

EVALUACIÓN DE INTRUSIÓN SALINA EN EL ACUÍFERO RÍO SINALOA, MÉXICO

ROSARIO ITURBE-ARGÜELLES, LUIS CARLOS

GONZÁLEZ MÁRQUEZ, ANA ALEJANDRINA

CASTRO RODRÍGUEZ, JOSÉ ANTONIO BARRERA

MENDOZA, ADRIANA RAMÍREZ GONZÁLEZ

Y JOSÉ ANTONIO MENDOZA-MILLÁN

A continuación, se presentan los resultados de un estudio realizado conjuntamente entre el Instituto de Ingeniería de la UNAM y la Universidad de Occidente, Unidad Guasave. El objetivo de este estudio fue evaluar la posible intrusión salina del acuífero costero, Río Sinaloa. El área pertenece a una de las zonas agrícolas más importantes del país, por lo que hay factores que pueden incrementar la salinidad del suelo debido al uso de fertilizantes y a la aplicación de agua subterránea para riego.

Para determinar la salinidad del agua subterránea dentro de la porción costera del acuífero, se llevaron a cabo muestreos de agua en pozos del municipio de Guasave, Sinaloa, con la intención de conocer los iones mayoritarios para realizar análisis hidrogeoquímicos y conocer la calidad del líquido. Se midió la densidad del agua, en algunos pozos, con la finalidad de alimentar el modelo de Glover y Ghyben-Herzberg, a través del cual, fue posible realizar la simulación de la cuña de intrusión marina.

Los resultados indican que la cuña salina penetra 3 km a partir de la línea de costa, además, que la profundidad es de aproximadamente 30 m.

Introducción

En México, el mayor consumidor de agua es el sector agrícola, del cual, 34% es de origen subterráneo. Dos de los principales Distritos de Riego (DR) del país se ubican al norte del estado de Sinaloa: el DR063 Guasave, Sin. y el DR075 Río Fuerte, Sin., distritos que consumen más de 50% del agua utilizada para la agricultura en el estado, cuyo origen es agua almacenada en presas y en pozos (CONAGUA 2017).

El acuífero Río Sinaloa es un acuífero costero, en el cual, existe el riesgo de que la intrusión salina incremente la salinidad del agua subterránea en la zona cercana al litoral, si se presentan condiciones de extracción intensiva de agua subterránea que alteren la dirección del flujo de agua (DOF 2016).

Área de Estudio

El área de estudio se localiza en la parte noroeste del estado de Sinaloa, en la zona costera del acuífero Río Sinaloa, en el municipio de Guasave, entre los meridianos 108°10'00" y 109°06'50" longitud oeste y los paralelos 25°10'03" al 25°46'19" latitud norte.

La corriente superficial más importante en el municipio de Guasave es el río Sinaloa, este se adentra 70 kilómetros en el área municipal abarcando 17% de su longitud total y desemboca en el Golfo de California.

Según CONAGUA (2015a), el comportamiento hidráulico del acuífero es de tipo libre y el espesor saturado promedio es de 100 m, con una dirección de flujo subterráneo preferencial NE-SO.

Materiales y métodos

Se llevaron a cabo tres muestreos en tres épocas diferentes durante un año. Los análisis que se realizaron al agua subterránea consistieron en iones mayoritarios (ocho muestras), conductividad eléctrica (CE), pH, sólidos disueltos totales (SDT) y salinidad (SALIN) en campo (11 muestras), así como densidad (diez muestras.) También se tomaron dos muestras de agua de mar.

La concentración de cationes se evaluó con un cromatógrafo de líquidos (Shimadzu, Prominence), equipado con detector de conductividad. La concentración de aniones se realizó por cromatografía iónica (IC). Los bicarbonatos se determinan por titulación potenciométrica. Los datos de campo se obtuvieron con un equipo multiparamétrico (YSI).

Para la obtención de los diferentes tipos de aguas con base en los iones mayoritarios, se utilizó el programa Diagramme, desarrollado por la Universidad de Avignon en Francia (Simler, 2012). En la figura 1, se muestran los puntos de muestreo de agua de pozo.

El modelo de Glover y Ghyben-Herzberg considera la evolución espacial y temporal de la interfase que existe entre el agua marina con el acuífero. Dicho modelo se genera a partir de la diferencia de densidades que existe entre ambos líquidos; de la descarga natural del acuífero hacia el mar por unidad de longitud de costa; y de la conductividad hidráulica (Zhou, 2011). Para su utilización, se diseñó una malla de discretización con una separación entre nodos de 3 km, elegida con la finalidad de obtener en los resultados una resolución apropiada para el área total de estudio, tomando en cuenta la distancia promedio que existe entre los puntos de muestreo.

Resultados y Discusión

Los iones que estuvieron por arriba del límite permisible fueron sodio (Na) y cloruros (Cl). El sodio sobrepasó el límite en cinco de los ocho pozos muestreados. Dos pozos mostraron concentraciones de cloruros por arriba del límite permisible de la norma.

El diagrama de Piper utilizado, indica que las aguas predominantes son la bicarbonatada sódica, y en menor proporción, la clorurada sódica cálcica. Los pozos con este último tipo de agua, son los pozos con más de 30 m de profundidad. El pozo cuya agua tuvo las menores concentraciones de iones es el más alejado de la línea de costa.

La densidad del agua dulce para las diez muestras obtenidas en la zona de estudio varía entre 997.3 y 999.8 kg/m³; para el agua marina fue de 1025 y 1026 kg/m³.

El resultado obtenido a partir del modelo tridimensional de Glover y Ghyben-Herzberg muestra que, aproximadamente a 10 metros de profundidad la cuña de intrusión salina entra en contacto con el acuífero, a partir de la línea de costa.

En las figuras 2 y 3 se presenta la cuña de intrusión marina a través del acuífero en tres dimensiones.

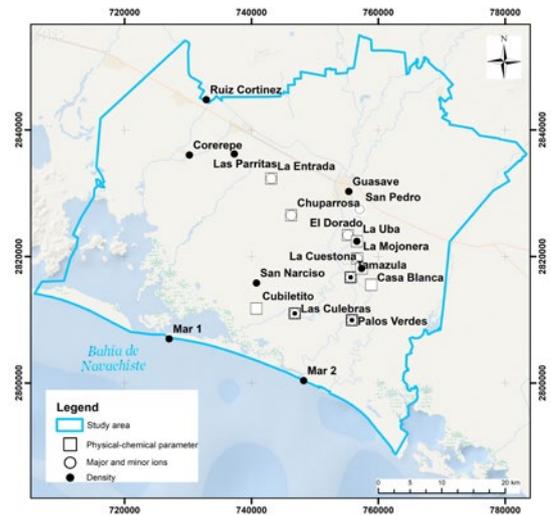


Figura 1. Área de estudio y ubicación de sitios de muestreo

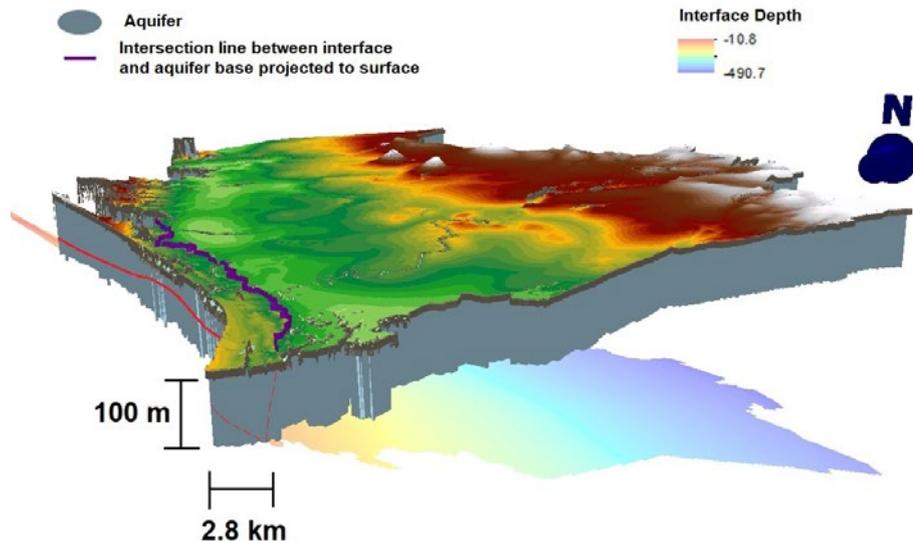


Figura 2. Modelo en tres dimensiones de la cuña de intrusión salina

De acuerdo con los resultados, la intrusión ha afectado al acuífero entre los 10 y 60 metros de profundidad, hasta 3 km en la horizontal aproximadamente, por lo cual, la probabilidad de bombear agua salina (por efectos de la intrusión salina) de los pozos que se encuentran a menos de 10 m de profundidad y más de 3 km de la línea de costa hacia el continente, es baja.

Conclusiones

Los resultados del modelo de intrusión salina muestran que la cuña salina penetra al acuífero a lo largo de la línea de costa a una profundidad que varía entre 10 y 60 m. El espesor saturado del acuífero reportado por CONAGUA es de 100 m, para dicha profundidad, el avance de la cuña en superficie varía entre 2.5 y 3 km a partir de la línea de costa. A pesar de que los niveles estáticos medidos en los pozos de muestreo no exceden los 10 m de profundidad, se tiene registro de que algunos pozos pertenecientes a la Junta Municipal de Agua tienen niveles hasta más de 30 m, lo cual, puede ampliar el riesgo del avance de la cuña en el caso de que existiera un sobrebombeo.

Los resultados obtenidos indican que la afectación al agua subterránea debido a la intrusión salina es mínima, pero, se observa un riesgo a futuro. |

Referencias

- Atarés Huerta, Lorena (2011). Determinación de la densidad de un líquido con el método del picnómetro. Artículo docente de la Universidad Politécnica de Valencia.
- Badillo, J. y Rodríguez, R. (1977). Mecánica de Suelos. Fundamentos de la Mecánica de Suelos. Tomo I. 3ª Edición. Limusa. México. pp. 53, 56, 97-121, 149-163.
- Barlow P. M. y Reichard E. (2010). Saltwater intrusion in coastal regions of North America. *Hydrogeology Journal*. 18, pp. 247-260.
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad) (1999). Datos vectoriales de uso de suelo y vegetación. Modificado por CONABIO. Esc. 1:1,000,000.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2011). Instrumentación de las redes de monitoreo piezométrico de los acuíferos San Lorenzo, Culiacán, Sinaloa y Fuerte, en el estado de Sinaloa. Subdirección General Técnica Organismo de Cuenca Pacífico Norte. Culiacán, Sinaloa.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2015). Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego Año Agrícola 2013-2014.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2015a). Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Río Sinaloa (2502), Estado de Sinaloa.
- https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/103332/DR_2502.pdf.

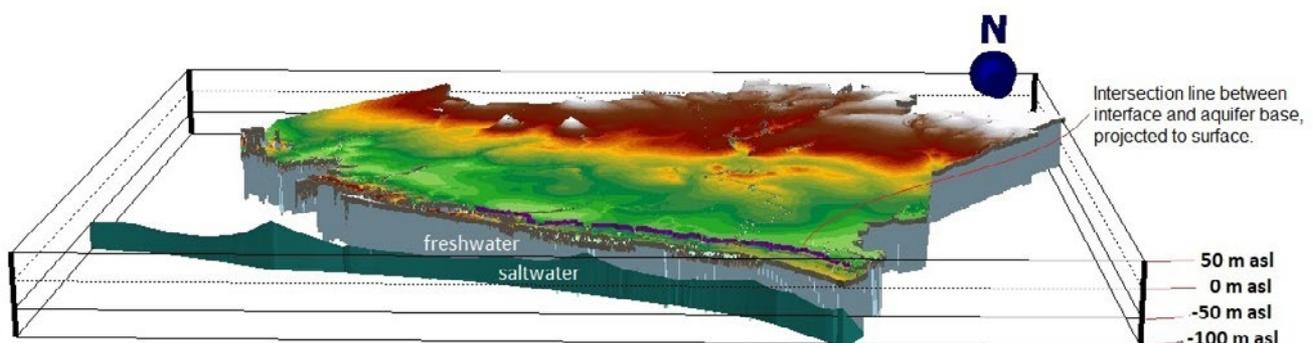


Figura 3. Intersección de la línea de intrusión con el acuífero a lo largo de la línea de costa

- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2016). Estadísticas del Agua en México.
- Custodio, Emilio (2010). Coastal aquifers of Europe: an overview. *Hydrogeology Journal* 18, pp. 269-280.
- DOF (Diario Oficial de la Federación) (2000). NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Secretaría de Salud. Diario Oficial de la Federación. México, D. F. pp. 1-21.
- Gea Serrano, María Magdalena (2014). La correlación y regresión en bachillerato: Análisis de libros de texto y del conocimiento de los futuros profesores. Tesis de Doctorado. Universidad de Granada.
- Llanes-Cárdenas, O.; Norzagaray-Campos, M.; Muñoz-Sevilla, P. y Ruiz-Guerrero, R. (2013). Agua subterránea: alternativa acuícola en el Noroeste de México. *Revista AquaTIC*, n.º. 38 pp. 10-20.
- Mellado Moreno, K. V. (2007). Determinación de plaguicidas organoclorados por cromatografía de gases, en agua subterránea del municipio de Guasave, Sinaloa. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria. Coahuila.
- Monreal, R.; Castillo, J.; Rangel M.; Morales M.; Oroz, L. A. y Valenzuela, H. (2001). La intrusión salina en el acuífero de la Costa de Hermosillo, Sonora. AIMMG, AC. XXIV Convención Internacional. Acapulco, Guerrero. Oct. 17-20.
- Norzagaray-Campos, M. (2003). Flujo regional en acuíferos, sus causas y efectos en la dispersividad hidrodinámica: un caso de estudio. Tesis doctoral. CINVESTAV-Mérida. Mérida, Yucatán. México. 169 pp.
- Peinado-Guevara, H. J.; Green-Ruiz, C. R.; Herrera-Barrientos, J.; Escolero-Fuentes, O. A.; Delgado-Rodríguez, O.; Belmonte-Jiménez, S. I. y Ladrón de Guevara, M. A. (2011). Calidad y aptitud de uso agrícola y doméstico del agua del acuífero del río Sinaloa, porción costera. *Hidrobiológica* 2011, 21 (1): 63-76.
- Pujari, P. R. y Soni, A. (2009). Sea water intrusion studies near Kovaya limestone mine, Saurashtra coast, India. *Environmental Monitoring Assessment*. 154 pp. 93-109.
- Reyes Martínez, A. y Quintero Soto, M. L. (2009). Problemática del agua en los distritos de riego por bombeo del estado de Sonora. *Revista Digital Universitaria*. Vol. 10 No. 6. ISSN: 1067-6079.
- Rodríguez-Meza, D.; Rodríguez-Figueroa, G.; Sapozhnikov, D.; Vargas-Ramírez, C.; Vallejo-Soto, A; Verdugo-Quiñonez, G.; Michel-Rubio, A. (2008). Monitoreo de la calidad del agua del acuífero de Guasave, Sinaloa (México). II Coloquio Internacional de Medio Ambiente y Desarrollo. Retos de la Gestión Ambiental Local en el Marco de la Globalización. Instituto Politécnico Nacional. Ciudad de México.
- SGM (Servicio Geológico Mexicano) (2017). Geología de México. Los Mochis, carta G12-9, Esc 1:250,000. Datos vectoriales.
- Simler R (2012). Software Diagrammes. <http://www.lha.univ-avignon.fr/Fichiers/Manuel%20DIAGRAMMES.pdf>.
- Sridhar, R.; Thangaradjou, T.; Senthil, K. y Kannan, L. (2006). Water quality and phytoplankton characteristics in the Palk Bay, Southeast Coast of India *J. Environ. Biol.*, 27: 561-566.
- Steyl, G. y Dennis, I. (2010). Review of coastal-area aquifers in Africa. *Hydrogeology Journal* 18, pp. 217-225.
- Truque, B. P. A. (2012). Armonización de los estándares de agua potable en las Américas. <https://www.oas.org/DSD/publications/classifications/Armoniz.EstandaresAguaPotable.pdf>.
- Werner, A. (2010). "A review of seawater intrusion and its management in Australia". *Hydrogeology Journal* 18, pp. 281-285.
- Zhou, X. (2011). A method for estimating the fresh water-salt water interface with hydraulic heads in a coastal aquifer and its application. *Geoscience Frontiers* 2(2) 199-203.