Compilación de la composición isotópica de aguas naturales en México

Gabriela Rebeles[1], José Luis Quijano[2] y Mahendra P. Verma[1]
[1]Instituto de Investigaciones Eléctricas, Reforma 113, Col. Palmira, Cuernavaca, CP. 62490, Morelos, México. [2]Consultor, Morelia, Michoacán, México. Correo: gabrielarebeles@hotmail.com

Resumen

Se presentan los primeros resultados de una investigación sobre la distribución espacial de las composiciones isotópicas de oxígeno 18 y deuterio en muestras de aguas de lluvia, superficiales, subterráneas y geotérmicas. El trabajo consiste en la recopilación e interpretación de datos, incluyendo datos de los informes de proyectos inéditos del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) y de la Secretaría de Recursos Hidráulicos de México. Se construyó una base de datos en Excel que contiene los valores de $\delta^{18}O$ y δD junto con parámetros geográficos, como la temperatura, precipitación, elevación y velocidad de viento. Con el análisis de dicha información se buscó una relación entre la composición promedio de lluvia y de aguas subterránea y los parámetros geográficos antes mencionados. Un modelo preliminar de la distribución de concentraciones de $\delta^{18}O$ y δD de las aguas, indica que mayor parte de lluvias en México vienen del Golfo de México.

Palabras clave: Geoquímica, isotopía, base de datos nacional, oxígeno 18, deuterio, análisis estadístico.

Compilation of isotopic composition of natural waters in Mexico

Abstract

The first results of an investigation of the spatial distribution of the oxygen isotopic compositions of samples 18 and deuterium in rainwater, surface water, groundwater and geothermal are presented. The work is the collection and interpretation of data, including data from unpublished reports of projects of the International Atomic Energy Agency (IAEA) and the Mexican Ministry of Water Resources. We prepared a database in Excel that contains the values of $\delta^{18}O$ and δD with geographical parameters, such as temperature, precipitation, wind speed and elevation. The analysis of this information seeks for a relationship between the average composition of rain and underground waters and the aforementioned geographical parameters. A preliminary model of the distribution of concentrations of $\delta^{18}O$ and δD water indicates that most of rain in Mexico come from the Gulf of Mexico.

Keywords: Geochemistry, isotope national database, oxygen 18, deuterium, statistical analysis.

1. Introducción

Los elementos hidrógeno (H) y oxígeno (O) que conforman la molécula del agua en su estado natural, están formados por una mezcla de isótopos. Los isótopos son átomos cuyo núcleo contiene el mismo número de protones pero diferente número de neutrones; en la naturaleza estos isótopos se manifiestan como especies estables e inestables, dependiendo de los límites de detección del tiempo de decaimiento radiactivo (Hoefs, 1988). Los isótopos estables del H y O se han convertido en una herramienta indispensable para abordar aspectos clave del ciclo hidrológico (Gat, 1996) y en la prospección de recursos naturales; además son trazadores geoquímicos ideales de las aguas, debido a que sus concentraciones no se alteran por la interacción con los materiales del subsuelo aunque son sensibles a los efectos de latitud, altitud y temperatura (efectos isotópicos). Cabe señalar que la variación en la composición isotópica de las aguas naturales se debe principalmente al proceso de evaporación, ya que las moléculas ligeras son más volátiles que las que contienen un isótopo pesado. Por tanto, el agua que se evapora del océano contiene menos deuterio y óxigeno-18 (OIEA, Vol. 1); además existe influencia de las condiciones climáticas e hidrológicas que imperan en el país.

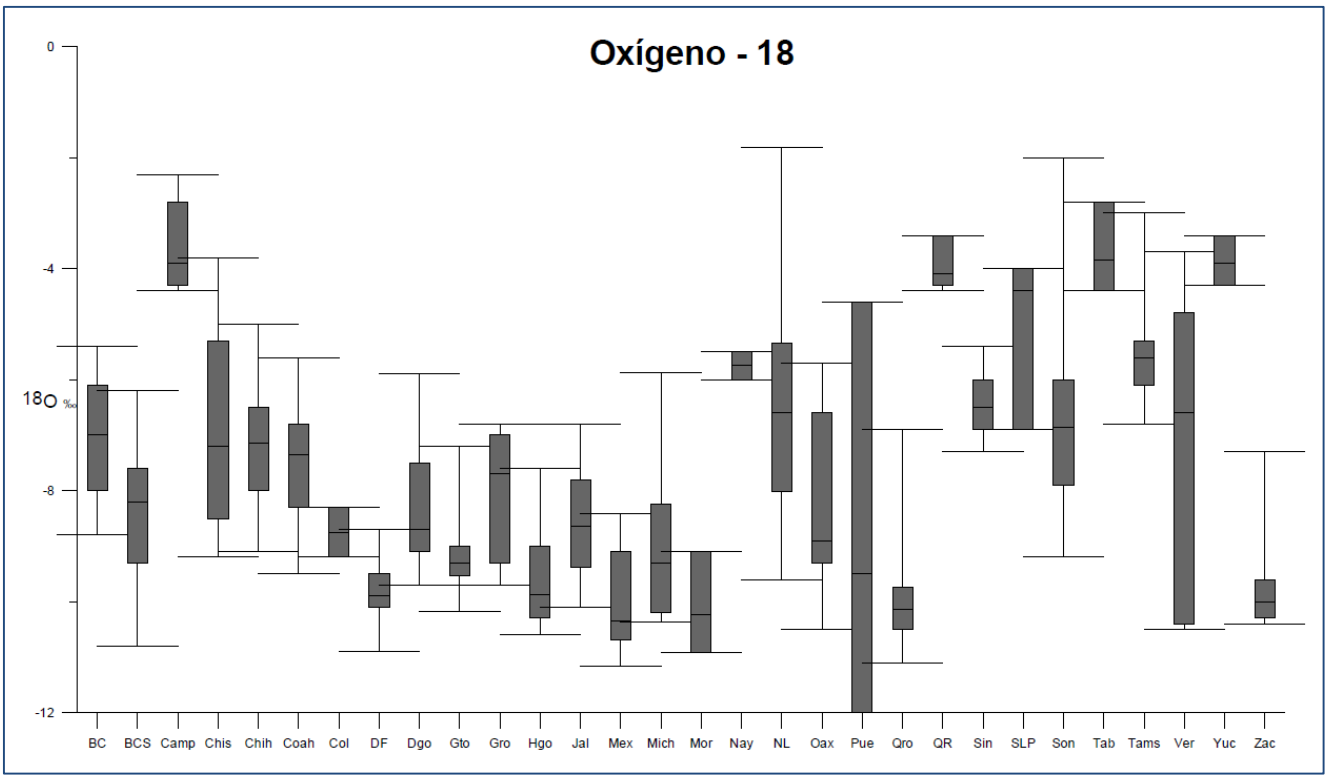
El presente trabajo consiste en realizar un análisis e integración de datos isotópicos que permita mostrar la distribución de las concentraciones isotópicas de oxígeno-18 y deuterio en México para comprender los mecanismos de recarga de los yacimientos geotérmicos.

2. Antecedentes

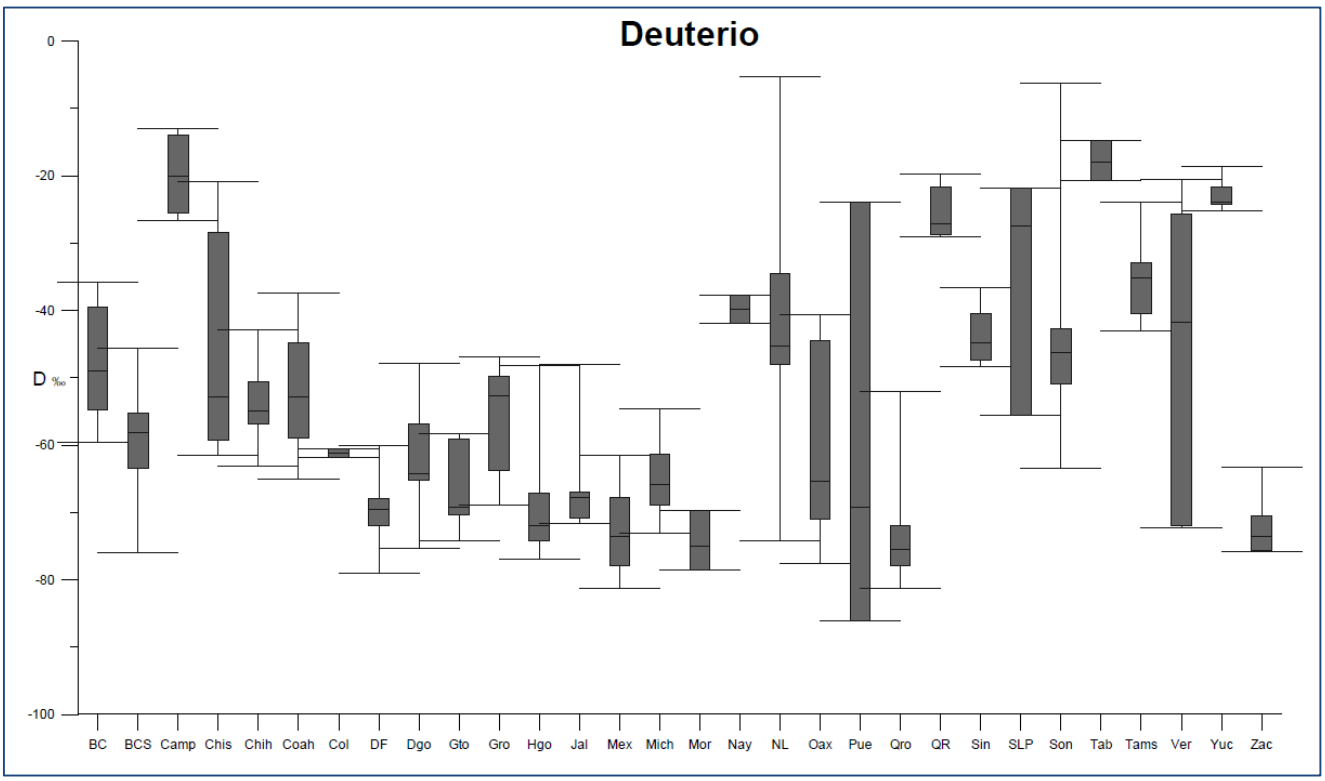
Los estudios isotópicos de aguas meteóricas en México inician en 1962 con la Red Global de Isótopos en la Precipitación (GNIP) quien proporciona información de la variación isotópica de $\delta^{18}O$ y δD en los estados de Chihuahua y Veracruz y a nivel mundial. Asimismo se han llevado a cabo proyectos en instituciones educativas y gubernamentales con apoyo del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) y de la Secretaría de Recursos Hidráulicos de México, con el objeto de estudiar las aguas naturales. La contribución de estos estudios ha permitido conocer los factores que influyen en el fraccionamiento isotópico en el país, además de identificar zonas de recarga y patrones de flujo en acuíferos, así como la calidad de los mismos (Castillo et al., 1985; Nieva et al., 1985; González et al.,1994; Verma et a., 2000; Cortés et al. 2006; Wassenar et al., 2009; Calva, 2011; Expósito, 2012; Mata, 2012; Kretzschmar y Frommen, 2013; Hernández, 2014; Pérez et al., 2015). Con la aplicación de los análisis isotópicos en geotermia se ha determinado el origen y la temperatura de los fluidos, incluyendo los procesos de ebullición y condensación que existen en los sistemas geotérmicos (Truesdell et al., 1981; Portugal et al., 1994; González et al., 2005). Wassenaar et al. (2009) realizaron un estudio de isótopos estables de 234 sitios, incluyendo aguas superficiales y de pozos poco profundos de la República Mexicana, de dicho estudio se retoman los datos isotópicos para nuestro análisis.

3. Metodología

El trabajo previo que se requirió para el desarrollo de la investigación, inició con la construcción de la base de datos, misma que concentra las variables que posteriormente fueron analizadas. En este sentido, el objetivo es buscar la relación entre la composición de lluvia y de aguas subterráneas con los parámetros geográficos (temperatura, precipitación, elevación y velocidad de viento). Para este efecto se seleccionaron 474 puntos con información isotópica que se emplearon para: (i) Calcular los valores máximos y mínimos de $\delta^{18}O$ y δD para cada estado, así como la mediana (Q2), el percentil 25 (Q_1) y 75 (Q_3); estos datos estarán representados en un diagrama de caja (Box-Whisker). (ii) Elaborar mapas de distribución y concentración de $\delta^{18}O$ y δD pertenecientes a aguas subterráneas en México, mediante una interpolación espacial, haciendo uso de ArcGis 10.0.



(a)



(b)

Fig. 1. Diagrama de caja (Box-Whisker) de $\delta^{18}O$ y δD de cada estado de la República Mexicana.

4. Resultados e Interpretación

La Figura 1 muestra los diagramas de caja de los datos recopilados de $\delta^{18}O$ y δD. Las tapas al inicio y final de cada recuadro (bigotes) indican los valores mínimos y máximos de los datos medidos. De este modo la caja queda definida por un cuartil inferior y uno superior que delimita los valores concentrados en un 25% y 75% de acuerdo a la frecuencia acumulada. El porcentaje está determinado por la tendencia de la mediana hacia cada uno de los cuartiles. De esta forma es preciso conocer el rango de concentración que tienen nuestros datos. Con al análisis de estos gráficos es sencillo representar y demostrar cuál es la concentración isotópica de $\delta^{18}O$ y δD para cada estado. La elevación de cada punto en mismo estado varía notablemente, lo que se refleja en los valores isotópicos de las muestras.

De acuerdo con la ubicación geográfica, el territorio mexicano queda comprendido en la faja de desiertos. No obstante la humedad recibida del Golfo de México y del Océano Pacífico origina que las condiciones climáticas no sean las mismas en el país. De acuerdo con los regímenes pluviométricos de Koppen que indican que la mayor parte del país presenta lluvias en verano, omitiendo el extremo noroeste que tiene régimen de lluvias de invierno, se infiere que la distribución geográfica de la precipitación en la República Mexicana está ligada con la orografía del país como con la distribución de los rasgos más prominentes de la circulación atmosférica (Garcia, 1965). Considerando que el clima está determinado por distintos factores, de acuerdo a la temperatura se clasifica en cálido y templado y de acuerdo con la humedad en húmedo y seco. En la Figura 2 se muestra que el clima seco se encuentra en la mayor parte del centro y norte del país, donde las precipitaciones oscilan entre los 300 mm a 600 mm anuales y con temperaturas en promedio de 22 a 26°C.

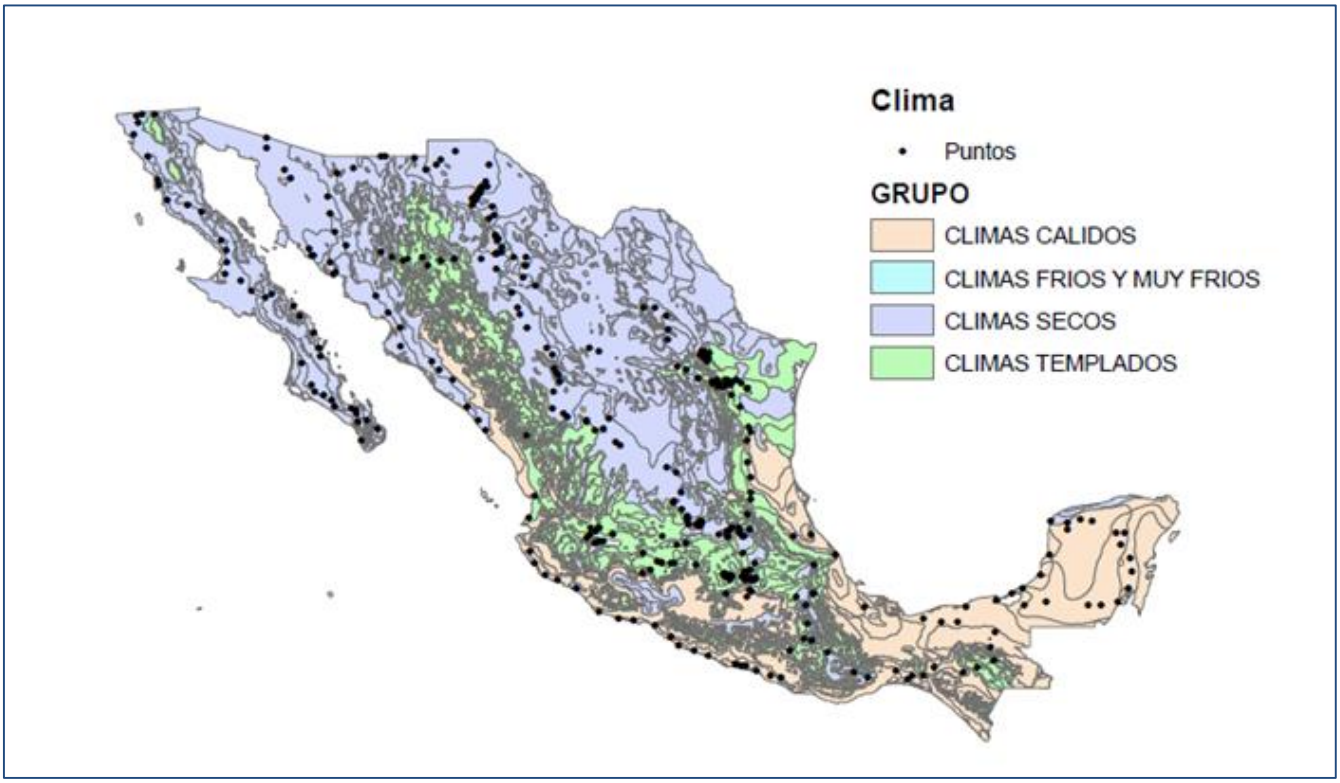
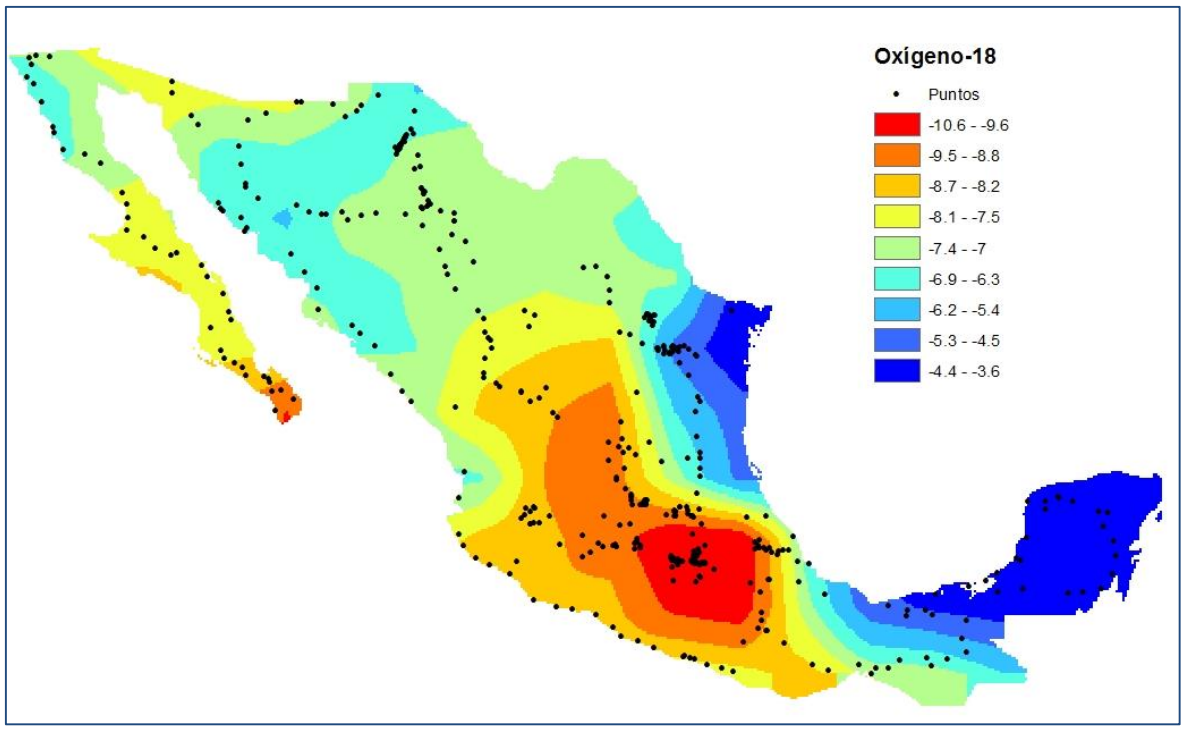
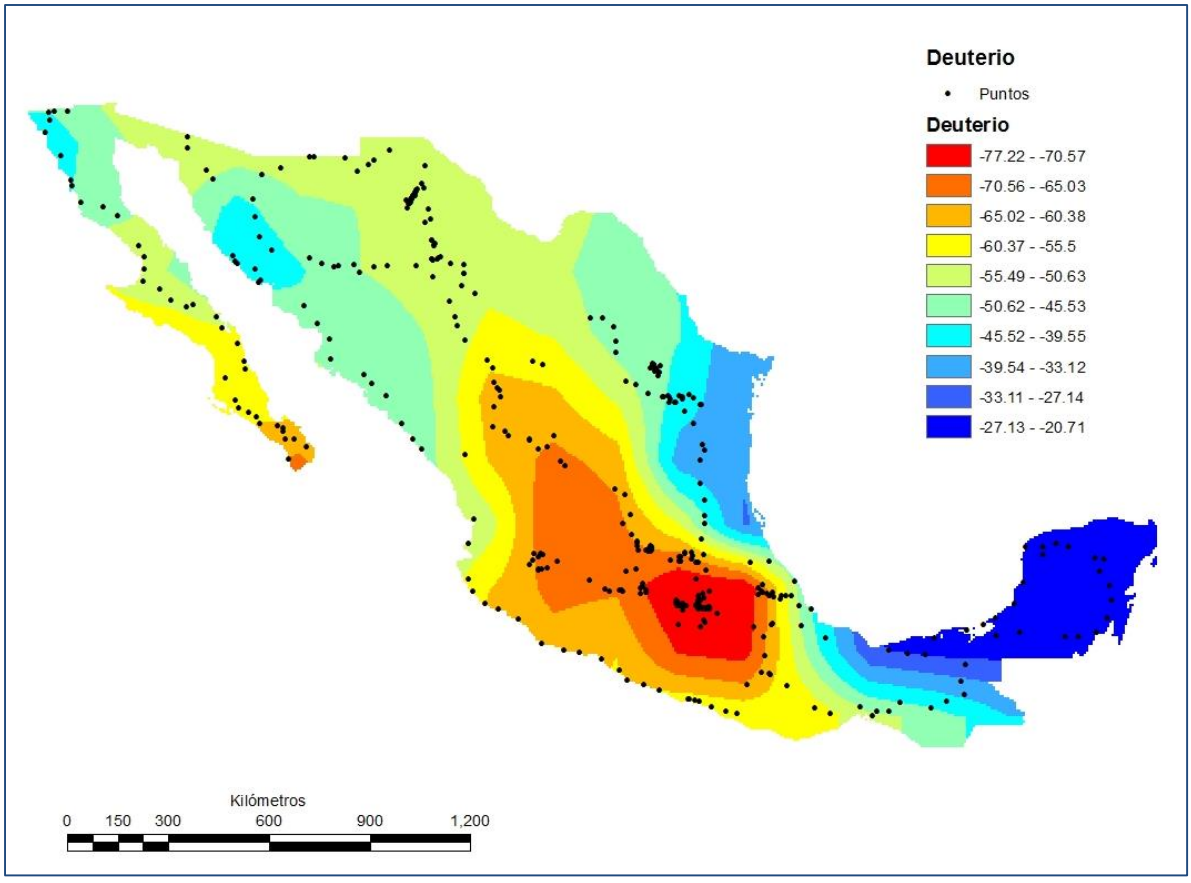


Fig. 2. Diagrama de clasificación del clima en México.



(a)



(b)

Fig. 3. Distribución espacial de $\delta^{18}O$ y δD en la República Mexicana

La Figura 3 presenta la distribución espacial de $\delta^{18}O$ y δD de las muestras de lluvia, subterráneas y superficiales. El comportamiento es similar para ambos elementos isotópicos. Los valores son mayores en la zona de Golfo de México y en la parte noroeste de México. Esto indica que la mayor parte de lluvia en los meses de mayo-octubre llega del Golfo de México. En la parte norte llueve en los meses de diciembre-febrero; estas lluvias son originadas por los vientos polares que vienen del océano pacifico. Así, la precipitación en la zona de clima cálido es de 2,000 a 4,000 mm anuales que corresponde a la zona adyacente al Golfo de México. Esto también sustenta la hipótesis de que las lluvias en México provienen del Golfo de México.

5. Conclusiones

A partir de los resultados de análisis de los datos isotópicos ($\delta^{18}O$ y δD) en las muestras de aguas de lluvia, superficiales y subterráneas en México se concluye que:

- Es difícil cuantificar los efectos de parámetros como *altitud, temperatura, distancia de costa, y cantidad de precipitación*, debido a complejidad en la topografía y a la localización del Océano Pacifico y Golfo de México. Sin embargo, el efecto de altitud se presenta en la península de Yucatán, dado que muestra un enriquecimiento en $\delta^{18}O$ y δD.

- Hay dos temporadas de lluvias en México. En la zona centro y sur las lluvias proceden del Golfo de México en los meses de mayo-octubre; mientras que en la parte norte las lluvias se originan en el Océano Pacífico en los meses de diciembre-febrero.

- Los datos isotópicos de las muestras de lluvias y subterráneas indican una clara relación entre ambos tipos de aguas.

Agradecimientos

El trabajo se desarrolló con el financiamiento del proyecto *FONDO SECTORIAL CONACYT-SENER SUSTENTABILIDAD ENERGÉTICA IIE-CEMIE-GEO-P14*.

Bibliografía

Calva, D. (2011). Caracterización isotópica de la precipitación en el estado de San Luis Potosí. Tesis de Maestría. Inédito.

Castillo, R., Morales, P., y Ramos, S. (1985). El oxígeno-18 en las aguas meteóricas de México. *Revista Mexicana de Física*, 637-647.

Cortés, A., A. Lozano, J. Pérez, y F. Martínez. (2006). Estudio exploratorio de las condiciones isotópicas e hidrogeoquímicas de afloramientos en la comunidad de El Arbolito, Municipio de Cadereyta, Qro. *Centro Queretano de Recursos Naturales*, Tomo X.

Expósito, L. (2012). Características hidrodinámicas e hidroquímicas del acuífero multicapa del Valle de Toluca y sus implicaciones en la optimización de estrategias para la protección de la calidad del agua subterránea. Tesis Doctoral. Inédito.

García, E. (1965). Distribución de la precipitación en la República Méxicana. *Instituto de Geografía*, V.I, UNAM, 171-191.

Gat, J.R. (1996). Oxygen and hydrogen isotopes in the hydrologic cycle. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* 1996. 24:225–62, 225 - 258.

González, E., Carrillo, A., Levresse, G., Tello, E., Venegas, S., Ramirez, G., y otros (2005). Hydro-geochemical and isotopic fluid evolution of the Los Azfres geothermal field, Central Mexico. *Applied Geochemistry*, 20, 23-39.

González, L., Sánchéz, F., y Mata, I. (1994). *Estudio hidrogeoquímico e isotópico de la Comarca Lagunera, México*. OIEA, 237-275.

Hernández, E. (2014). Caracterización hidrogeoquímica, calidad del agua e identificación de áreas de recarga en los acuíferos Amazcala- Buenavista mediante geoquímica e isótopos estables. Tesis de Maestría. Inédito.

Hoefs, J. (1988). *Stable Isotope Geochemstry*. Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg .

Kretzschmar, T., and Frommen, T. (2013). Stable isotope composition of surface and groundwaterin Baja California, Mexico. *Procedia Earth and Planetary Science*, 7, 451-454.

Mata, I.L. (2012). Isotopía del acuífero de Sierra Azul y Estación Terrazas, Chihuahua. *Memorias del XXII Congreso Nacional de Hidráulica*, 2012.

Nieva, D., Oliver, R., Verma, S.P., Verma, M.P., Santoyo, E., Portugal, E. (1985). Estudio hidrogeoquímico de acuíferos. Reporte interno (IIE). Inédito.

OIEA (Vol. 1). Environmental Isotopes in the Hydrological Cycle "Principles and Applications". Water Resources Programme, 1.

Pérez, J., Cortés, A., Inguaggiato, S., Salas, M., Cervantes, J., and Heilweil, V.M. (2015). Meteoric isotopic gradient on the windward side of the Sierra Madre Oriental area, Veracruz- Mexico. *Geofísica Internacional*, 267-276.

Portugal, E., Verma, M.P., Barragán, R., y Mañon, A. (1994). Geoquímica isotópica de 13C, D y 18 O fluidos del sistema geotermico Los Humeros, Puebla (México). *Geofísica Internacional,* 33, 607-618.

Truesdell, A., Thompson, J., Coplen, T.B., Nehring, N., and Janik, C. (1981). The origin of the Cerro Prieto Geothermal Brine. *Geothermics*, 10, 225-238.

Verma, M.P., Quijano, J., Johnson, C., Gerardo, J., Arellano, V. (2000). Origin of rainwater acidity near the Los Azufres geothermal field, Mexico. *Geothermics*, 29, 593-608.

Wassenar, L., Wilgenburg, S. V., Larson, K., and Hobson, K. (2009). A groundwater ($\delta^{18}O$, δD) isoscape for México. *Journal of Geochemical Exploration*, 123-136.