendida entre 3600-4350 msnm.

Los resultados del estudio de “efecto de altitud” permiten además identificar las zonas que podrían resultar vulnerables desde el punto de vista de la contaminación y el funcionamiento de los hidrosistemas a nivel de cuenca hidrológica.

5. Bibliografía

- [1]. Instituto Tecnológico Geominero de España. Estudio isotópico de las aguas subterráneas en la isla de la Palma. Madrid; 1993.
- [2]. Castañeda S, García T, Fernandez L, *et al.* Isotope techniques application in understanding the recharge process of the Davao City acuífers. In: International Atomic Energy Agency. International Symposium on Isotope Hydrology and Integrated Water Resource Management. Book of Extended Synopsis. 2003 May 19-23; Vienna: Austria; 2003. p. 164-165.
- [3]. Gonzáles L, Sánchez LF. Las técnicas isotópicas, una herramienta eficaz para el diagnóstico y evaluación de las aguas subterráneas. Ingeniería Hidráulica en México. 1992; (1): 64-85.
- [4]. Clark ID, Fritz P. Environmental isotopes in hydrogeology. New York: CRC Press; 1997.
- [5]. Vélez MV, Rhenals RL. Determinación de la recarga con isótopos ambientales en los acuíferos de Santa Fe de Antioquia. Revista Boletín Ciencias de la Tierra. 2008; 24:37-54.
- [6]. Arellano M, Morelio LF, Suri A. Efecto de altitud del $\delta^{18}\text{O}$ en zona de articulación de llanura criotocárstica con carso de montaña. En: I Taller internacional sobre Cuencas Experimentales en el Karst. Libro de Comunicaciones. 1992 abril 6-11; Matanzas: Cuba; 1992.