

Análisis Preliminar de la Composición Isotópica Oxígeno 18 – Deuterio de las Aguas de la Cuenca del Río Copiapó, Región de Atacama: una Contribución al Conocimiento del Sistema Hidrogeológico

Rosa Troncoso*, Ricardo Castro, María Eliana Lorca, Carolina Espinoza, Yasna Pérez
Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN), Avenida Santa María 0104, Providencia, Santiago, Chile.

* E-mail: rotroncoso@sernageomin.cl

Resumen. La cuenca del río Copiapó se ubica en la Región de Atacama y está caracterizada por un clima desértico, lo que sumado a la sequía actual y sobreexplotación del acuífero, ha generado conflictos por el uso del agua y problemas de gestión. Para comprender el funcionamiento del sistema hidrogeológico se han utilizado, entre otras herramientas, isótopos de ^{18}O -deuterio. Se muestrearon precipitaciones en invierno y verano para definir la línea meteórica local. Los valores de $\delta^{18}\text{O}$ y δD de las precipitaciones de invierno dependen de la altitud y difieren de las lluvias de verano, que se encuentran enriquecidas en isótopos pesados. Las aguas superficiales y subterráneas se localizan sobre una línea de evaporación, a partir de un agua ligera. No se observa en las aguas subterráneas el enriquecimiento en isótopos pesados que presentan las lluvias de verano en la parte alta de la cuenca y las de invierno de la parte baja. Lo anterior es indicativo de que la mayor parte de la recarga de las aguas subterráneas se produce a partir de las precipitaciones caídas durante el invierno en la parte más alta de la cuenca y del agua superficial producto de estas mismas precipitaciones.

Palabras Claves: isótopos estables, hidrogeología, Copiapó

1 Introducción

La cuenca del río Copiapó, se ubica en la Región de Atacama y se extiende entre los paralelos $26^{\circ}38'$ y $28^{\circ}38'$ LS, abarcando una superficie total de 18.400 km^2 aprox.

El río Copiapó se forma por la confluencia de los ríos Pulido y Jorquera, en el sector de La Junta a 1.230 m.s.n.m., recibiendo aguas abajo el reducido aporte del río Manflas. Prácticamente, estos son los únicos ríos que aportan caudales superficiales a la cuenca.

El río de mayor aporte es el Pulido, pese a que su cuenca es aproximadamente la mitad que la del Jorquera. Esto se debe a la existencia de los glaciares Del Potro y Montosa en las cabeceras de dos de sus subafuentes.

La delicada situación de las aguas superficiales, inherente a una zona desértica, está acentuada por una sequía que se ha extendido por una década y por la sobreexplotación del

acuífero. Esto hace que el escenario hídrico sea complejo y con una fuerte competencia por el uso del agua, lo que ha motivado la realización de numerosos estudios a fin de comprender el sistema de flujo subterráneo y proporcionar herramientas que permitan una mejor gestión.

2 Metodología

En junio de 2008 se instalaron 10 muestreadores de precipitación, graduados y con sello de vaselina, a diferentes altitudes: 4 en los afluentes principales, 4 a lo largo del valle de río Copiapó propiamente tal y dos en la quebrada Paipote. Posteriormente, en octubre de 2008, se instalaron 2 muestreadores adicionales en el sector de las cabeceras de la cuenca: uno en Mina Refugio (río Jorquera) y uno en Mina La Coipa (quebrada Paipote).

Se realizaron 4 campañas de muestreo de lluvia en: septiembre de 2008 (8 muestras), abril de 2009 (4 muestras), septiembre de 2009 (10 muestras) y abril de 2010 (1 muestra); destinadas a coleccionar muestras compuestas representativas de todo el periodo de invierno y verano, respectivamente.

Por otra parte, para realizar análisis isotópicos ^{18}O – deuterio, se recolectaron entre los años 2008 y 2010 un total de 108 muestras de pozos y norias, 10 muestras de vertientes, 4 muestras de labores mineras, 18 muestras de agua superficial (verano 2010) y 1 muestra del efluente de la depuradora de aguas servidas de la ciudad de Copiapó. Estas muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Isótopos Ambientales de la CCHEN. Los análisis químicos de iones mayoritarios y elementos traza fueron realizados en el Laboratorio de SERNAGEOMIN.

3 Resultados

3.1 Composición isotópica de las precipitaciones

Los valores de $\delta^{18}\text{O}$ se encuentran entre $-17,63$ y $-2,13$ ‰ y los valores de δD entre $-136,3$ y $-6,0$ ‰. Los valores de

δD y $\delta^{18}O$ de todas las muestras de precipitación representativas del invierno de 2008, verano de 2009, invierno de 2009 y verano de 2010, presentan una buena correlación en el diagrama de la figura 1, lo que permite calcular una línea meteórica local (LML) por interpolación lineal mediante mínimos cuadrados: $\delta D=8,1 \delta^{18}O+13,5$, con un coeficiente $R^2=0,98$. Esta recta es paralela y se encuentra ligeramente sobre la línea meteórica mundial (Craig, 1961) y aunque es similar a otras líneas meteóricas calculadas para el norte de Chile (Fritz *et al.*, 1981; Aravena *et al.*, 1999; Herrera *et al.*, 2006), presenta una pendiente levemente distinta y muy aproximada a la determinada por Gonfiantini *et al.* (2001) para la parte oriental del altiplano.

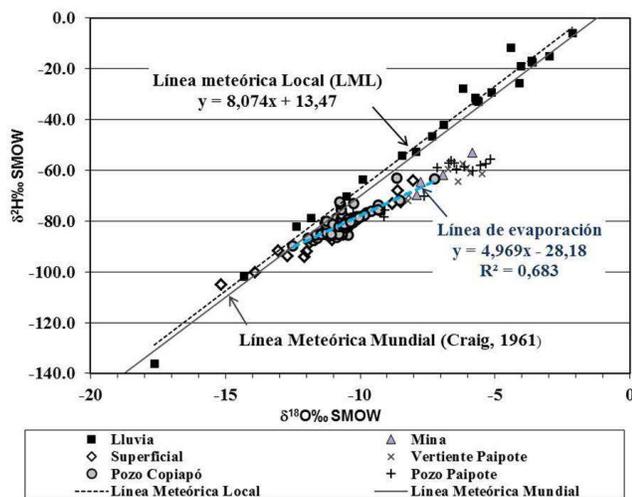


Figura 1. Composición isotópica de las precipitaciones, agua superficial y agua subterránea de la cuenca del río Copiapó. Se indican la línea meteórica mundial, local y de evaporación.

En general, los valores de $\delta^{18}O$ y δD no presentan una correlación clara con la cantidad de precipitación caída. Sin embargo, Los valores de $\delta^{18}O$ y δD de las precipitaciones de los dos inviernos muestreados presentan buena correlación con la altitud, con una variación de $-0,37 \%$ y $-0,38 \%$ cada 100 m (valores no ponderados), para el invierno de 2008 y 2009, respectivamente.

Por otra parte, a diferencia de lo observado por otros autores en el altiplano de las regiones de Arica-Parinacota y Tarapacá (Herrera *et al.* 2006), las lluvias de verano en la parte alta de la cuenca del río Copiapó (sobre 1.800 m s.n.m.) son más pesadas que las lluvias de invierno en las mismas estaciones. Dos hipótesis para explicar esta situación son: las mayores temperaturas observadas en esta zona en el verano en relación al invierno, lo que generaría una precipitación relativamente enriquecida en isótopos pesados (efecto de temperatura; Dasgaard, 1964, *in* Mazor, 2004) o la condensación a partir de una masa de vapor enriquecida en isótopos pesados, en relación a la que generan las precipitaciones de invierno en esta misma zona. Esta última hipótesis implicaría una fuente distinta a la que genera las precipitaciones en el altiplano, al norte

del área de estudio. Los valores de $\delta^{18}O$ y δD de estas lluvias de verano, no presentan buena correlación con la altitud ni con la cantidad de agua caída.

Se observa, además, que dos muestras correspondientes a lluvias de verano de dos estaciones distintas (2009 y 2010), se localizan significativamente sobre la LML, lo que podría deberse a procesos de evaporación secundaria (Clark y Fritz, 1997).

3.2 Composición isotópica de las aguas superficiales

Las aguas superficiales de la cuenca del río Copiapó, colectadas en el verano de 2010, presentan valores de $\delta^{18}O$ y δD , que se encuentran levemente bajo la LML y sobre una línea de evaporación. Los valores de $\delta^{18}O$, aunque presentan cierta dispersión ($R^2=0,53$), se pueden correlacionar inversamente con la altitud de las estaciones de muestreo de agua superficial.

Las muestras de agua superficial colectadas en la parte alta de la cuenca del río Copiapó, en las subcuencas de los ríos Pulido, Manflas y Jorquera, se localizan, en general, muy próximas a la LML, denotando una evaporación débil y composiciones isotópicas cercanas a las de las lluvias de invierno que caen en esa porción de la cuenca.

Con respecto a las aguas superficiales correspondientes a la porción media de la cuenca, entre el embalse Lautaro y Pabellón, es notable que éstas presentan valores de $\delta^{18}O$ y δD que se encuentran entre las composiciones isotópicas características de las aguas de la parte alta de la cuenca y las de la estación Copiapó en Lautaro, en circunstancias que se encuentran aguas abajo de esta última estación. Las muestras tomadas en los sectores La Puerta y Pabellón, poseen características isotópicas más livianas que las del embalse, debiendo ser similares o más pesadas. Lo anterior se explica por la mezcla con aguas subterráneas que afloran en el sector La Puerta y que provendrían de las partes altas de la cuenca. Algo similar se puede indicar para las aguas provenientes de la depuradora de aguas servidas, que se localiza en la parte baja de la cuenca y que presenta composiciones isotópicas intermedias entre las aguas superficiales de la porción media y las aguas del embalse y/o de la parte baja de la cuenca.

Las estaciones de muestreo Angostura y Desembocadura, corresponden al afloramiento de aguas subterráneas en la porción más baja de la cuenca, puesto que después de Pabellón toda el agua superficial es canalizada y destinada a riego. En la estación Angostura, la composición isotópica del agua es muy similar a la del embalse Lautaro, mientras que las de la desembocadura del río Copiapó se presentan aún más enriquecidas en isótopos pesados, muy posiblemente producto de la evaporación que se produce a través de la zona no saturada del acuífero, por ser un área donde los niveles de agua subterránea se encuentran

relativamente someros. Su carácter evaporado también podría deberse a la infiltración de aguas de riego que se utilizan extensivamente en esta zona.

3.3 Composición isotópica de las aguas subterráneas

La composición isotópica de las aguas subterráneas de la cuenca del río Copiapó se ubica generalmente bajo la LML y excepcionalmente sobre esta línea. Su distribución permite trazar una línea de evaporación, a partir de un agua ligera, de composición isotópica similar a la del agua de lluvia colectada en las partes más altas de la cuenca y que se vuelve cada vez más pesada a lo largo de esta línea, hacia la derecha en la figura 1.

Es posible distinguir que las aguas de pozos y vertientes ubicados en la subcuenca de la quebrada Paipote, se sitúan más hacia la derecha en esta línea de evaporación (Fig. 1) que las del valle de Copiapó y son incluso más pesadas que las de la parte baja de la cuenca. Lo mismo ocurre con las aguas procedentes de labores mineras (agua en fracturas) situadas en la cuenca del río Copiapó.

Resulta notable que ninguna muestra de agua subterránea de la cuenca muestra el enriquecimiento en isótopos pesados que presentan las lluvias de verano en la parte alta de la cuenca y las lluvias de invierno de la parte baja. Lo anterior es indicativo de que la mayor parte de la recarga de las aguas subterráneas se produce a partir de las precipitaciones caídas durante el invierno en la parte más alta de la cuenca y del agua superficial producto de estas mismas precipitaciones.

La correlación positiva entre los valores de $\delta^{18}\text{O}$ de las aguas subterráneas y parámetros como conductividad y contenido de cloruro (indicadores de salinidad) valida la hipótesis de que este enriquecimiento en isótopos pesados se debe a procesos de evaporación. En estos diagramas binarios ($\delta^{18}\text{O}$ –conductividad y $\delta^{18}\text{O}$ –cloruro), existe una clara separación entre las aguas subterráneas de la subcuenca de la quebrada Paipote (pozos y vertientes) y las del valle del río Copiapó, con valores más enriquecidos de $\delta^{18}\text{O}$ en relación a su salinidad. Cercanas a este grupo se encuentran también las muestras de agua en fracturas, procedentes de labores mineras y las aguas de algunos pozos situados en la ciudad de Copiapó, Cerro Imán y Cerrillos. Esto último podría deberse a que se trata de pozos perforados parcialmente en roca, lo que incorpora agua más enriquecida en isótopos pesados.

4 Conclusiones

Los valores de $\delta^{18}\text{O}$ y δD de las precipitaciones de invierno se encuentran influenciados por la altitud y difieren de las lluvias de verano. Estas últimas se encuentran enriquecidas en isótopos pesados en relación a

las lluvias de invierno a la misma altura.

En general, las aguas superficiales de la parte alta de la cuenca presentan valores $\delta^{18}\text{O}$ y δD , al menos en época estival, que se encuentran cercanas a la LML, mientras que las de la porción intermedia corresponderían isotópicamente a una mezcla de las aguas evaporadas del embalse Lautaro y de las aguas subterráneas más livianas que afloran en el sector de La Puerta. Las aguas superficiales de la parte más baja de la cuenca son más pesadas por lo que se infiere habrían estado sometidas a una mayor evaporación o mezcla con aguas de riego.

Las aguas subterráneas se localizan sobre una línea de evaporación, a partir de un agua ligera. Ninguna muestra de agua subterránea muestra el enriquecimiento en isótopos pesados que presentan las lluvias de verano en la parte alta y las lluvias de invierno de la parte baja. Lo anterior es indicativo de que la mayor parte de la recarga de las aguas subterráneas se produce a partir de las precipitaciones caídas durante el invierno en la parte más alta de la cuenca y del agua superficial producto de estas mismas precipitaciones.

Agradecimientos

Esta investigación forma parte del estudio “Evaluación hidrogeológica de la cuenca del río Copiapó, con énfasis en la cuantificación, dinámica y calidad química de los recursos hídricos superficiales y subterráneos”, proyecto financiado por INNOVA-CORFO, SERNAGEOMIN, DGA, APECO y la Junta de Vigilancia del río Copiapó. Esta contribución cuenta con el patrocinio de la Subdirección Nacional de Geología de SERNAGEOMIN.

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* 14 (4): 411-422.
- Clark, I.; Fritz, P. 1997. *Environmental Isotopes in Hydrogeology*. Lewis Publishers: 328 p. Florida.
- Craig, H. 1961. Isotopic variations in meteoric waters. *Science* 133: 1702-1703.
- Gofiantini, R.; Roche, M.; Oliveri, J.; Fontes, J.; Zuppi, G. 2001. The altitude effect of tropical rains. *Chemical Geology* 181 (1-4): 147-167.
- Herrera, C.; Pueyo, J.J.; Sáez, A.; Valero-Garcés, B. 2006. Relación de aguas superficiales y subterráneas en el área del lago Chungará y lagunas de Cotacotani, norte de Chile: un estudio isotópico. *Revista Geológica de Chile* 33 (2): 299-325.
- Mazor, E. 2004. *Chemical and Isotopic Groundwater Hydrology*. Marcel Dekker, Inc.: 453 p. New York.