






Expansión urbana descontrolada: ¿Qué pasará con el agua? Uncontrolled urban expansion: What will happen to the water?

K. I. Ríos-Sánchez ^a, E. Otazo-Sánchez ^{*,a}, Y. Marmolejo-Santillán ^a, C. A. González-Ramírez ^a, M. de la L. Hernández-Flores ^b.

^a Área Académica de Química, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 42184, Pachuca, Hidalgo, México.

^b Consejo Ejecutivo del Complejo Científico Tecnológico Sincrotón. Blvd Ciudad del Conocimiento y la Cultura, manzana 10 lote 1, Col. Santa Catarina, San Miguel Tormacuxtla, San Agustín Tlaxiaca, Hidalgo, México

Resumen

La presión social y de las industrias induce la expansión de superficies urbanas de forma rápida con poca planificación. Aunado a ello, las discrepancias en documentos oficiales, la ausencia de herramientas adecuadas de planificación a nivel federal, estatal y municipal dificulta la distribución del uso de suelo, así como el manejo sustentable de territorio. La mancha urbana demanda cada vez más agua y en contraste, disminuyen su infiltración hacia los mantos acuíferos debido a su expansión. Por ello es prioritario realizar investigaciones detalladas que complementen la información disponible sobre el tema, además de fomentar el trabajo multidisciplinario en la planeación urbana.

Palabras Clave:

Acuífero sobreexplotado, crecimiento urbano, planeación urbana, ordenamiento territorial.

Abstract

Industry and social pressure induce the expansion of urban areas quickly with little planning. Also, the discrepancies in official documents, the absence of adequate planning tools at the federal, state, and municipal levels make it difficult to distribute land use, as well as the sustainable management of the territory. The urban slick demands more and more water and, in contrast, its infiltration towards the aquifers decreases due to its expansion. For this reason, it is a priority to carry out detailed investigations that complement the available information on the subject, in addition to promoting multidisciplinary work in urban planning.

Keywords:

Overexploited aquifer, urban growth, land use planning, LULC.

1. Introducción

Factores que impulsan el crecimiento urbano pueden ser socioeconómicos, geográficos o físicos y generalmente se identifican como las fuerzas impulsoras (Hernández-Flores et al., 2017) para el desarrollo de asentamientos irregulares, principalmente en la periferia de la mancha urbana. Este es un fenómeno que se presenta frecuentemente, ya que se obtienen casas a un costo menor (Bek, Azmy et al. 2018). Sin embargo, estas viviendas carecen de los servicios básicos, lo cual incrementa los problemas sociales y ambientales en los barrios marginales.

A través de los años, el gobierno se ha visto obligado a regular esta situación mediante diversas estrategias hacia el cambio de uso de suelo y dotar estas zonas con servicios

públicos, de manera que suplan las necesidades de la ciudadanía.

En consecuencia, los habitantes de zonas aledañas migran, creando nuevos centros de población, que consumirán los recursos naturales, generando residuos de diversa índole contaminando aire, agua y suelo. Además, se producen otros efectos negativos como las islas de calor y afectación del paisaje, que repercute tanto en la fauna y flora local, así como en la calidad de vida de los ciudadanos.

El crecimiento urbano afecta la infiltración pluvial hacia el subsuelo, debido a las grandes extensiones de material impermeable (pavimento o concreto) distribuido en carreteras, caminos y construcción de casas habitación. Incluso en las zonas sin recubrimiento que no cuentan con

*Autor para la correspondencia: elenamariaotazo@gmail.com

Correo electrónico: karenivon2392@gmail.com (Karen Ivón. Ríos-Sánchez), elenamariaotazo@gmail.com (Elena. Otazo-Sánchez), yolandam@uaeh.edu.mx (Yolanda Marmolejo-Santillán), cramirez@uaeh.edu.mx (César Abelardo González-Ramírez), lwz.flores@gmail.com (María de la Luz Hernández-Flores).

vegetación se dificulta la recarga de los acuíferos, dado que a la falta de raíces dicho proceso se dificulta.

Al no llevarse a cabo la infiltración, el agua forma escorrentías que fluyen a través de la superficie, y se contamina. Esta problemática tiene una posible solución mediante la planeación urbana sostenible, ya que se pueden reservar zonas específicas para tal objetivo y con esto contribuir a prevenir la sobreexplotación de los acuíferos.

2. Recarga de acuíferos

Generalmente, los asentamientos no planeados se encuentran situados sobre estructuras geológicas formadas por una o más capas de rocas, que por sus características permiten almacenar y transmitir el agua en cantidades considerables a la que se le denomina acuífero.

La permeabilidad es una de las características más importantes que debe poseer la roca y el suelo, ya que determina la capacidad que tiene un material de ser atravesado por un fluido sin alterar su composición, la cual varía según el tipo de suelo y roca (Angelone, Garibay, & Casaux, 2006). Si la permeabilidad es alta, el agua pasará a través de los poros a mayor velocidad; pero si es baja, el agua puede estancarse en la superficie o fluir, dependiendo de la pendiente del terreno. Si el ángulo de inclinación es pequeño, se formarán pequeñas escorrentías que favorecerán la infiltración del agua de lluvia y del agua superficial.

La vegetación juega un rol relevante en el proceso debido a las raíces, que sirven para movilizar los componentes del suelo y volverlo más poroso, lo que previene el estancamiento del agua (Zapata-Sierra & Manzano-Agugliaro, 2008). En las zonas con mayores ángulos de pendiente, las raíces disminuyen la velocidad de los escurrimientos, permitiendo su infiltración conforme avanza y previene la erosión del suelo.

Si la cantidad de infiltración de la lluvia es suficiente para llevar al suelo a capacidad de campo y compensar la pérdida por evapotranspiración, el excedente de agua se filtra para recargar al acuífero (figura 1) (Schosinsky, 2006).

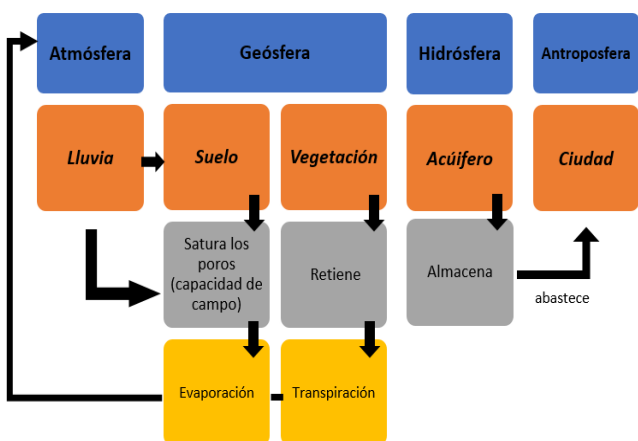


Figura 1 Proceso de recarga del acuífero y su interacción con las esferas terrestres. Elaboración propia con datos de Schosinsky, 2006

Este proceso es una parte del ciclo hidrológico e influye directamente en las propiedades fisicoquímicas de las aguas subterráneas, así como en la cantidad disponible.

3. Crecimiento urbano desordenado y su relación con el agua subterránea.

El agua es un recurso fundamental para la vida en el planeta y, sin embargo, a veces es poco valorada por ser considerada un recurso renovable. Su interacción con la antroposfera genera una serie de efectos negativos, como son: la dispersión de contaminantes y su agotamiento, lo que desencadena problemas colaterales que van desde subsidencia de suelos (Rodríguez Flores, 2013) hasta problemas de salud.

La demanda de suelo va en aumento para satisfacción de las necesidades propias de los habitantes. Esto induce un cambio en el uso de suelo, que se ve reflejado en la distribución y movilidad interna de las zonas urbanas, afectando los recursos disponibles, los cuales sostienen el funcionamiento de la mancha urbana. (Díaz Caravantes, Bravo Peña, Alatorre Cejudo, & Sánchez Flores, 2014)

Uno de los recursos esenciales es precisamente el agua subterránea, y también se ha utilizado las aguas superficiales como alternativa, las cuales serían la opción obvia para el abastecimiento en los centros de población. Sin embargo, debe considerarse que éstas son más susceptibles a diversos tipos de contaminantes, por ello no son las más aptas para uso y consumo humano.

El crecimiento urbano implica la expansión de más zonas impermeables, que conllevan a una reducción de la infiltración, la eliminación de la vegetación, cambios en la topografía del terreno y cambios en el uso de suelo (Ansari, Katpatal, & Vasudeo, 2016) (figura 2).

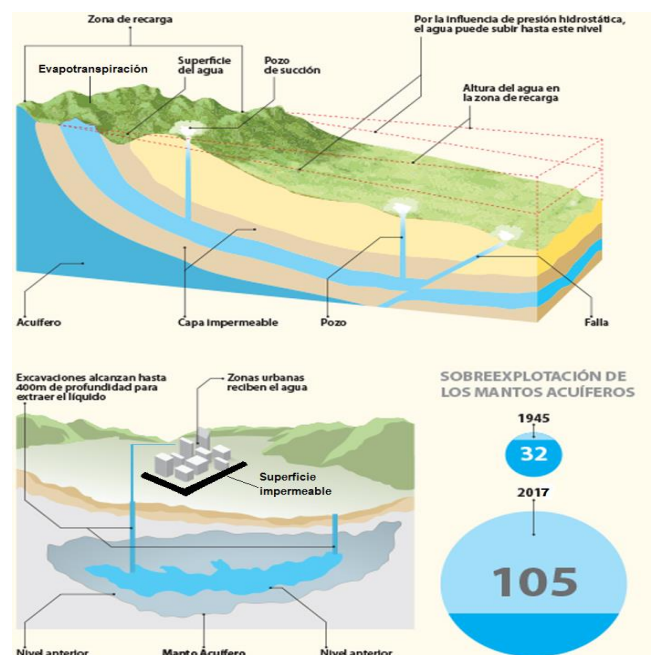


Figura 2 Acuífero y su sobreexplotación por abastecimiento de agua a las ciudades. Modificada de Marin, 2017

Este crecimiento generalmente sucede en las periferias, que con frecuencia son áreas desatendidas en las políticas públicas y planes urbanos (Díaz Caravantes et al., 2014). Esto ocasiona que la mancha urbana crezca sin control, creando centros de población dispersos, que traen consigo posteriores problemas de transporte, desabasto de agua para uso y consumo humano, contaminación del aire, pobreza, desigualdad social, modificación del paisaje, etc. (figura 3).



Figura 3 Modificación del paisaje a causa del crecimiento urbano desordenado. Tomada de ONU Habitat 2018

El agua subterránea es extraída para las diversas actividades que se realizan en la antroposfera (Wakode, Baier, Jha, & Azzam, 2018). El tipo de uso de suelo determina la cantidad de agua que se extrae del subsuelo, ya que es menor la demanda en zonas residenciales que la del riego agrícola, que oscila entre 70-80% (Gautam & N Prajapati, 2014).

En México, la situación de la demanda de agua y su disponibilidad fue revisada por Díaz-Caravantes (2013) en la pasada década y se identificaron las regiones con incrementos en la presión antropogénica sobre el agua subterránea. En dicho estudio se describen las áreas según los indicadores de volumen concesionado, densidad geográfica según la cantidad de pozos y la profundidad de perforación. La descripción desagregada en los diferentes componentes de la presión antropogénica sobre las aguas subterráneas generó una cartografía de la presión ejercida sobre los acuíferos del país (Díaz Caravantes, Bravo Peña, Alatorre Cejudo, & Sánchez Flores, 2013).

También se ha reportado anualmente la demanda de agua por los diferentes sectores tanto a nivel nacional como por estados. En estos informes de CONAGUA siempre se han reportado las mayores demandas para el sector agrícola, oscilando entre el 70-74% del total, tanto subterránea como superficial. Para el estado de Hidalgo se reportó en el 2018 que el 50.5% del agua subterránea se utiliza con fines agrícolas, el 29.3% suple al sector público/servicios (incluye urbano y rural) y la industria el 20%.

4. Caso de estudio: Valle Cuautitlán-Pachuca

Un ejemplo extremo de la consecuencia del crecimiento no planeado y la demanda excesiva de agua subterránea se presenta en el Acuífero Cuautitlán-Pachuca, que se encuentra sobreexplotado en extremo (Tabla 1). Éste actúa como fuente de abastecimiento al norte de la Zona Metropolitana de la

Ciudad de México en expansión y del del valle de Pachuca. (Galindo-Castillo et al., 2017)

En el valle, los municipios de mayor crecimiento urbano fueron Mineral de la Reforma, que el período 2000-2014 presentó una tasa anual de crecimiento urbano de 4.14 %, Villa de Tezontepec 3.69% y Tizayuca con 3.67 %. En la figura 4 se observa el cambio de uso de suelo a urbano (en rojo) del valle (Hernández-Flores et al., 2017).

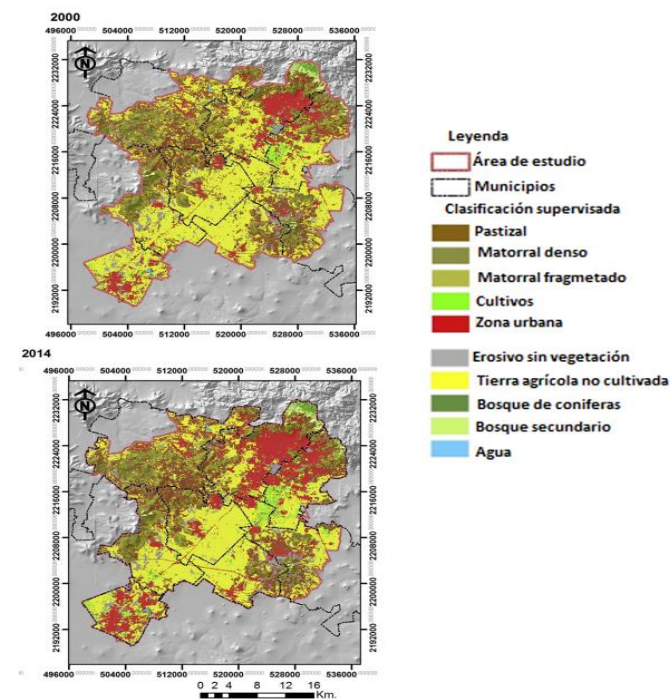


Figura 4 Crecimiento de la mancha urbana (2000-2014) de la zona metropolitana Pachuca, Mineral de la Reforma y Tizayuca. Tomado de Hernández-Flores et al., 2017

En esta zona se estudiaron las fuerzas impulsoras de la expansión urbana. Se identifican las principales como: el alto nivel económico de las familias que inmigran, el tipo de población que trabaja en el segundo y tercer sector, las distancias a las escuelas, zonas urbanas, carreteras, áreas protegidas, y por ultimo una alta tasa de crecimiento poblacional (Hernández-Flores et al., 2017).

Esto contribuye al desequilibrio hídrico de la zona, la cual es abastecida por el acuífero Cuautitlán-Pachuca. El aumento de la urbanización ha dado lugar al incremento de las inundaciones, con gran volumen y velocidad (Thapa, Ishidaira, Pandey, Bhandari, & Shakya, 2018). Al disminuir las zonas de recarga y aumentar la demanda, el descenso del nivel freático ocasiona el desabasto de agua potable (Galindo-Castillo et al., 2017).

De la tabla 1 se observa la contradicción existente en el déficit calculado, debido a la diferencia existente en la forma de calcular la recarga, aclarando que CONAGUA no ha cambiado ese valor a lo largo de varios años. En cuanto la información proporcionada por CEEA es complementaria y se obtuvo de estudios geohidrológicos que llevaron a cabo para 23 acuíferos del estado. Ciertamente, los datos oficiales

pueden tener sesgos y, por otra parte, no se publican datos sectoriales por parte de los municipios. De ahí la importancia de llamar la atención al sector académico para realizar investigaciones que complementen esta falta de información.

Tabla 1 Balance hídrico del Acuífero Cuautitlán- Pachuca (sobre explotado)

Referencia	(CONAGUA, 2018)	(CEAA, 2018)	(Galindo-Castillo et al., 2017)
Datos en hm ³ /año			
Año	2018	2017	2017
Recarga total media anual	356.7	N/D	163.1
Volumen de extracción	751.27	N/D	764.63
Balance	-394.57	-217.8	601.53

N/D No disponible

Por otra parte, existen diversos estudios del acuífero Cuautitlán-Pachuca relacionados con la sobreexplotación del agua subterránea y el crecimiento urbano (tabla 2).

Tabla 2 Estudios relacionados al acuífero Cuautitlán Pachuca y el crecimiento urbano del Valle México- Pachuca

Enfoque	Datos	Cita
Flujo de agua subterránea en Pachuca – Zumpango	Información geológica y trabajo de campo	(Huizar-Alvarez et al., 2003)
Proyecciones para 2021	Patrones de precipitación pluvial, temperatura, evapotranspiración, escorrentía superficial e infiltración.	(Galindo Castillo et al., 2010)
Evaluación de la sustentabilidad del acuífero	Catorce indicadores de los cuales: 6 son ambientales, 5 económicos y 3 sociales	(Neri-Ramírez et al., 2013)
Evaluación de hundimiento	Análisis de series temporales	(Siles, Alcérreca-Huerta, López-Quiroz, & Hernández, 2015)
Influencia de la urbanización en el cambio de la vegetación	Imágenes Landsat	(Hernández Flores et al., 2016)
Fuerzas impulsoras urbanas con proyección al 2029	Imágenes Landsat, y datos socioeconómicos	(Hernández-Flores et al., 2017).
Modelación de agua subterránea	Coefficiente de permeabilidad, almacenamiento, espesor, flujos de entrada y demanda	(Galindo-Castillo et al., 2017)

Cabe mencionar que las proyecciones futuras sobre la problemática son alarmantes, se prevé para el año 2031, bajo

la modelación de siete escenarios, se prevé una disminución en el nivel freático ocasionado por el crecimiento urbano descontrolado. La figura 5 muestra el escenario dos (línea rosa) que representa el nivel piezométrico del acuífero con un 36.6% de área cubierta por la mancha urbana del total de la superficie del acuífero. La pérdida de recarga se estimó en un 1% por cada 42,65 km² de expansión de las zonas urbana. (Galindo-Castillo et al., 2017).

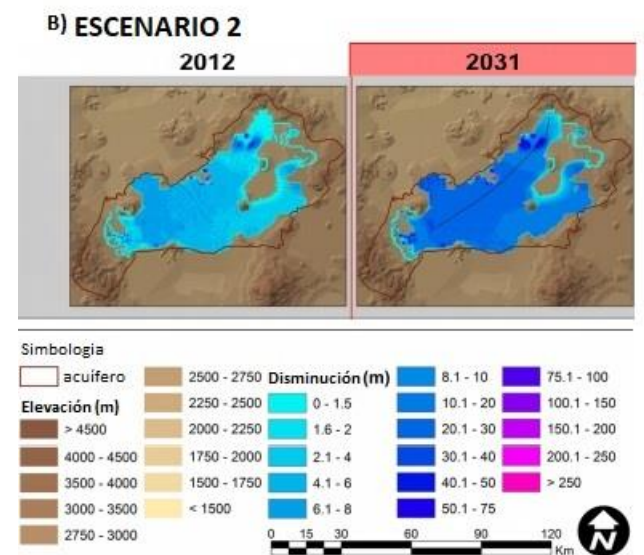
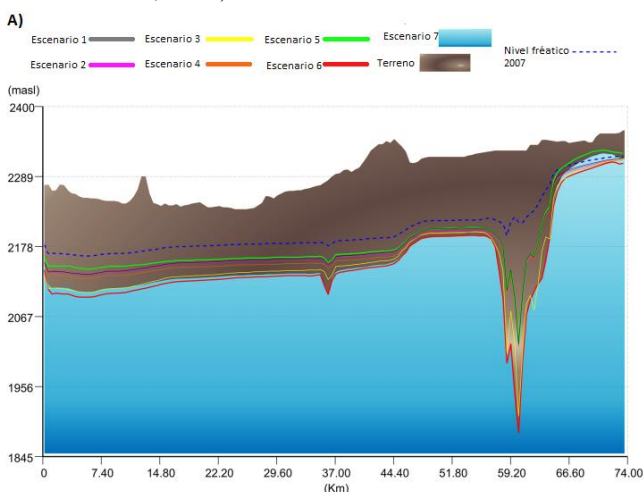


Figura 5 A) Escenarios 2031 ante diferentes presiones de demanda (1-7): Perfil de sección transversal del acuífero Cuautitlán-Pachuca. B) Disminución de la capa freática para el escenario 2. Modificada de Galindo-Castillo et al., 2017.

En el estado de Hidalgo, el Reglamento de la Ley de Asentamientos Humanos, Desarrollo Urbano y Ordenamiento Territorial establece que las edificaciones deben de contar con un 40% de área de jardines para contribuir a la recarga de acuíferos. En el municipio de Mineral de la Reforma, su reglamento especifica que se debe dejar el 30% del área total del terreno libre de construcción. Sin embargo, la falta de interés e indisciplina ciudadana conlleva a cubrir el área permeable, exacerbando el problema.

Por ello, la planeación de la expansión urbana idónea para el desarrollo y bienestar de la población en conjunto con su entorno debe tomar en cuenta diversos aspectos ambientales.

Valorarlo integralmente en la búsqueda de la sustentabilidad. Para lo cual los diferentes instrumentos jurídicos, las políticas públicas deben alinearse a una buena gobernanza de manera conjunta en los diferentes niveles de gobierno que permita aprovechar sustentablemente los recursos naturales y en particular, el agua subterránea (figura 6).



Figura 6 Elementos a considerar para la planeación urbana

5. Perspectivas futuras

La falta de planeación se traduce en crecimiento urbano desordenado y mal aprovechamiento del recurso hídrico. La relación entre crecimiento urbano, medio ambiente, así como el cuidado del agua no puede soslayarse, es vital localizar las zonas de recarga del acuífero para establecer acciones que le brinden protección, además deben fomentarse las tecnologías de construcción amigables para favorecer las recargas, como son los pavimentos permeables, el aumento y cuidado de jardines/parques, diseñar un sistema de desagües para agua pluvial con el fin de inyectarse al acuífero, así lograr mitigar los impactos ambientales ocasionados por las áreas urbanas e industriales.

Las predicciones de (Galindo-Castillo et al., 2017) y (Hernández-Flores et al., 2017) se aproximan a la realidad de los años más recientes, alertando de la necesidad de utilizar el agua del acuífero de manera sustentable, ya que se encuentra en peligro de sufrir daños irreversible, lo que demuestra la necesidad de un programa específico para la gestión del acuífero.

Las proyecciones a futuro no son nada favorables para el Acuífero Cuautitlán-Pachuca, por las magnas obras en ejecución como son el nuevo aeropuerto Felipe Ángeles y el Proyecto PlataH. Este panorama debe cambiar para alcanzar el desarrollo urbano sostenible.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo por las facilidades brindadas. KIRS agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACYT) por la beca de doctorado en Ciencias Ambientales

Referencias

- Angelone, S., Garibay, & Casaux, M. (2006). Permeabilidad de suelos. Universidad Nacional de Rosario, 1-39.
- Ansari, T. A., Katpatal, Y. B., & Vasudeo, A. D. (2016). Spatial evaluation of impacts of increase in impervious surface area on SCS-CN and runoff in Nagpur urban watersheds, India. *Arabian Journal of Geosciences*, 9(18), 702. doi:<http://doi.org/10.1007/s12517-016-2702-5>
- Bek, M. A., Azmy, N., & Elkafrawy, S. (2018). The effect of unplanned growth of urban areas on heat island phenomena. *Ain Shams Engineering Journal*, 9(4), 3169-3177. doi:<https://doi.org/10.1016/j.asej.2017.11.001>
- CEAA. (2018). Programa institucional de desarrollo de la comisión estatal del agua y Alcantarillado 2017-2022. Obtenido de <http://ceaa.hidalgo.gob.mx/doc-ceaa/2018/pid/PID.pdf>.
- CONAGUA. (2018). Detalle de los acuíferos en México (2018) Aguas del Valle de México. Obtenido de <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=acuíferos&ver=reporte#&ui-state=dialog>
- Díaz Caravantes, R. E., Bravo Peña, L. C., Alatorre Cejudo, L. C., & Sánchez Flores, E. (2013). Presión antropogénica sobre el agua subterránea en México: una aproximación geográfica. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 2013(82), 93-103. doi:<https://doi.org/10.14350/riig.32452>
- Díaz Caravantes, R. E., Bravo Peña, L. C., Alatorre Cejudo, L. C., & Sánchez Flores, E. (2014). Análisis geoespacial de la interacción entre el uso de suelo y de agua en el área peri-urbana de Cuauhtémoc, Chihuahua. Un estudio socioambiental en el norte de México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 2014(83), 116-130. doi:<https://doi.org/10.14350/riig.32694>
- Galindo-Castillo, E., Marín-Celestino, A. E., Otazo-Sánchez, E. M., Gordillo-Martínez, A. J., González-Ramírez, C. A., & Cabrera-Cruz, R. B. (2017). Modeling the groundwater response to megacity expansion demand and climate change. Case study: the Cuautitlán-Pachuca aquifer, in the Northeast of Mexico City. *Environmental Earth Sciences*, 76(15), 510. doi:<http://doi.org/10.1007/s12665-017-6808-1>
- Galindo Castillo, E., Otazo Sanchez, E., Reyes, I. R., Gutiérrez, S., Martínez, A., & Ramírez, C. (2010). Balance hídrico en el acuífero Cuautitlán-Pachuca, México: proyecciones para 2021. *GeoFocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*. Obtenido de http://geofocus.rediris.es/2010/Informe5_2010.pdf
- Gautam, D., & N Prajapati, R. (2014). Drawdown and dynamics of groundwater table in Kathmandu Valley, Nepal. *The Open Hydrology Journal*, 8(1). doi:<http://doi.org/10.2174/1874378101408010017>
- Han, D., Currell, M. J., Cao, G., & Hall, B. (2017). Alterations to groundwater recharge due to anthropogenic landscape change. *Journal of Hydrology*, 554, 545-557. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.09.018>
- Hernández-Flores, M. d. I. L., Otazo-Sánchez, E. M., Galeana-Pizaña, M., Roldán-Cruz, E. I., Razo-Zárate, R., González-Ramírez, C. A., . . . Gordillo-Martínez, A. J. (2017). Urban driving forces and megacity expansion threats. Study case in the Mexico City periphery. *Habitat International*, 64, 109-122. doi:<https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2017.04.004>

- Hernández Flores, M. d. I. L., Palacios Romero, A., Otazo Sánchez, E. M., González Ramírez, C. A., Gordillo Martínez, A. J., & Mendoza Herrera, K. A. (2016). Influencia de la urbanización en el cambio de la vegetación colindante del corredor Pachuca-Tizayuca (2000-2014). *Revista mexicana de ciencias forestales*. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322016000100020&nrm=iso
- Hernández Márquez, B., Pérez Castro, J., & Pérez Cruz, E. (2016). Centros integradores: una experiencia de ordenamiento territorial en el estado de Tabasco. *Problemas del Desarrollo*, 47(184), 111-136. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rpd.2016.01.006>
- Huizar-Alvarez, R., Hernández, G., Carrillo-Martinez, M., Carrillo-Rivera, J., Hergt, T., & Ángeles, G. (2003). Geologic structure and groundwater flow in the Pachuca–Zumpango sub-basin, central Mexico. *Environmental Geology*, 43(4), 385-399. doi:10.1007/s00254-002-0654-4
- Marin, N. (2017). Crece sobreexplotación de mantos acuíferos. Obtenido de <https://www.elsoldemexico.com.mx/mexico/sociedad/crece-sobreexplotacion-de-mantos-acuiferos-en-mexico-el-agua-esta-en-riesgo-231589.html>
- Neri-Ramírez, E., Rubiños-Panta, J. E., Palacios-Velez, O. L., Oropeza-Mot, J. L., Flores-Magdaleno, H., & Ocampo-Fletes, I. (2013). Evaluación de la sustentabilidad del acuífero Cuautitlán-Pachuca mediante el uso de la Metodología MESMIS. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-40182013000200009
- ONUHabitat. (2018). Hacer de los asentamientos informales parte de la ciudad. Obtenido de <https://www.onuhabitat.org.mx/index.php/hacer-de-los-asentamientos-informales-parte-de-la-ciudad>
- Rodríguez Flores, L. (2013). Evaluación de cambios hidroquímicos debido a la explotación intensiva de acuíferos: casos de estudio en México. *Padi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingeniería*, 1.
- Schosinsky, G. (2006). Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos. *Revista geológica de América Central*(34-35), 13-30. doi:<http://doi.org/10.15517/RGAC.V0I34-35.4223>
- Siles, G. L., Alcérreca-Huerta, J. C., López-Quiroz, P., & Hernández, J. C. (2015). On the potential of time series InSAR for subsidence and ground rupture evaluation: application to Texcoco and Cuautitlán–Pachuca subbasins, northern Valley of Mexico. *Natural Hazards*, 79(2), 1091-1110. doi:<https://doi.org/10.1007/s11069-015-1894-4>
- Thapa, B. R., Ishidaira, H., Pandey, V. P., Bhandari, T. M., & Shakya, N. M. (2018). Evaluation of water security in Kathmandu valley before and after water transfer from another basin. *Water*, 10(2), 224. doi:<http://doi.org/10.3390/w10020224>
- Wakode, H. B., Baier, K., Jha, R., & Azzam, R. (2018). Impact of urbanization on groundwater recharge and urban water balance for the city of Hyderabad, India. *International Soil and Water Conservation Research*, 6(1), 51-62. doi:<http://doi.org/10.1016/j.iswcr.2017.10.003>
- Zapata-Sierra, A., & Manzano-Agugliaro, F. (2008). Influencia de seis especies arbóreas en la infiltración de agua en el suelo. *Agrociencia*, 42, 835-845.