



UTILIZACIÓN DE ISÓTOPOS AMBIENTALES (^{18}O y D) COMO UNA HERRAMIENTA PARA EVALUAR FLUJOS DE AGUA SUBTERRÁNEA ENTRE CUENCAS EN MEDIOS VOLCÁNICOS: CASO DE LAGUNA TUYAJTO, SEGUNDA REGIÓN DE ANTOFAGASTA, CHILE

Christian Herrera ⁽¹⁾ y Archivaldo Ambler ⁽²⁾

⁽¹⁾ *Universidad Católica del Norte, Av. Angamos N° 0610, Antofagasta, cherrera@ucn.cl*

⁽²⁾ *Compañía Minera del Pacífico, Pedro Pablo Muñoz N°675, La Serena, aambler@cmp.cl*

INTRODUCCIÓN

La laguna Tuyajto se ubica en el Altiplano de la Segunda Región de Antofagasta y corresponde a una cuenca endorreica que limita hacia el oeste con la cuenca del Salar de Aguas Calientes y al este con la Cuenca del Salar de Laco (Fig. 1). En la cuenca de laguna Tuyajto se registran precipitaciones variables entre los 150 y 200 mm anuales y una evaporación media potencial anual de aproximadamente 1500 mm/año. La laguna Tuyajto corresponde a un cuerpo de agua libre situado en el centro de la cuenca a 4100 ms.n.m., tiene un espejo de agua de 35 cm de profundidad y alcanza una superficie de 2,7 km². La laguna Tuyajto recibe aportaciones superficiales desde 4 manantiales permanentes ubicados en la parte norte y oriental de la Laguna, además de una descarga difusa de la parte oriental y que en total suman caudales mensuales variables entre 6410 y 21176 m³/día.



Figura 1.- Mapa de ubicación de laguna Tuyajto, salar de Aguas Calientes y manantiales.

MARCO GEOLÓGICO

En el área de laguna Tuyajto hay tres edificios volcánicos principales, correspondientes a los volcanes Tuyajto, Médano e Incahuasi Sur. Estos volcanes se desarrollaron sobre un basamento ignimbrítico de edad Mioceno-Plioceno que aflora al Sur y Este de laguna Tuyajto.

El volcán Tuyajto es un estratovolcán ubicado al norte de la laguna Tuyajto y alcanza una altitud de 5482 ms.n.m., con una moderada conservación de las coladas de lava y domos que lo conforman (Fig. 1). Se destaca en la cumbre del volcán Tuyajto una zona de alteración solfatárica que da un característico color amarillo y pardo amarillo a toda la cima. Las coladas de lava más distales del flanco sur del volcán corresponden al límite norte de la laguna Tuyajto. Las coladas de lava son de composición andesítica de color pardo oscuro y textura afanítica.

El volcán Incahuasi Sur se ubica al Sur-Este de la laguna Tuyajto y corresponde a un estratovolcán fuertemente erodado, en el cual no se diferencian claramente las coladas de lava y depósitos piroclásticos que los conforman. El volcán presenta una forma cónica de base amplia y alcanza una altitud de 5102 ms.n.m.

El volcán Médano se ubica al Sur-Oeste de la laguna Tuyajto y también corresponde a un estratovolcán fuertemente erodado, en el cual no se diferencian claramente las coladas de lava y depósitos piroclásticos que los constituyen. A diferencia del volcán Incahuasi Sur, el volcán Médano es de menor tamaño y alcanza una altitud de 4672 ms.n.m. Esta compuesto principalmente por lavas de composición andesítica.

ISOTOPIA ($^{18}\text{O}/\text{D}$) DE LAS AGUAS

Los datos utilizados para la caracterización isotópica de la precipitación fueron tomados con tres tomamuestras de lluvia situados en el Salar de Aguas Calientes (3900 ms.n.m.), en la Laguna Tuyajto (4040 ms.n.m.) y en Pampa Colorada (4426 ms.n.m.). Se trabajó con muestras correspondientes a tres eventos de precipitación tomadas en enero, febrero y marzo de 2004, y diciembre-enero de 2005. También fueron obtenidas muestras de nieve a distintas altitudes en el mes de agosto de 2005.

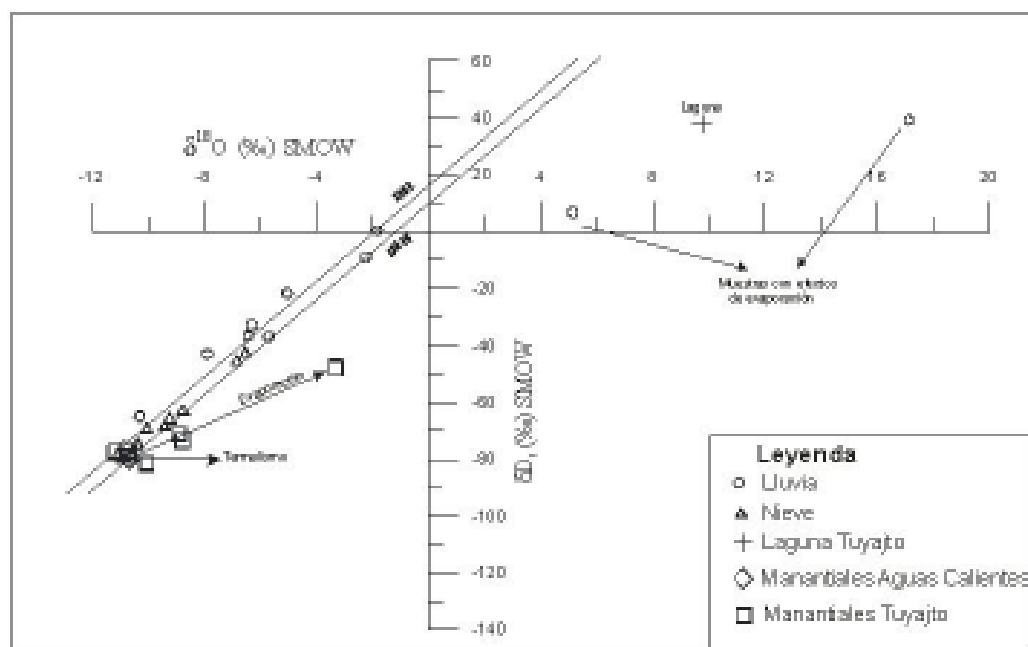


Figura 2.- Composición isotópica de $\delta^{18}\text{O}$ y δD de las aguas de los manantiales, laguna Tuyajto y precipitaciones del área de estudio. LMM = línea meteorológica mundial; LML = línea meteorológica local.

Los valores de $\delta^{18}\text{O}$ y δD de las muestras de precipitación y de agua subterránea del área de estudio se comparan con la línea meteorológica mundial ($\delta\text{D} = 8\delta^{18}\text{O} + 10$) y la línea meteorológica local ($\delta\text{D} = 8\delta^{18}\text{O} + 16$) obtenida a partir de los datos de precipitación pluvial (Fig. 2). La línea meteorológica local obtenida para el área de estudio tiene un exceso de deuterio de 16, valor que está muy próximo con otras muestras de lluvia obtenidas por sobre los 4000 ms.n.m. en el norte de Chile (Aravena *et al.*, 1999).

La caracterización isotópica de las aguas subterráneas se realizó por medio del análisis de seis muestras de agua de los manantiales que afloran en los bordes de laguna Tuyajto, más dos muestras obtenidas en manantiales de la vecina cuenca del salar de Aguas Calientes. Al comparar la composición isotópica de las precipitaciones pluviales y nivales con la composición de los manantiales, resulta muy clara la cercanía de la composición isotópica de las muestras de nieve con las aguas de los manantiales. Los valores más ligeros de $\delta^{18}\text{O}$ y δD las de las aguas de los manantiales se ajustan bien con los valores isotópicos de las muestras de nieve obtenidas a más de 4400 ms.n.m. Esto indica que la recarga de los acuíferos del sector se produce casi exclusivamente por la infiltración de agua de deshielo en las partes más altas del sector.

Los manantiales ubicados en la parte norte de laguna Tuyajto y los manantiales situados en la parte norte del salar de Aguas Calientes tienen una composición isotópica muy cercana. Estos manantiales afloran en el faldeo sur del Cerro Tuyajto, en los frentes de coladas de lava correspondientes a este volcán. Este Volcán alcanza una altura de más de 5500 ms.n.m. y probablemente la recarga por precipitaciones nivales y pluviales que se producen en sus partes más altas son las que recargan al acuífero y posteriormente son descargadas en el faldeo sur del Volcán. Los manantiales de la parte este de laguna Tuyajto se alejan de la agrupación de puntos indicada anteriormente, con un desplazamiento hacia valores de $\delta^{18}\text{O}$ más pesados. Una de las posibilidades que cabe esperar para este desplazamiento es el intercambio isotópico del agua con las rocas como consecuencia de termalismo.

CONCLUSIONES

La comparación de la composición isotópica de $\delta^{18}\text{O}$ y δD de las muestras de lluvia y nieve obtenidas en el área de estudio con la composición isotópica de las aguas de los manantiales indica que la recarga a los acuíferos se produciría principalmente por el deshielo de las precipitaciones de nieve que caen en invierno.

El estudio isotópico ha permitido evaluar posibles flujos de agua subterránea entre la cuenca de la laguna Tuyajto y las cuencas vecinas. Por un lado, se ha podido concluir por la comparación de la composición química e isotópica de las aguas que no hay un flujo de agua subterránea desde la cuenca de la laguna Tuyajto hacia la cuenca del Salar de Aguas Calientes. Por otro lado el reconocimiento geológico del borde occidental de la laguna Tuyajto y del lecho de la Laguna indica la baja permeabilidad de estas unidades, hecho que apoya la hipótesis de que no existe un flujo de agua subterránea entre estas cuencas.

El estudio de la composición isotópica de las aguas de los manantiales ubicados en el borde oriental de la Laguna muestra que la recarga del agua que aflora en estos puntos se ha producido en cotas más altas (más de 4400 ms.n.m.), fuera de los límites orientales de la cuenca de la laguna Tuyajto.

REFERENCIAS

Aravena R.; Susuki O.; Peña H.; Pollastri A.; Fuenzalida H.; Grilli, A. 1999. Isotopic composition and origin of the precipitation in Northern Chile. *Applied Geochemistry*, Vol. 14, No 4, p. 411-422.