
Isótopos estables como indicadores de intrusión salina en el acuífero del Valle de Boca Abierta, Sonora, México.

D. M. Limón Leyva^{*}, D. H. Encinas Yepiz², E. Galindo Valenzuela¹, A. G. Canales Elorduy², L. A. Islas Escalante³

¹ Ingeniería en Ciencias Ambientales, Instituto Tecnológico de Sonora.

² Depto. de Ciencias del Agua y del Medio Ambiente, Instituto Tecnológico de Sonora.

³ Depto. de Ingeniería Civil, Instituto Tecnológico de Sonora.

Stable isotopes as indicators of saline intrusion in the aquifer Valle de Boca Abierta, Sonora, México.

Abstract

The seawater intrusion problem began to occur in coastal areas where there is a high demand for groundwater. In Mexico this problem is present in 18 aquifers, mainly in northwest area. In the State of Sonora, the aquifers of “Costa de Hermosillo”, “Valle de Guaymas”, “Caborca”, and “Mesa Arenosa de San Luis” present irreversible damage due to excessive extraction. Today the water isotopes are useful to understand characteristics of aquifers. The use of isotopes allows it to perform timely analysis for future estimated behaviors. The present study was conducted in the Boca Abierta Valley aquifer which is adjacent to the “Valle de Guaymas” aquifer. It was taken 25 water samples, which were collected in 18 agricultural wells, 6 drinking water wells and 1 directly from the sea. Physical-chemistry analysis, (electrical conductivity, pH, solids, sulphates, chlorides, calcium, magnesium and potassium) were performed. Laser spectroscopy was used for the analysis of stable isotopes, (oxygen-18 and deuterium). Ionic relations derived from physico-chemical analysis support the isotopic information, reflecting the behavior of the aquifer. Therefore, the isotopic enrichment is caused by high levels of evaporation, due to location and the climate of semi-desert conditions providing an isotopic fractionating, as it is the case of well 147, rich in isotopes, but does not appear with saline intrusion problems in the physical-chemistry relationships. However, the 133 presents clear issues of salinity, closely related to the degree of seawater intrusion.

Key words: laser spectrometry, stable isotopes, seawater intrusion, ion ratios, coastal aquifer.

Resumen

Los efectos de intrusión marina empezaron a surgir en zonas costeras con alta demanda de agua subterránea. En México este problema se encuentra presente en 18 acuíferos del País. En Sonora, los acuíferos de la costa de Hermosillo, el Valle de Guaymas, Caborca y Mesa Arenosa de San Luis presentan daños irreversibles debido a los grandes volúmenes que se extrae de ellos. Hoy en día los isótopos del agua son útiles para comprender características de acuíferos, con la que se puede hacer una identificación puntual, actualizada y permite estimar comportamientos futuros. La presente investigación se realizó en el acuífero del Valle de Boca Abierta, el cual colinda con el acuífero del Valle de Guaymas, ambos situados al noroeste de México. En ella se analizaron un total de 25 muestras de agua, las cuales fueron colectadas en 18 pozos agrícolas, 6 pozos de agua potable y 1 directamente del mar. Se realizaron análisis físico-químicos (conductividad eléctrica, pH, sólidos, sulfatos, cloruros, calcio, magnesio y potasio) y se utilizó la espectroscopia láser para el análisis de isótopos estables (oxígeno-18 y deuterio). Las relaciones iónicas obtenidas de los análisis fisicoquímicos respaldan la información isotópica, que indica el comportamiento del acuífero. Por lo tanto, el enriquecimiento isotópico es causado por altos niveles de evaporación, debido a la localización del clima semidesértico, proporcionando un fraccionamiento isotópico. Como es el caso del pozo 147, enriquecido en

*Autores de correspondencia
Email: delvia.limon@itson.edu.mx

isótopos, sin embargo no aparecen significativamente con problemas de salinidad en las relaciones iónicas, caso contrario del pozo 133, que presenta claros problemas de salinidad, lo que proporciona información del avance de intrusión marina.

Palabras clave: espectrometría laser, isotopos estables, intrusión marina, relaciones iónicas, acuífero costero.

Introducción

El problema de intrusión marina empezó a producirse en zonas costeras con alta demanda de agua subterránea (Castillo, 2003). En México este problema se encuentra presente en 18 acuíferos del país. En Sonora, los acuíferos de la costa de Hermosillo y el del Valle de Guaymas presentan daños irreversibles debido a la excesiva extracción (Canales e Islas, 2008 y Félix J.C., 1999). Las consecuencias son: Pozos que han sido cerrados, zonas agrícolas abandonadas; produciendo impacto negativo en actividades humanas debido al deterioro del agua subterránea (Zúñiga *et al.*, 2009.). Hoy en día los isotopos del agua son útiles para comprender características de acuíferos, permiten una identificación puntual, actualizada y permite estimar comportamientos futuros (Cortes, 2011). Por lo tanto el presente estudio tiene como objeto determinar la concentración de isotopos estables (Deuterio y O¹⁸), del agua subterránea, en el Valle de Boca Abierta, Sonora, México, mediante instrumentos de laboratorio especializados en la detección de isotopos estables para conocer el avance de intrusión salina en este Valle.

Materiales y método

Localización del área de estudio

La presente investigación se realizó en el acuífero del Valle de Boca Abierta (longitud oeste 110°34'04'', Latitud norte 28°04'10''), el cual colinda al acuífero del Valle de Guaymas, separados por la sierra San Francisquito, ambos situados al noroeste de México, (Figura 1) (Quiñones, 2005).

Muestreo

Se analizaron un total de 25 muestras de agua, las cuales fueron colectadas de 18 pozos agrícolas, 6 pozos de agua potable y 1 muestra de mar, al sur de la zona de estudio.

Análisis.

Se realizaron análisis físico-químicos (conductividad eléctrica, pH, sólidos, sulfatos, cloruros, calcio, magnesio y potasio) según (Custodio y Llamas, 1996).

El análisis de isotopos estables (oxígeno-18 y deuterio), se realizaron mediante espectroscopia láser, con esta técnica un láser es reflejado en una serie de espejos finos que crean un ruta de alrededor de 3000 metros de largo en una cavidad pequeña, en esta cavidad las cantidades de ¹H, ²H, ¹⁶O y ¹⁸O son medidas directamente al interferir éstas con su paso las propiedades ópticas del láser, (LGR, 2008).

Antes de pasar al análisis de las muestras en el espectroscopio láser, estas deben de transferirse a un contenedor (Vial) con capacidad de 2 ml. Este paso debe de ser lo más rápido posible, ya que si se efectúa en un tiempo largo y a temperatura alta, la muestra puede evaporarse lo cual cambia el contenido isotópico. Teniendo las muestras ya colocadas en "vial", se pasan al espectroscopio láser, para conocer los cocientes molares de (²H/¹H) y oxígeno 18 (¹⁸O/¹⁶O) y posteriormente se calculó la fórmula estandarizada para la notación δ, (Tarín, 2009).

Resultados y discusión

Los resultados obtenidos a lo largo de la investigación, efectivamente demuestran que el agua subterránea del acuífero costero del Valle de Boca Abierta, ya presenta inicios de intrusión salina, especialmente en los pozos muestreados más cercanos a la costa.

Para lograr una mejor comprensión de los resultados, estos se presentaron por secciones, tomando en primer lugar las relaciones iónicas, resultado de los análisis físico-químicos de las muestras, enseguida se encuentran los datos de los resultados del análisis isotópico, mostrando su relación Deuterio & Oxígeno-18 y posteriormente su comparación con la Línea Meteorica Global (GMWL).

Relaciones Iónicas

Las relaciones iónicas son realizadas debido a que puede tener relación con el terreno del que procede el agua, puede indicar la acción de fenómenos modificadores o señalar ciertas características del agua (Ferrera *et al.*, 1999). En este caso es posible

dependen de la utilidad en función del problema a estudiar (Custodio y Llamas 1996). Además desempeñan un papel muy importante debido a que respaldan la información isotópica. En la relación SO_4^- - vs HCO_3^- (Figura 2), los pozos

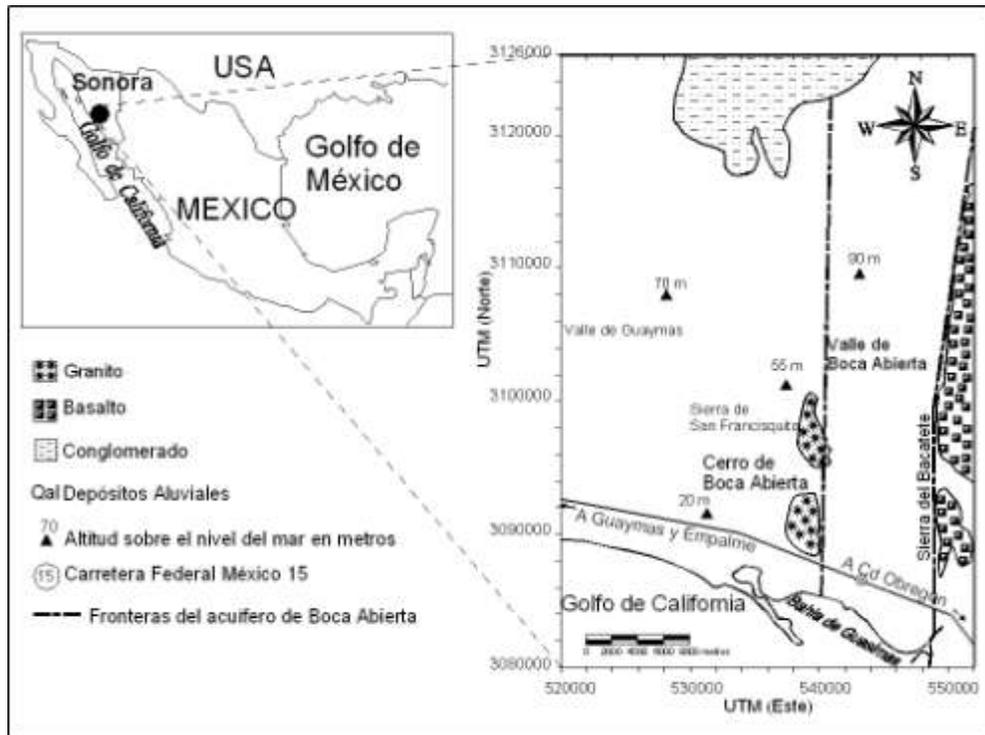


Figura 1. Localización del Valle de Boca Abierta, Sonora.

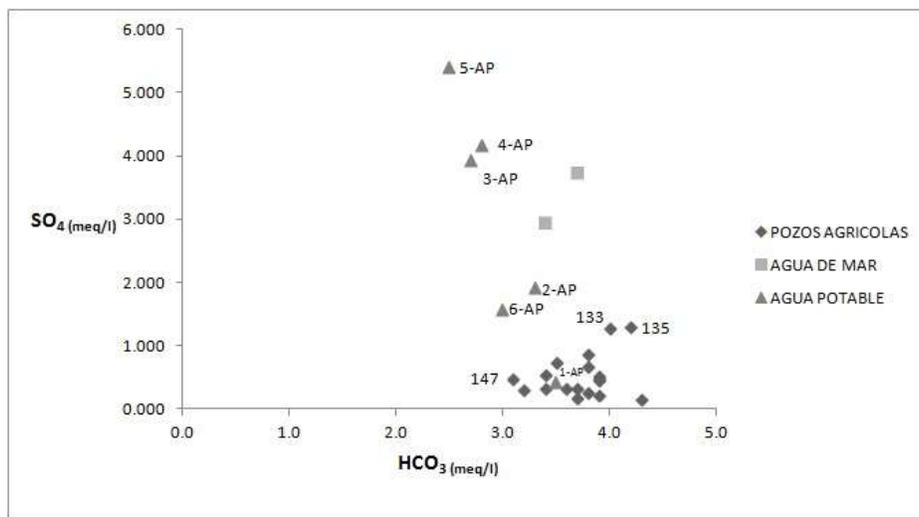


Figura 2. Relación SO_4^- - vs HCO_3^- .

establecer distintos tipos de relaciones iónicas que

3, 4 y 5 tienen niveles altos de sulfatos, probablemente debido a que ingresa agua del acuífero superior e inferior del valle obteniendo su mezcla, también puede que sean ocasionados por deslave de rocas o intemperismo (Cortes, 2011).

Se puede suponer que ha existido mezcla de agua de mar, mostrando un buen indicio de contaminación marina especialmente en el pozo 133 con una relación elevada de Mg^{+} vs Ca^{+} (Figura 3).

En la figura 4 SO_4^{-}/Cl^{-} vs Cl^{-} , el pozo 133 muestra concentraciones elevadas del ión cloruro, que sobrepasan las cantidades normales del agua dulce,

contiene valores mayores a 28 meq/l, indicando alto grado de salinidad y se encuentra en la línea de tendencia próximo al mar. Lo que más delata el comienzo de la intrusión marina es una rápida elevación del contenido del ión cloruro (Castillo, 2003). En las relaciones Mg^{+}/Cl^{-} vs Cl^{-} y Na^{+}/Cl^{-} vs Cl^{-} (Figura 5), revela el grado de contaminación por intrusión marina del pozo 133 que indica su cercanía al agua de mar, dejando sin duda el problema que enfrenta la zona costera la cual se está estudiando.

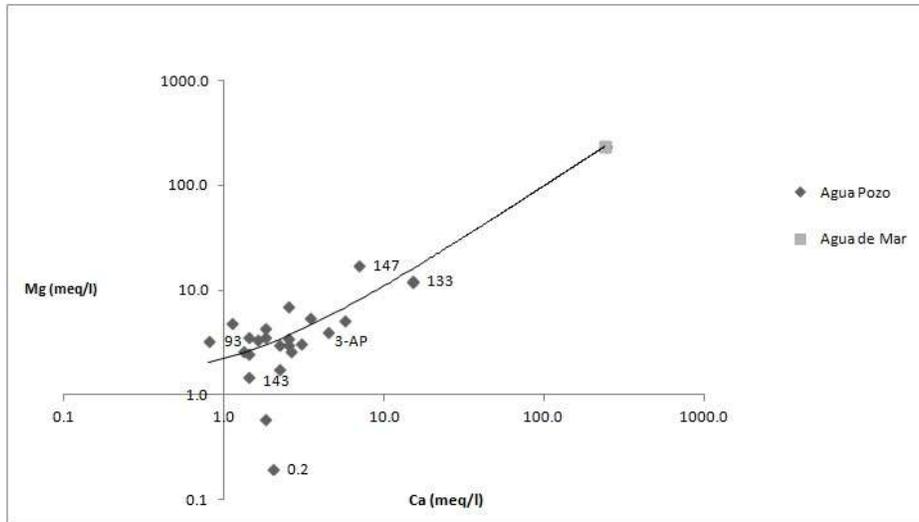


Figura 3. Relación Mg^{+} vs Ca^{+} .

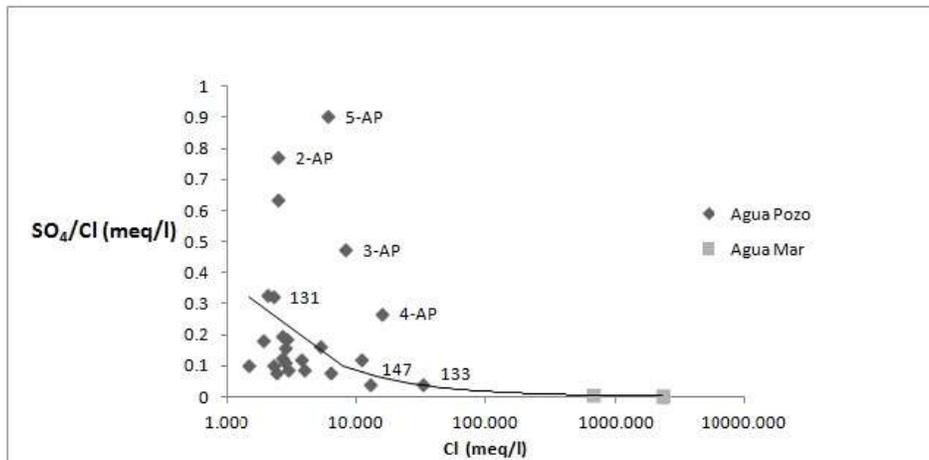


Figura 4. Relación SO_4^{-}/Cl^{-} vs Cl^{-} .

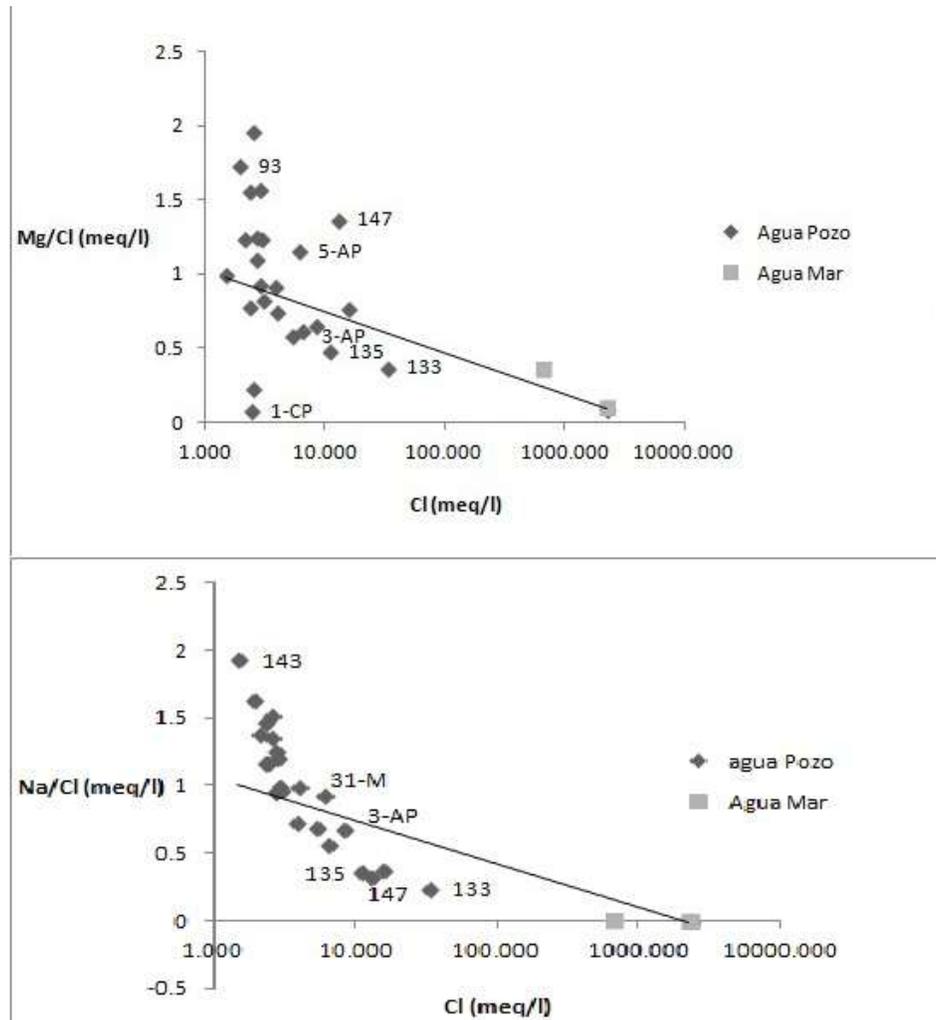


Figura 5. Relaciones iónicas Mg+/Cl- vs Cl- y Na+/Cl- vs Cl-.

Isótopos

La variación de los contenidos de ^2H y ^{18}O (Figura 6), de estas aguas indican que el enriquecimiento isotópico es causado por niveles de evaporación, debido en gran parte por la localización del Valle, con clima semidesértico proporcionando fraccionamiento isotópico. Como es el caso del pozo 143 el cual se encuentra con valores positivos de isótopos, sin embargo este no apareció significativamente en las relaciones iónicas, caso contrario del pozo 133, el cual se infiere que presenta problemas de salinidad, por su cercanía a la costa y respaldado por la información de las relaciones iónicas e isotópicas.

También se realizó una comparación con la Línea Meteorica Global (GMWL) $Y=8*X+10$ (línea de cuadrados), con la línea exclusiva de Sonora $Y=7.12*X-0.50$ (línea de asteriscos), la línea de evaporación de Sonora $Y=2.71*X-30.83$ (línea de círculos) propuestas por Rangel, donde Y es el deuterio y X es el oxígeno. Además se comparan con la línea de las muestras $Y=2.604*X-25.98$ (línea de rombos) la cual aparece sobre la línea de evaporación de Sonora, con tendencia muy similar, indicando que efectivamente es agua auténtica de pozo (Figura 7).

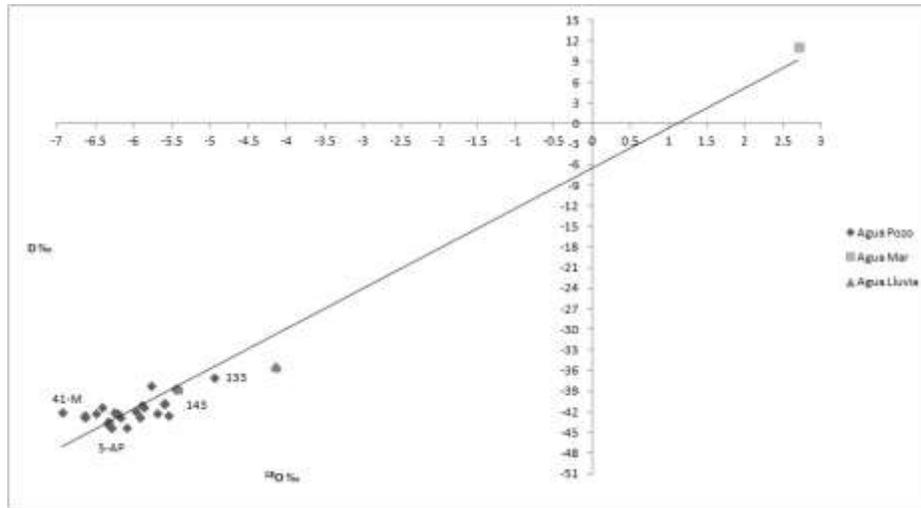


Figura 6. Deuterio ^2H vs Oxígeno ^{18}O

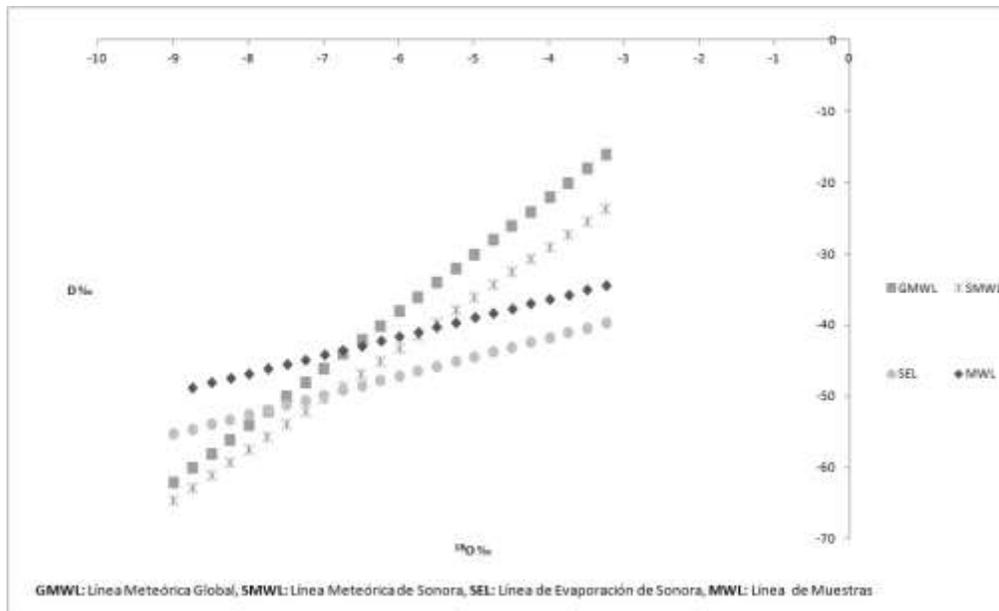


Figura 7. Comparación de Muestras con la Línea Meteórica Global (GMWL).

Conclusiones

En la investigación se tiene que efectivamente, la zona de estudio, es decir el Valle de Boca Abierta, presenta indicios de contaminación por mezcla de agua de mar en el acuífero.

Esto debido a la evidencia que muestran las gráficas, ya que se observa la tendencia de las muestras analizadas hacia el agua de mar. También se tiene que el agua muestreada presenta un

fraccionamiento isotópico causado por evaporación, que permite el enriquecimiento isotópico.

En especial el pozo 133 se encuentra enriquecido y presenta el problema de intrusión salina, por diferentes factores que lo influyen, como lo son; la cercanía a la costa, los niveles elevados de H^2 y O^{18} y su constante aparición en las relaciones iónicas, lo cual proporciona información del avance de la intrusión marina.

Agradecimientos

Al proyecto: Modelación de Intrusión Salina en el Acuífero Costero del Valle de Boca Abierta, Sonora. (PROFAPI 00155).

Bibliografía

- Canales E.A.G, Islas E.L.A. 2008. Hidrología Subterránea. Cd. Obregón, Sonora, México: GrafItson. Departamento de Ciencias del Agua y del Medio Ambiente. Modificado el año 2011.
- Castillo J. 2003. Aplicación de diferentes metodologías para estudiar la intrusión salina en acuíferos de Sonora, México. Hidrogeología de acuíferos Costeros. Universidad de Sonora, México.
- Cortes A. 2011. Isótopos Ambientales. Instituto de Geofísica de la UNAM, México D.F.
- Custodio E. y Llamas M. 1996. Hidrología subterránea, TOMO I y II (2da.Ed). Barcelona, España, Ediciones OMEGA, pág. 2308.
- Félix J.C. 1999. Estimación de la recarga vertical utilizando el trazador natural ion cloruro en el Valle de Boca Abierta Guaymas Sonora, México. Tesis de maestría no publicada, Instituto Tecnológico de Sonora, Cd. Obregón, Sonora, México, pág. 55.
- Ferrera V., J.R Fagundo, P. González, I. Morrell, A. Pulido-Boch, M. López-Chicano y F. López-Vera, 1999. "Caracterización Hidrogeoquímica de los acuíferos kársticos de la Cuenca y Zapata, Matanzas, Cuba". Voluntas Hidráulica, (91): 21-27, C. Habana. ISSN 0505-9461.
- LGR, Los Gatos Research. 2008. Liquid-Water Isotope Analyzer, Automated Injection. California, USA, pág. 69.
- Quiñonez P. J.A. 2005. Barrera de pozos de inyección como medidas de control de la intrusión salina: un caso de estudio en el valle de boca abierta, noroeste de México. Tesis de maestría no publicada, Instituto Tecnológico de Sonora, Cd. Obregón, Sonora, México, pág. 30.
- Tarín T.T. 2009. Uso de isótopos estables de agua (^2H y ^{18}O) en Eco-Hidrología. Tesis de Licenciatura no publicada, Instituto Tecnológico de Sonora, Cd. Obregón, Sonora, México, pág. 53.
- Zúñiga A. Karen, Canales E. Armando G., Encinas H., Islas E. Luis A. 2009. Isótopos Estables del Agua como herramienta para estudiar el agua subterránea con enfoque en el problema de intrusión salina en la zona costera de Guaymas, Sonora, México, pág. 25.