

Acuíferos en Chihuahua: estudios sobre sustentabilidad

Aquifers in Chihuahua: Studies on sustainability

MÉLIDA GUTIÉRREZ^{1,4}, VÍCTOR M. REYES-GÓMEZ²,
MARÍA TERESA ALARCÓN-HERRERA³ Y DANIEL NÚÑEZ-LÓPEZ³

Resumen

El manejo no sustentable de acuíferos puede manifestarse como un déficit (recarga-extracciones), el cual se refleja en un descenso del nivel potenciométrico con respecto al tiempo, y también en el deterioro en la calidad del agua. Una manera convencional de resolver el problema de sobreexplotación ha sido la de importar agua de otros acuíferos al área de escasez, pero esta es una alternativa no sustentable que acarrea problemas a largo plazo sin solucionar la situación. Para obtener una perspectiva del estado de sustentabilidad de la región, se consultaron estudios realizados en ocho acuíferos que conforman la parte central del estado de Chihuahua. Los resultados se tabularon y analizaron con relación a sus propiedades, uso principal, y déficit con respecto al tiempo. Se concluye que el déficit se ha estado incrementando y se señala la urgencia de acciones que aseguren una futura disponibilidad del agua en toda esta zona, utilizando como estrategias: 1) un aumento de la recarga (por ejemplo inyección directa del exceso de agua pluvial al acuífero), y 2) reducción de extracciones (por ejemplo, por medio de incentivos para ahorrar agua en zonas urbana y agrícola).

Palabras clave: acuífero, déficit, nivel potenciométrico, recarga, sustentabilidad.

Abstract

Non-sustainable management of aquifers may manifest as a groundwater deficit (recharge minus withdrawals), which becomes apparent as a drop in the water table, and also in the deterioration in water quality. A conventional solution to aquifer overexploitation has been to import water from a nearby region, a non-sustainable option that, on the long run, worsens the problem without solving it. It was collected information on eight aquifers located in the central part of the state of Chihuahua to gain a perception about the groundwater sustainability status of the region. The results were tabulated and analyzed regarding the aquifer's properties of water, main use and deficits over time. It is concluded that the deficit has a trend to increase in most aquifers, which underlines the urgency to secure the water availability of this region. This can be accomplished by implementing strategies to (1) increase the recharge (e.g., by direct injection of rainwater excess into the aquifer) and (2) reduce the water withdrawals (e.g., through incentives for water saving actions in urban zones as well as in agriculture).

Keywords: aquifer, deficit, potentiometric level, recharge, sustainability.

Introducción

La sobreexplotación de acuíferos es un problema que afecta a muchas regiones productivas del mundo. Esta sobreexplotación se manifiesta como una baja en el nivel potenciométrico o presencia de contaminantes (Gorelick y Zheng, 2015), creando una situación no sustentable.

¹ Missouri State University, Department of Geography, Geology and Planning. 901 S. National Ave., Springfield, MO, EUA. 65897.

² Instituto de Ecología, A.C. (INECOL). Centro Regional Chihuahua, Red MAS. Km. 33.300, carretera Chihuahua-Ojinaga, Cd. Aldama, Chih. C.P. 32900. Tel. (614) 451-0905.

³ Centro de Investigación en Materiales Avanzados. CIMAV. Unidad Durango. Victoria 147 norte, Zona Centro, Durango, Dgo. México. C.P. 34000. Tel. (618) 811-0774.

⁴ Dirección electrónica del autor de correspondencia: mgutierrez@missouristate.edu

Alcanzar la sustentabilidad en cuanto a la cantidad relacionada con el nivel potenciométrico y calidad de agua es de vital importancia para asegurar el suministro de agua a generaciones futuras (Alley y Leake 2004; Gorelick y Zheng 2015). En vista de la gravedad de esta situación mundial actual, y en una carrera contra el tiempo, expertos en materia de agua se han dado a la búsqueda de soluciones que aminoren o resuelvan el problema. Estos esfuerzos se realizan en diferentes ámbitos e incluyen, por ejemplo, la estimación de cambios en la cantidad de agua almacenada en acuíferos por medio del satélite espacial GRACE (www.nasa.gov/mission_pages/Grace/), nuevos modelos matemáticos donde se modelan situaciones complejas, integrando variables socioeconómicas a las variables físicas convencionales (Neri-Ramirez *et al.*, 2013; Gorelick y Zheng 2015), estimaciones precisas de recarga y descarga de acuíferos a ríos (Miller *et al.*, 2016), y determinación de los flujos de agua en la zona intermedia entre superficie y agua subterránea en zonas áridas (Scanlon *et al.*, 2009).

El problema de la sobreexplotación de acuíferos se agudiza en: 1) zonas áridas, 2) áreas con alto crecimiento demográfico y 3) áreas donde se extrae agua subterránea para irrigación intensiva de cultivos. La zona centro de Chihuahua está sometida a uno o más de estos factores de presión, además de otros factores climatológicos eventuales como son la sequía y el aumento de temperatura ambiente por el calentamiento global.

Los acuíferos de Chihuahua se han degradado en cantidad y calidad durante los últimos años, operando con déficits de hasta -197% (acuífero Cuauhtémoc, 2014). En 2016, el acuífero Cuauhtémoc era el más sobreexplotado en el país (El Diario, Mayo 15 de 2016). Algunos aspectos de estos acuíferos se han descrito en reportes de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2014a,b,c,d,e,f,g,h), artículos de investigación (Mahlknecht *et al.*, 2008; Espino-Valdez *et al.*, 2009; Orozco-Corral, 2010; Reyes-Gómez *et al.*, 2013; Villalba *et al.*, 2013) y tesis de maestría (Prunés 2012; Nájera-Haro 2016).

Los ocho acuíferos incluidos aquí son de tipo libre y compuestos de material no consolidado que depositó en cuencas en la región geológica de Cuencas y Sierras, resultado de la distensión en la corteza terrestre y que confiere al desierto

Chihuahuense ese paisaje tan característico. A la fecha, tres de estos acuíferos se utilizan para suministrar agua a la ciudad de Chihuahua y dos proveen agua para irrigación en zonas de agricultura intensiva (Cuadro 1). Sin embargo, los usos de los acuíferos cambian con el tiempo, dependiendo de las presiones a las que estén siendo sometidos.

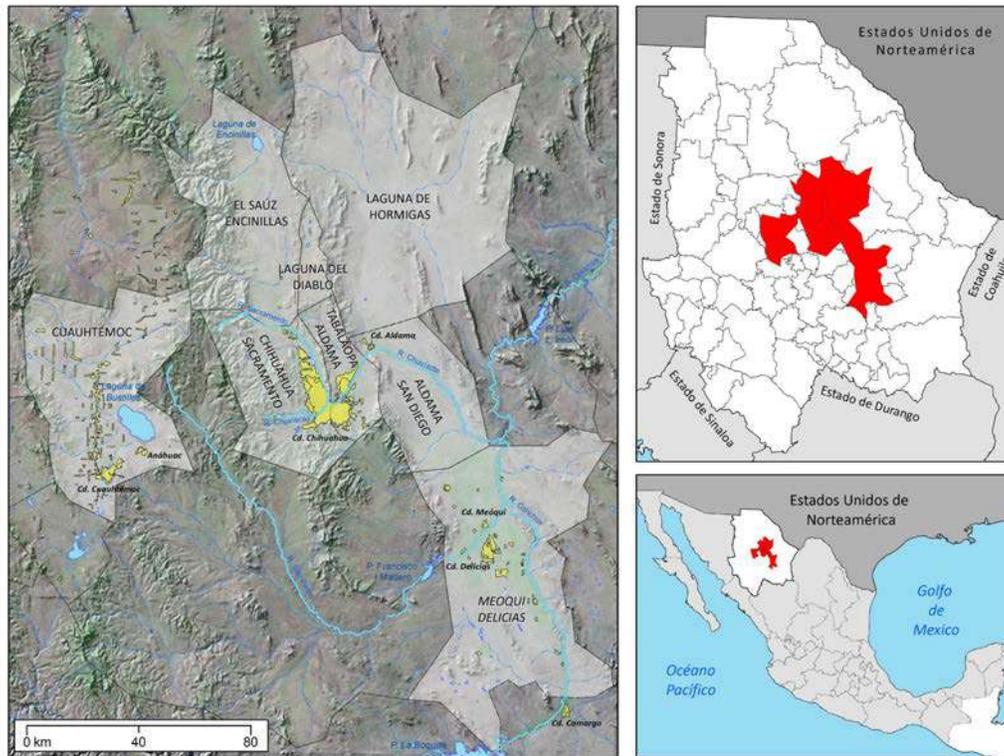
A pesar de la situación de déficit de los acuíferos, las demandas de agua de la ciudad de Chihuahua y del sector agrícola continúan en aumento. Desafortunadamente, no están consideradas en forma importante en la planeación a futuro medidas para asegurar un uso y manejo sustentable del recurso (IMPLAN, 2009; Orozco-Corral, 2010).

En el presente estudio se recopiló la información de ocho acuíferos que conforman la parte central del estado de Chihuahua con respecto a sus funciones y sus características físicas, químicas, e hidrológicas. La información recabada fue analizada para discernir el estado de sustentabilidad con el que están operando en cuanto a cantidad y calidad del agua, ello con el objetivo de sugerir algunas alternativas para incrementar la sustentabilidad de los acuíferos, tomando en cuenta sus características y sus funciones individuales.

Acuíferos en la zona central del estado de Chihuahua

La Figura 1 muestra la ubicación de los ocho acuíferos de la parte central del estado de Chihuahua que fueron seleccionados por ser representativos de los diferentes usos de suelo. Estos acuíferos son llamados de tipo bolsón y se forman de depósitos de aluvión en cuencas con sierras en los flancos este y oeste. Por su hidrología superficial, los acuíferos El Sauz-Encinillas, Laguna de Hormigas, y Cuauhtémoc pertenecen a cuencas cerradas, mientras que el resto de los acuíferos pertenecen a la región hidrológica del río Conchos. Aunque el agua superficial de las cuencas cerradas no se conecta con las cuencas pertenecientes a la región hidrológica del río Conchos, las aguas subterráneas sí llegan a fluir de una cuenca a otra, en las llamadas entradas horizontales (Mahlknecht *et al.*, 2008). El flujo horizontal entre acuíferos es limitado, y se reduce al bajar los niveles potenciométricos de los acuíferos.

Figura 1. Ubicación de ocho acuíferos seleccionados de la parte central del estado de Chihuahua.



En 1985 se completó una obra de infraestructura hídrica que suministró agua adicional a la ciudad de Chihuahua, transfiriendo agua del acuífero El Sauz-Encinillas, localizado a 35 km al norte de la ciudad. De 1985 a la fecha, este, acuífero se ha abatido, alcanzando un déficit de -27.9% en 2014, mientras que la laguna de Encinillas se secó y solo tiene agua por temporadas muy breves luego de una lluvia fuerte. La desaparición de la laguna no solamente priva los animales silvestres de agua o hábitat, sino que los sedimentos finos expuestos en el lecho seco de la laguna pueden ser movilizados largas distancias por el viento, con un alto potencial de causar deterioro en el aire en la ciudad de Chihuahua y en consecuencia el incremento de enfermedades respiratorias.

Las cifras enlistadas en el Cuadro 1 muestran algunas tendencias generales asociadas a su sustentabilidad, las que se describen a continuación:

1. Se observa que los acuíferos en las áreas donde se ejerce la agricultura intensiva (Cuauhtémoc, Meoqui-Delicias) presentan el déficit más pronunciado, notablemente más que los acuíferos que surten a la ciudad de Chihuahua, a pesar de ser los acuíferos con mayor capacidad de almacenamiento.

2. Se puede observar que las extracciones tienen una tendencia al aumento con el tiempo (2007 a 2014).

3. La recarga se reporta como constante con respecto al tiempo, lo cual es una aproximación, ya que la recarga es dinámica por naturaleza. Probablemente se haya asumido en estos reportes que esta cifra no ha cambiado significativamente en los últimos años. A este respecto, se debe mencionar que las mediciones para cuantificar la recarga son difíciles y laboriosas de realizar, especialmente las entradas laterales y la infiltración de agua de riego.

4. Tres acuíferos, Laguna de Hormigas, Laguna El Cuervo, y Aldama-San Diego discrepan en los valores de recarga reportados, lo cual probablemente se deba a que estos acuíferos eran hasta hace poco tiempo utilizados en usos de menor importancia económica. La determinación más reciente de la recarga es probablemente la más precisa.

5. A excepción del acuífero Tabalaopa-Aldama, los acuíferos con un valor de déficit de cero son aquellos donde el uso principal de suelo se reporta como agostadero o pastizal. Estas zonas tienen vegetación desértica en su superficie, manteniéndose en una forma relativamente natural hasta hace pocos años, cuando experimentaron un cambio de uso de suelo considerable.

Cuadro 1. Datos generales sobre acuíferos de la zona centro del estado de Chihuahua (IMPLAN, 2009; Conagua 2014).

Acuífero	Uso principal	Recarga/Extracciones, hm ³ /año		Cuenca hidrológica	% déficit (2014)
		2007	2014		
Chihuahua-Sacramento	A	65.8/120.5	56.6/102.1	Rio Conchos	-45.4
El Sauz-Encinillas	A	64.0/16.0	62.4/90.3	Cuenca cerrada	-27.9
Tabalaopa-Aldama	A	55.1/66.1	76.5/59.8	Rio Conchos	0.0
Laguna de Hormigas	C	64.0/16.0	25.5/16.0	Cuenca cerrada	0.0
Laguna El Diablo	C	4.3/0.2	0.8/0.6	Cuenca cerrada	0.0
Aldama-San Diego	C	35.2/21.1	62.5/41.5	Rio Conchos	0.0
Cuauhtémoc	B	115.2/192.0	115.2/312.2	Cuenca cerrada	-197.0
Meoqui-Delicias	B	211.2/333.9	211.2/383.3	Rio Conchos	-172.2

Usos principales: A=suministro agua a la ciudad de Chihuahua; B=agricultura uso intensivo; C = agostadero, uso moderado. 1 hm³ = 10⁶ m³

Los acuíferos Cuauhtémoc y Meoqui-Delicias se utilizan para riego agrícola principalmente. Su alta tasa de explotación es preocupante por su importancia económica y rápido abatimiento. En cuanto a su calidad de agua, nitratos y arsénico son los contaminantes detectados en estos acuíferos (Espino *et al.*, 2007; Espino-Valdés *et al.*, 2009; Orozco-Corral y Valverde-Flores, 2012).

Los acuíferos marcados con 0.0 déficit en el Cuadro 1 parecería a simple vista que tienen agua que ofrecer, sin embargo, estudios recientes han demostrado lo contrario. Villalba *et al.*, (2013) y Reyes-Gómez *et al.* (en prensa) detectaron la presencia de nitratos en los acuíferos de Tabalaopa-Aldama y Aldama-San Diego, así como altas concentraciones de flúor. Arsénico y flúor son contaminantes de origen natural que co-ocurren en estos acuíferos (Alarcón-Herrera *et al.*, 2013; Reyes-Gómez *et al.*, 2013) mientras que la presencia de nitratos indica contaminación antropogénica; y son posiblemente el resultado de infiltración de aguas de desecho urbano o agrícola, lo que indica un manejo no sustentable de estos acuíferos a pesar de que los niveles potenciométricos no se encuentren a la baja.

Sustentabilidad

Con la alta demanda de agua que es típica de zonas áridas, la búsqueda e implementación de medidas eficientes de utilizar el agua son indispensables para alcanzar la sustentabilidad. La implementación de medidas sustentables en zonas áridas son aquellas que promueven la recarga (infiltración natural o artificial), reducen las

extracciones y evitan en lo posible la evaporación. Un paso importante para formular planes sustentables de manejo es el de reconocer los flujos de agua que operan en cada región en particular y la estrecha relación entre agua superficial y agua subterránea.

Privar a una región del agua para transportarla a otra región es una práctica no sustentable, y por ello causante de diferentes tipos de conflicto. En algunos países (e.g., Unión Europea) esta práctica no solamente es reprobable sino que está prohibida (Ripoll y MacMillan, 2010), sin embargo, está presente el argumento de que existe exportación de agua de una región a otra en la forma de productos agrícolas. Se han reportado algunos métodos alternos a la importación directa de agua (agua entubada) para zonas desérticas, pero la mayoría se encuentran a nivel piloto (Gale, 2005). Uno de ellos consiste en recolectar el agua de lluvia y enviarla a un lecho de río o arroyo rico en grava en donde el agua se infiltra y recarga el acuífero, mientras que otros investigadores recomiendan inyección directa de agua de lluvia usando pozos abandonados para una recarga más directa. De esta manera, agua de buena calidad se almacena en el acuífero, donde la evaporación es mínima, en contraste con almacenamiento en embalses (presas) en zonas semiáridas, donde las pérdidas por evaporación son cuantiosas.

En zonas urbanas se puede recolectar el agua de lluvia de los techos en cisternas y posteriormente reusar esa agua para riego de jardines como paso hacia la infiltración al acuífero (Gutiérrez y Rubio-Arias, 2014). Plantar árboles nativos del desierto, e.g., mezquite, en zonas ribereñas (al lado de ríos, acequias y canales) también favorece la infiltración y reduce la temperatura del agua por consiguiente la evaporación (Scott *et al.*, 2000).

En Chihuahua, el uso de mayor consumo de agua es el agrícola, por ello es de alta pertinencia considerar ahorros de agua que se pueden obtener reduciendo la cantidad destinada para uso agrícola (Ripoll y MacMillan, 2010; Orozco-Corral, 2010; Wang *et al.*, 2015). Los incentivos agrícolas están destinados a cultivos altamente redituables (alfalfa, nogal, manzana) pero estos a su vez son los que más agua necesitan. Una implementación de incentivos para ahorrar agua en estos cultivos podría arrojar buenos resultados y sería relativamente fácil de implementar, ya que estos cultivos están altamente tecnificados. Wang *et al.* (2015) determinaron que

para zonas áridas, aumentar el costo del agua y cambiar a tecnología más avanzada no son medidas tan efectivas para ahorrar este recurso como lo son los incentivos (subsídios) según el agua ahorrada y precio subsidiado para cultivos que conservan el agua según ciertas metas predeterminadas.

Igualmente, en la zona urbana se recomienda encontrar el incentivo que podría motivar a los ciudadanos a usar agua más sensatamente. La búsqueda debe estar respaldada por un estudio de mercado y tomando en cuenta la idiosincrasia de cada región. Algunas opciones a considerar incluyen el aumento del precio del agua (por ejemplo, aquellos usuarios que utilicen una cantidad mayor a cierta cantidad base), incentivos para reusar agua de lluvia (por medio de cisternas), incluir plantas desérticas en los jardines y parques, y el uso de equipos ahorradores de agua en el hogar.

Cabe mencionar que uso sustentable no es limitante en cuanto al uso de los recursos, sino en el uso eficiente del mismo, para lograr que el recurso siga proporcionando beneficios al usuario a través del tiempo, o por muchas generaciones más. Involucrar a la población en la zona urbana y a los agricultores en la zona agrícola es vital, una manera de lograrlo es haciendo pública la información de niveles potenciométricos y de calidad de agua del acuífero, obtenida en pozos de monitoreo instalados en lugares estratégicos, así como fomentar la educación ambiental para que esta información tenga la difusión y aceptación necesaria.

Conclusiones

Los acuíferos de la parte central del estado de Chihuahua han sido manejados en forma no sustentable, y de continuar el uso actual se prevé que el agua sea cada vez más escasa hasta agotarse. Los acuíferos con mayor déficit son aquellos que están ubicados en áreas donde se practica agricultura intensiva. En algunos acuíferos que se encuentran en equilibrio se detecta la presencia de contaminantes antropogénicos, lo cual indica falta de sustentabilidad en su manejo y acciones preventivas, a pesar de que los niveles potenciométricos están relativamente estables. Se mencionan algunas medidas para aumentar la sustentabilidad, aclarando que se requiere contar con estudios de factibilidad técnica-económica para encontrar soluciones efectivas, no sólo en teoría sino en la práctica.

Referencias

- ALARCÓN-HERRERA, M.T., Bundschuh J., Nath B., Nicolli H.B., Gutierrez M., Reyes-Gomez V.M., Nunez D., Martín-Domínguez I.R., Sracek O. 2013. Co-occurrence of arsenic and fluoride in groundwater of semi-arid regions in Latin America: Genesis, mobility and remediation. *Journal of Hazardous Materials*, 262:960-969.
- ALLEY, W.M. and Leake, S.A. 2004. The journey from safe yield to sustainability. *Ground Water* 42:12-16.
- CONAGUA, 2015a. Determinación de la disponibilidad de agua en el Acuífero 0805 Cuauhtémoc, Estado de Chihuahua, México: CONAGUA. 2007 data with a 2014 amendment, 25 pp. http://www.conagua.gob.mx/conagua07/aguasubterranea/pdf/dr_0805.pdf
- CONAGUA, 2015b. Determinación de la disponibilidad de agua en el Acuífero 0807 El Sauz-Encinillas, Estado de Chihuahua, México: CONAGUA. 2007 data with a 2014 amendment, 35 pp. http://www.conagua.gob.mx/Conagua07/Aguasubterranea/pdf/DR_0807.pdf
- CONAGUA, 2015c. Determinación de la disponibilidad de agua en el Acuífero 0815 Laguna El Diablo, Estado de Chihuahua, México: CONAGUA. 2007 data with a 2014 amendment, 22 pp. http://www.conagua.gob.mx/conagua07/aguasubterranea/pdf/dr_0815.pdf
- CONAGUA, 2015d. Determinación de la disponibilidad de agua en el Acuífero 0824 Laguna de Hormigas, Estado de Chihuahua, México: CONAGUA. 2007 data with a 2014 amendment, 27 pp. http://www.conagua.gob.mx/conagua07/aguasubterranea/pdf/dr_0824.pdf
- CONAGUA, 2015e. Determinación de la disponibilidad de agua en el Acuífero 0831 Meoqui-Delicias, Estado de Chihuahua, México: CONAGUA. 2007 data with a 2014 amendment, 32 pp. http://www.conagua.gob.mx/conagua07/aguasubterranea/pdf/dr_0831.pdf
- CONAGUA, 2015f. Determinación de la disponibilidad de agua en el Acuífero 0836 Aldama- San Diego, Estado de Chihuahua, México: CONAGUA. 2007 data with a 2014 amendment, 28 pp. http://www.conagua.gob.mx/conagua07/aguasubterranea/pdf/dr_0836.pdf
- CONAGUA, 2015g. Determinación de la disponibilidad de agua en el Acuífero 0835 Tabalopa-Aldama, Estado de Chihuahua, México: CONAGUA. 2007 data with a 2014 amendment, 26 pp. http://www.conagua.gob.mx/Conagua07/Aguasubterranea/pdf/DR_0835.pdf
- CONAGUA, 2015h. Determinación de la disponibilidad de agua en el Acuífero 0836 Aldama-San Diego, Estado de Chihuahua, México: CONAGUA. 2007 data with a 2014 amendment, 28 pp. http://www.conagua.gob.mx/conagua07/aguasubterranea/pdf/dr_0836.pdf
- CONAPO, (Comisión Nacional de Población) <http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Proyecciones> México, acceso 2 de mayo, 2016.
- DE LA MAZA BENIGNOS, M., Lavín Murcio, P.A., De la Mora Covarrubias, A., Quiñonez Martínez M., Rodríguez-Pineda, J.A., Vela-Valladares, L., Zapata López, J. 2012. La conservación de la zona de manantiales de San Diego de Alcalá, Municipio de Aldama, Chihuahua. World Wildlife Fund y Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México.
- ESPINO, M.S., Rubio H.O., Navarro C.J. 2007. Nitrate pollution in the Delicias-Meoqui aquifer of Chihuahua, Mexico. *WIT Transactions on Biomedicine and Health. Environmental Health Risk IV*, 11, 189-196.
- ESPINO-VALDÉS, M.S., Barrera-Prieto, Y., Herrera-Peraza, E. 2009. Presencia del arsénico en la sección norte del acuífero Meoqui-Delicias, del estado de Chihuahua, México. *Tecnociencia Chihuahua* 3:8-18.
- GALE, I. 2005. Estrategias para la gestión de recarga de acuíferos (GRA) en zonas semiáridas. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), París, 35 pp. <http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001438/143819s.pdf>.
- GORELICK, S. and Zheng, C. 2015. Global change and the groundwater management challenge. *Water Resources Research*, 51:3031-3051.
- GUTIÉRREZ, M. y Rubio-Arias H.O. 2014. Captación pluvial en Chihuahua: una alternativa sustentable. *Tecnociencia Chihuahua*, 8:1-6.
- IMPLAN, (Instituto Municipal de Planeación) 2009. Plan de Desarrollo Urbano de la Ciudad de Chihuahua: Visión 2040. Tercera Actualización http://www.implanchihuahua.gob.mx/pdf/diagnostico_ambiente.pdf
- MAHLKNECHT, J., Horst, A., HernándezLimón, G., Aravena, R. 2008. Groundwater geochemistry of the Chihuahua City region in the Rio Conchos Basin (northern Mexico) and implications for water resources management. *Hydrological Processes*, 22:4736-4751.

- NÁJERA-HARO, B. 2016. Variación estacional de la calidad del agua en los acuíferos de Tabalaoa-Aldama y Aldama-San Diego, en Chihuahua, México. Tesis, CIMAV Chihuahua, Mexico, 122 pp.
- NERI-RAMÍREZ, E., Rubiños-Panta, J.E., Palacios-Velez, O.L., Oropeza-Mota, J.L., Flores-Magdaleno, H., Ocampo-Fletes, I. 2013. Sustainability evaluation of the Cuautitlán-Pachuca aquifer using MESMIS methodology. *Revista Chapingo: Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 19:273-286.
- MILLER, M.P., Buto S.G., Susong D.D. Rumsey C.A. 2016. The importance of base flow in sustaining surface water flow in the Upper Colorado River Basin. *Water Resources Research*, 52:3547-3562.
- OROZCO-CORRAL, A.L. 2010. Uso eficiente del agua de riego mediante sondas de capacitancia. *Aqua-LAC (UNESCO)*, 2, 56-66.
- OROZCO-CORRAL, A.L. y M.I. Valverde Flores. 2012. Impacto ambiental del monitoreo de la humedad del suelo mediante sondas de capacitancia sobre la contaminación de acuíferos por nitratos. Unión Agrícola Regional de Fruticultores del Estado de Chihuahua, Simposio internacional sobre el manzano y frutales de clima templado 2012. <http://www.unifrut.com.mx/archivos/simposiums/simposium2012/7c.pdf>
- PRUNÉS, E. 2012. Modelación de la Interacción del Rio San Pedro con el Acuífero Meoqui-Delicias. Tesis, Universidad Autónoma de Chihuahua, México, 129 pp.
- REYES-GÓMEZ, V.M., Alarcón-Herrera, M.T., Gutiérrez M., Núñez-López, D. 2013. Fluoride and arsenic in an alluvial aquifer system in Chihuahua, Mexico: contaminant levels, potential sources, and co-occurrence. *Water Air and Soil Pollution*, 224:1433.
- REYES-GÓMEZ, V.M., Alarcón-Herrera, M.T., Gutiérrez M., Núñez-López, D. 2015. Arsenic and fluoride variations in groundwater of an endorheic basin undergoing land-use changes. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 68, 292-304.
- REYES-GÓMEZ, V.M., Gutiérrez, M., Najera-Haro B., Núñez-López, D. Alarcón-Herrera, M.T., Water quality, land use, and sustainability of aquifers in a semiarid region of northern Mexico. En Prensa.
- RIPOLL, S y T, MacMillan, 2010. WP3: Water Scarcity and its virtual export from Spain to UK. Co-operative Research on Environmental Problems in Europe (CREPE) Final Report. <http://www.crepeweb.net/wp-content/uploads/2010/12/crepe-wp3-final-report.pdf>
- SCANLON, B.R., Reedy, R.C., Stonestrom, D.A., Prudic, D.E., Dennehy, K.F. 2005. Impact of land use and land cover change on groundwater recharge and quality in the southwestern US. *Global Change Biol.* 11:1577-1593.
- SCOTT, R.L., Shuttleworth W.J., Goodrich D.C., Maddock III T. 2000. The water use of two dominant vegetation communities in a semiarid riparian ecosystem. *Agricultural and Forest Meteorology* 105:241-256.
- VILLALBA, L., Colmenero-Sujo L., Pinales-Munguía, A., Estrada-Gutiérrez, G., Rubio-Arias H.O., Mireles-García F., Dávila-Rangel, I. 2013. Analysis of health risk due to the presence of radioactivity and chemical elements in groundwater, Aldama Municipality, Chihuahua, Mexico. *Journal of Environmental Protection*, 4:1265-1271.
- WANG, T., Park S.C., Jim H. 2015. Will farmers save water? A theoretical analysis of groundwater conservation policies. *Water Resources and Economics* 12:27-39.

Este artículo es citado así:

Gutiérrez, M., V. M. Reyes-Gómez, M. T. Alarcón-Herrera y D. Núñez-López. 2016. Acuíferos en Chihuahua: estudios sobre sustentabilidad. *TECNOCENCIA Chihuahua* 10(2):58-63.

Resumen curricular del autor y coautores

MÉLIDA GUTIÉRREZ. Obtuvo su grado de maestría en la Universidad de Karlsruhe, Alemania, en sistemas biológicos de tratamiento de agua en 1979, y posteriormente el doctorado en geohidrología en la Universidad de Texas en El Paso, de donde se graduó en 1992. Ha impartido clases en el Instituto Tecnológico de Monterrey-Campus Guaymas, la Universidad del Estado de Nuevo México-Las Cruces, y durante los últimos veintidós años, en la Universidad del Estado de Missouri (MSU), en donde imparte los cursos de geología física y geoquímica a nivel licenciatura y maestría. Su investigación se ha enfocado a la geoquímica de interacciones entre roca y agua, sustentabilidad, sistemas cársticos, contaminación de suelos y agua por residuos metalíferos (jales) mineros, y educación ambiental. Sus publicaciones incluyen dos capítulos de libro y cerca de 50 artículos en revistas técnicas o especializadas. Su área de estudio incluye predominantemente el sur del estado de Missouri (Estados Unidos) y el estado de Chihuahua (México). Viaja a Chihuahua con frecuencia y mantiene nexos de colaboración con instituciones educativas en el estado.

MA. TERESA ALARCÓN HERRERA. Directora de la Unidad Durango del Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV), profesora e investigadora en el área de ciencias ambientales y tecnologías sustentables. Estudios de Maestría y Doctorado en Ingeniería Ambiental. Especialidad en Tratamiento de Agua en Toulouse, Francia y en Hannover, Alemania. Es Investigadora Nivel II, dentro del Sistema Nacional de Investigadores en México. Ha contribuido a la formación de 15 alumnos de Licenciaturas en el área de Ingeniería, 11 de Maestría y 10 de Doctorado en Ciencia y Tecnología Ambiental. Evaluadora de proyectos de investigación, nacionales e internacionales, y de artículos en revistas técnicas. Dirige proyectos nacionales e internacionales de investigación, financiados por diversas agencias. Tiene publicaciones en revistas técnicas con arbitraje, congresos nacionales e internacionales. Líneas de Investigación: Ingeniería Ambiental, Calidad del agua, Contaminación del agua por arsénico y flúor, Caracterización y procesos de tratamiento de agua y suelo contaminados con metales y metaloides. Procesos fisicoquímicos y biológicos a través de la fitorremediación, utilizando humedales construidos. Aplicación de los nano-materiales en tecnologías de tratamiento de agua.

VÍCTOR MANUEL REYES GÓMEZ. Doctor en ciencias de la tierra y del agua en la Universidad de Montpellier II (2003, Francia). Investigador Titular A del Instituto de Ecología, A.C. (INECOL), adscrito a la red Ambiente y Sustentabilidad-Chihuahua. Desarrolla investigación en los temas de ecología de cuencas (funcionamiento hidrológico y calidad de aguas), en el estudio integrado de la sequía e investigación ecológica a largo plazo. Miembro del SNI Nivel I (2015), Miembro de la Red de Zonas Áridas (1995-2005), Integrante de la Comisión Científica Electoral de l'IRD-Paris (2003-2005), Coordinador de Investigación y Docencia del CEISS-INECOL (2005-2009), enlace Académico del INECOL-Chihuahua (2010-2012), Miembro de las redes RETAC, LTER-MEX e ILTER y SocioECOS. Ha publicado 22 artículos científicos (9 JCI); 2 ediciones de libro y 15 capítulos de libro; ha dirigido 8 proyectos de investigación con fondos externos (CNA, FOMIX, SEP, IMTA) y colaborado en otros 7 con otras instituciones. Ha codirigido 7 tesis de licenciatura, 4 de maestría y 2 de doctorado. Ha participado en 50 ponencias en congresos y simposios nacionales e internacionales en temas sobre medio ambiente y recursos naturales. Participa en docencia ofreciendo los cursos relacionados con temas del ciclo hidrológico y manejo de cuencas (Ecología) en México: UJED, UACH, CIMAV e INECOL y Francia: IPEAT. Revisor de proyectos CONACYT (Fondos Mixtos y Sectoriales, SINECYT), evaluador de artículos en revistas nacionales e internacionales especializadas.

DANIEL NÚÑEZ LÓPEZ. Doctor en ciencias con especialidad de manejo de recursos naturales de la Universidad Autónoma de Nuevo León (2014, Nuevo León, México). Investigador asociado C del Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV), adscrito al departamento de Medio Ambiente en la Unidad CIMAV-Durango. Desarrolla investigación en los temas de variabilidad climática, con énfasis en sequía, modelación espacial del riesgo de disturbios ambientales en materia de incendios, plagas forestales y calidad de agua. Miembro del SNI Nivel I (2018), Enlace Académico del INECOL-Chihuahua (2012-2014), miembro de las redes, LTER-MEX y SocioECOS. Ha publicado 13 artículos científicos (4 JCI); 6 capítulos de libro; ha dirigido 1 proyecto de investigación con fondos sectoriales (CONAFOR-CONACYT) y colaborado en otros 6 con otras instituciones. Ha codirigido 3 tesis de licenciatura y 3 de maestría. Ha participado como conferencista en diversos congresos y simposios nacionales e internacionales en temas ambientales y de recursos naturales. Revisor de proyectos CONACYT (Fondos Mixtos y Sectoriales), evaluador de artículos en revistas nacionales e internacionales especializadas.