

INTERACCION AGUA SUBTERRÁNEA URBANIZACIÓN

Dr. Gabriel Jiménez Suárez¹,

Dra. margarita teutli león¹,

M.I. martha p. Gonzalez Araoz¹,

Martín Fernández León²

1 Investigador 2 Estudiante Benemérita

Universidad Autónoma de Puebla

Facultad de Ingeniería, C.U.

gajisu@puebla.megared.net.mx Tel. (222) 233 09 64

Tel.Fax (222) 229 55 00 ext. 7620

INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la población, la migración del campo a las ciudades, y la desigual distribución de la población en territorio Mexicano, genera la expansión urbana sin planeación y ningún control por parte del estado. Los planes de desarrollo urbano de los estados de la República contemplan zonas de desarrollo urbano y zonas de conservación ecológica. Pero la intensa demanda de territorio para grandes centros comerciales, industriales y habitacionales rebasa el área planeada de desarrollo urbano, ocupando zonas de reserva ecológica.

El aumento de la población y el desarrollo económico demandan grandes volúmenes de agua, los cuales se extraen de los acuíferos sin tener en cuenta la capacidad de almacenamiento y de recarga del acuífero, en muchos casos el volumen de extracción del agua es mayor que el volumen de recarga del acuífero lo que genera una disminución del nivel del agua subterránea a nivel local y en algunos casos a nivel regional.

La expansión urbana es inevitable hacia bosques y terrenos naturales o agrícolas cuya función hidrológica es captar y recargar los acuíferos, dicha función es disminuida o anulada por la urbanización. La urbanización trae como consecuencia el aumento de extracción de agua, disminución de la recarga, contaminación del agua subterránea, cambia el escurrimiento natural del terreno, genera intrusión de agua marina a las zonas costeras.

La alteración del acuífero debido al abatimiento del agua subterránea se manifiesta en la superficie del terreno como, subsidencia, fallas, las cuales son responsables de la ruptura de tuberías, daños a edificaciones, y a la infraestructura del transporte.

IMPORTANCIA DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN LAS CIUDADES

Aproximadamente en la República Mexicana el 68 % del volumen de agua para abastecimiento público, industrial, y doméstico es de origen subterráneo (Conagua, 2007:61). Existen ciudades, que dependen al 100 % del agua subterránea. Debido a ello y por su largo tiempo de renovación en México se reconoce que el agua es un asunto estratégico y de seguridad nacional, debido a que su calidad y disponibilidad son condicionantes del desarrollo socioeconómico del país (Conagua, 2006: 41).

OBJETIVO

Analizar los efectos que tiene la urbanización en la calidad y disponibilidad del agua subterránea. Paralelamente analizar el efecto de la extracción de agua en la superficie del terreno y en la infraestructura urbana.

CONCEPTOS TEORICOS

Para comprender lo expuesto en este trabajo se definen los principales conceptos empleados en la hidrología subterránea.

Cono de abatimiento. Es la superficie de abatimiento que se forma por la extracción de agua subterránea en acuíferos libres en cuyo centro se encuentra el pozo de bombeo.

Acuífero

Se denomina acuífero a la formación geológica permeable, que almacena agua, se recarga constantemente en cantidades suficientes, permite su extracción a costos moderados para satisfacer las necesidades del hombre.

Acuífero Libre o freático

Un acuífero freático es aquel cuya frontera superior es el nivel freático y arriba de este se encuentra la zona no saturada y la superficie del terreno. El nivel freático es la línea de saturación del terreno en que el agua se encuentra a la presión atmosférica.

Sistema acuífero

Es la integración del funcionamiento de un conjunto de componentes hidrogeológicos que interactúan entre si, intercambiando, energía, masa, almacenando y permitiendo el flujo de agua.

Los principales componentes de un sistema acuífero son:

- a) Estratos geológicos.
- b) Fronteras.
- c) Agua subterránea.
- d) Ríos, lagos y manantiales.
- e) Zonas de recarga, transito y descarga.

Las fronteras subterráneas laterales separan dos acuíferos y marcan su extensión horizontal. Una frontera geológica o física es una superficie a lo largo de la cual los parámetros hidrogeológicos del acuífero presentan una discontinuidad. Las fronteras de una cuenca subterránea son el lugar a través de las cuales no existe flujo de agua. Fronteras físicas de un sistema acuífero son rocas impermeables que no permiten el flujo de agua.

Ríos

Los ríos tienen interacción hidráulica con el acuífero. Esta interacción es de dos tipos si el río recibe recarga de agua del acuífero el río tiene la función de dren natural del acuífero y se denomina río influente, si el río recarga al valle se denomina río efluente.

Lagos son cuerpos de agua que pueden recibir recarga del acuífero por una gran parte de su perímetro o recargar el acuífero. También pueden recibir recarga del río o pueden ser drenados por el.

Zona de recarga. Las características de la zona de recarga son: su mayor altitud y precipitación media anual de toda la cuenca. Aquí se infiltra el mayor volumen de agua que abastece al acuífero, las concentraciones de minerales disueltos en el agua son marcadamente menores que en la zona de tránsito y de descarga, lo cual se debe a que el agua de reciente infiltración ha tenido un corto recorrido y poco tiempo de contacto para disolver minerales que componen la roca o suelo. El agua es de mayor calidad para cualquier uso debido a su baja mineralización.

Zona de tránsito. La dirección del flujo es predominantemente horizontal hacia la zona de descarga. Tiene una altitud media con respecto a la cuenca, la concentración de minerales disueltos es mayor que en la zona de recarga pero menor a la zona de descarga.

Zona de descarga. Es la de menor altitud de toda la cuenca, el flujo de agua es hacia arriba y el nivel freático se encuentra cerca de la superficie. La cantidad de minerales disueltos en el agua es la más alta de toda la cuenca debido al mayor recorrido y tiempo de contacto con el medio poroso. Es agua de menor calidad debido a que en algunas cuencas en las que se encuentran rocas muy solubles como las rocas carbonatadas algunos iones como calcio, magnesio, pueden rebasar la concentración permitida para uso humano o ciertos usos industriales.

Aunque las tres zonas que forman un sistema acuífero reciben recarga por infiltración, el mayor volumen de agua de un acuífero en su zona de tránsito y descarga proviene de la zona de recarga.

EFFECTOS DE LA URBANIZACIÓN EN EL AGUA SUBTERRÁNEA.

La ocupación del suelo por la expansión urbana genera alteraciones sobre el recurso agua, dichas alteraciones como la disminución y la calidad, son irreversibles, en tanto, no vuelva el medio a su condición original, y en el caso de que el medio volviera a su condición original algunas condiciones del sistema suelo-agua volverían a su estado original a muy largo plazo, por ejemplo la calidad del agua.

Los principales efectos de la urbanización sobre el agua subterránea son:

- a) Abatimiento del nivel del agua subterránea.
- b) Disminución de la recarga.
- c) Contaminación del agua subterránea.
- d) Intrusión salina en acuíferos costeros.

Abatimiento del nivel del agua subterránea

El abatimiento del nivel del agua subterránea se debe a la combinación simultánea de los siguientes mecanismos: 1) Extracción de agua subterránea, 2) Disminución de la recarga por infiltración debido a la impermeabilización del terreno por la urbanización, 3) Disminución de la recarga lateral o subterránea debido al abatimiento regional del nivel del agua por la alta densidad de pozos para uso urbano.

Cuando el volumen de extracción de agua de un acuífero es mayor al volumen de recarga se genera una declinación o abatimiento del nivel del agua subterránea, para determinar el volumen de extracción que mantenga el equilibrio con el volumen de recarga en el acuífero, no es un cálculo sencillo y solo se puede realizar de forma aproximada. La declinación del nivel del agua genera un cono de abatimiento teniendo como centro el pozo de extracción. El radio de influencia del cono de abatimiento depende del tipo de material y del volumen de bombeo por

unidad de tiempo. Cuando el volumen de extracción es igual al volumen de recarga el cono de abatimiento permanece estacionario, cuando el volumen de extracción es mayor que la recarga el cono de influencia sigue aumentando en profundidad y extensión, incluso hasta quedar el nivel del agua abajo del pozo. El radio de influencia de los pozos puede ser del orden de 500 a 1000 m, cuando existen varios pozos en una zona se puede traslapar el cono de influencia de los pozos creando así un abatimiento de alcance regional. En algunos acuíferos como en el del valle de Puebla se han reportado abatimientos del orden de 3 m por año (Flores-Márquez et al, 2006: 1216).

El abatimiento del nivel freático obliga a perforar pozos a mayor profundidad con un mayor costo de bombeo, y extracción de agua con un alto grado de mineralización, debido a que el agua tuvo un mayor recorrido y tiempo de contacto para disolver minerales que forman las rocas. Dicha mineralización en algunos casos rebasa las concentraciones permitidas en el agua por las normas Mexicanas para consumo humano. (Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994).

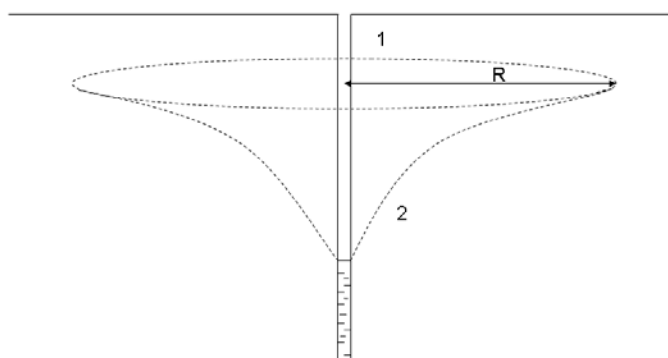


Figura 1. Pozo en un acuífero libre. El No. 1 indica la posición original del agua o nivel estático, el No. 2 indica el cono de abatimiento, resultado de la extracción de agua.

Disminución de la recarga de agua.

Se denomina recarga el proceso por el cual se incorpora a un acuífero agua procedente de la precipitación pluvial o del entorno geológico que lo rodea.

Existen distintos tipos de recarga los principales tipos son: (1) recarga difusa por lluvia o nieve a través de amplias zonas, (2) recarga concentrada a través de causas permanentes, estacionales o efímeros, (3) recarga lateral subterránea por acuíferos adyacentes, (4) aguas de retorno utilizadas en el riego, (5) recarga urbana es el agua que retorna al subsuelo por la rotura de tuberías, riego en jardines.

La recarga por precipitación pluvial es la más importante para todo el acuífero ya que el volumen infiltrado puede sumar millones de metros cúbicos dependiendo de la precipitación media anual en la cuenca. En consecuencia la urbanización disminuye la más abundante fuente de recarga para el acuífero que es la precipitación.

La urbanización sustituye el terreno natural por superficies planas impermeables. El terreno natural es un medio poroso permeable, dotado de biodiversidad, irregularidades topográficas como barrancas, depresiones que captan y almacenan efímeramente la precipitación pluvial y favorecen la infiltración del agua debido a que retardan el escurrimiento superficial. El escurrimiento de la precipitación pluvial a través del terreno natural en su camino hacia ríos y lagunas se infiltra recargando los acuíferos. La pavimentación de la superficie conduce la precipitación pluvial hacia el alcantarillado en donde se une con aguas residuales contaminándose, sin cumplir su función de recargar ríos, acuíferos, lagunas.

La impermeabilización del terreno natural altera directamente todos los procesos del ciclo hidrológico en la zona urbanizada e indirectamente a mediano y largo plazo en ríos, lagunas, acuíferos, que pueden estar distantes del orden de decenas de kilómetros de la zona urbanizada pero que tienen comunicación hidráulica con el acuífero que subyace en la zona urbanizada.

Demasiadas zonas urbanas se localizan en las áreas de recarga de los acuíferos, dejando camellones de avenidas, y jardines como únicas áreas de recarga. Las zonas de recarga al ser las de mayor altitud, en ellas el agua adquiere la energía potencial para que pueda fluir hacia todo el acuífero, alimentar ríos, manantiales, acuíferos profundos y salir en lugares muy distantes a decenas de kilómetros en la zona de descarga. Las zonas de recarga de agua subterránea son muy importantes para la calidad del agua en todo el acuífero, debido a que si existe un foco de contaminación en la zona de recarga el contaminante se propaga en gran parte del acuífero.

Las zonas de recarga son las zonas mas importantes dentro del sistema acuífero, al urbanizarse las zonas de recarga simplemente no hay infiltración y no hay renovación del recurso.

Las aguas subterráneas tienen una función esencial en la economía y el bienestar social de las áreas urbanas en todo el mundo. El agua subterránea es preferida para satisfacer la demanda doméstica, industrial, publica, debido a su bajo costo, gran disponibilidad y buena calidad.

La disminución de la recarga del acuífero también implica la disminución del caudal de agua en manantiales o incluso su desaparición. La desaparición de los manantiales que son atractivos turísticos, o que son fuentes de abastecimiento para uso doméstico o materia prima para la industria del agua embotellada.

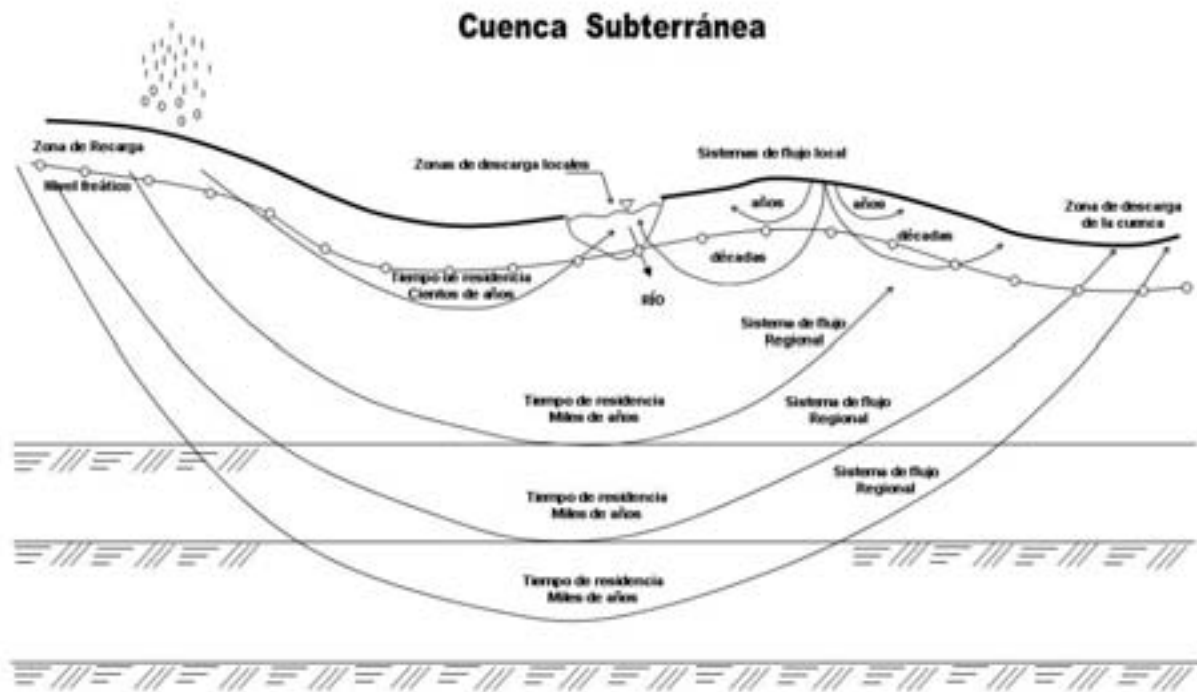


Figura 2. Esquema de un sistema acuifero

Volumen de recarga perdida en el acuífero por m² de suelo urbanizado

La recarga es un proceso discontinuo espacial y temporalmente sujeto a variaciones climáticas y estacionales. El volumen de infiltración dentro de una misma cuenca esta sujeto a variaciones debido a que la precipitación, la permeabilidad del terreno, evapotranspiración, ni las demás variables que influyen en la recarga son uniformes.

Supóngase una región con clima templado con una temperatura media anual de 16 °C que tiene una precipitación media anual de 800 mm por metro cuadrado. El volumen de precipitación por metro cuadrado es de 0.8 m³, el volumen que se infiltra depende de múltiples factores, clima, tasa de evapotranspiración, pendiente y conductividad hidráulica del terreno. Un valor medio aproximado (Custodio, 1196 : 349) de infiltración es del 12% al 23 % de la precipitación total. Para nuestro ejemplo escójase un valor de infiltración del 23 %, entonces se tiene .23 m³/m²/año = 230 litros/m²/año. El acuífero deja de recibir un volumen de recarga por precipitación de 230 litros/m²/año, si se multiplica por el área total urbanizada es un volumen muy grande.

Efecto de la urbanización en ríos

Los ríos tienen interacción hidráulica con el acuífero, esta interacción es de dos tipos si el nivel estático tiene el nivel del cause el acuífero recarga al río, y es el dren natural del acuífero y se clasifica como río influente, si el río recarga al acuífero se denomina río efluente, lo cual sucede cuando el nivel del agua subterránea esta por abajo del nivel del cause del río.

Los ríos cuyo cause queda localizado en zonas urbanas se contaminan debido a la descarga de aguas residuales industriales sin tratar o deficientemente tratadas, aguas residuales domésticas, y aguas del lavado de calles.

Debido a la migración del campo a las ciudades los recién llegados no tienen recursos económicos para alquilar o comprar vivienda en zonas con toda la infraestructura urbana requerida, por lo cual se establecen ilegalmente a la orilla de barrancas o causes de ríos, depositando sus desechos de todo tipo directamente en el río.

En muchas ciudades las barrancas son utilizadas como basureros clandestinos principalmente de muebles grandes que el servicio urbano de recolección de basura por su tamaño no recoge, al registrarse precipitaciones intensas la basura es arrastrada hacia el río o sus efluentes contaminando sus aguas.

Debido a la contaminación el oxígeno disuelto en el agua disminuye a tal grado que la capacidad de autopurificación del río disminuye y en algunos segmentos desaparece.

La declinación del nivel de agua subterránea hasta una profundidad menor al cause del río, hace que el flujo de agua se invierta, es decir el río filtra agua hacia el acuífero, la consecuencia de este cambio de flujo es que debido a la contaminación del agua de algunos ríos, el agua que se filtra del río hacia el acuífero es agua contaminada, al filtrarse el agua contaminada del río hacia el acuífero la calidad del agua del acuífero disminuye debido a la propagación de los contaminantes, originando que los pozos que se localicen en la zona de influencia del río alumbren agua contaminada.

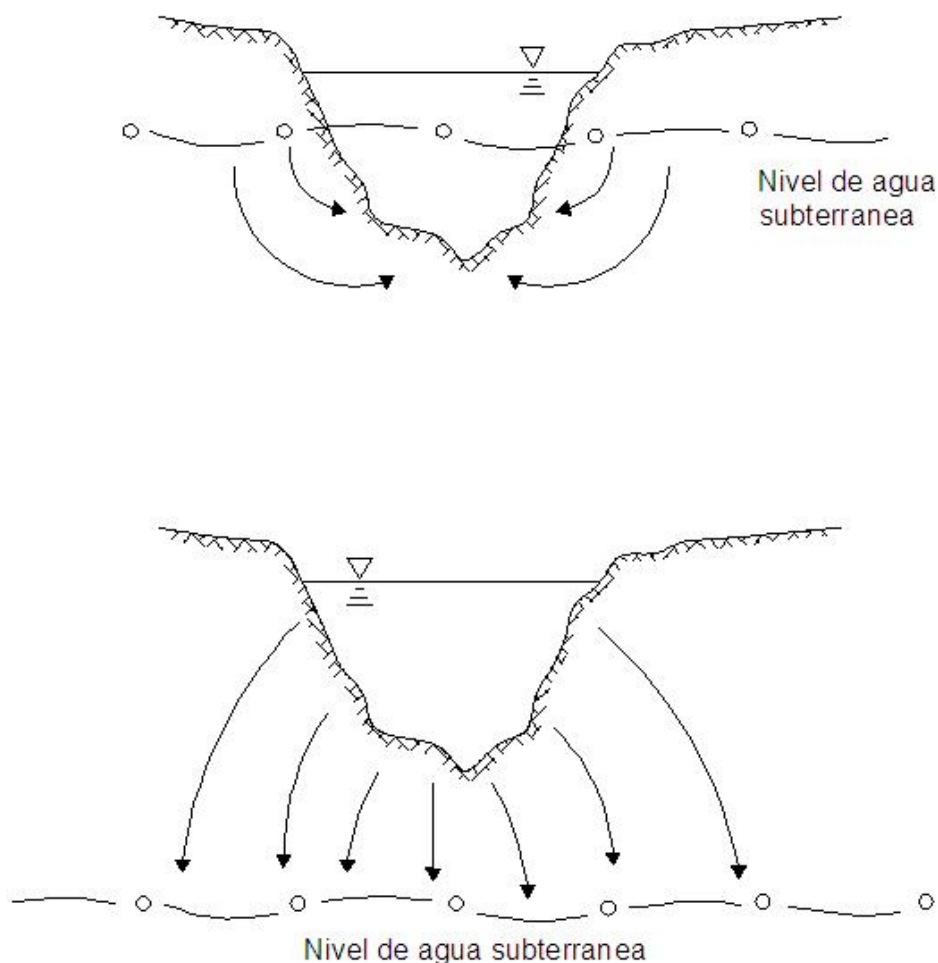


Figura 3. El abatimiento del agua subterránea invierte el sentido del flujo en los ríos, debido a la contaminación de los ríos infiltran agua contaminada hacia el acuífero.

Contaminación del agua subterránea.

La contaminación del agua subterránea se ha incrementado paralelamente a la expansión urbana y al desarrollo industrial. A la fecha no se ha podido tener desarrollo económico y expansión urbana sin impactar negativamente la calidad del agua.

Se denominan contaminantes a los solutos que se introducen en el medio hidrogeológico por actividades antropogénicas. Para que una sustancia se considere contaminante debe ser tóxica, persistente y móvil en el medio.

El crecimiento de la población y el crecimiento de la industria han incrementado la descarga de aguas residuales, que si no son tratadas eficientemente y se vierten en ríos o se vierten sobre la tierra generan contaminación, en primer lugar a las aguas superficiales, y al cabo de algún tiempo a las aguas subterráneas.

Una herramienta muy eficaz para prevenir la contaminación, es la elaboración de los mapas de vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos. Un mapa de vulnerabilidad delimita las zonas que son más vulnerables a la contaminación de acuerdo a sus características hidrogeológicas, su aplicación sirve para decidir bajo un marco de planeación urbana sustentable el uso de suelo, y restringir el establecimiento de industrias altamente contaminantes, rellenos sanitarios en zonas de alta vulnerabilidad.

Vulnerabilidad es una propiedad intrínseca del sistema de agua subterránea que depende de la sensibilidad del mismo a los impactos humanos y/o naturales (Vrba y Zaporozec, 1994 :3).

Existen cuatro formas en que la composición química del agua subterránea puede ser alterada.

1. Procesos naturales. Lixiviados de depósitos químicos naturales hacia el agua subterránea como sulfatos, arsénico, Nitratos, hierro y otros químicos inorgánicos.

2. Escurrimiento de agua que proviene del escurrimiento de calles que propiamente las lava. Esta aguas generalmente tienen altas concentraciones de nutrientes, metales, microorganismos, sustancias químicas orgánicas.

3. La disposición final de residuos sólidos en tiraderos a cielo abierto. Tiradero a cielo abierto es el lugar en que se disponen los desechos sólidos sin ningún estudio hidrogeológico, algunas veces sobre materiales permeables y con el nivel freático a pocos metros de la superficie, sin ningún tipo de protección con mallas geotextiles impermeabilizantes para evitar que los lixiviados alcancen el agua subterránea y recubiertos con capas de tierra, para proteger el medio ambiente.

El problema de los tiraderos a cielo abierto son los lixiviados con contaminantes. (lixiviado es agua de lluvia que se infiltra a través de los desechos sólidos más los líquidos que contienen estos). La cantidad del lixiviado depende de la precipitación en el área, de la tasa de evaporación media anual del área, y de la composición del residuo. La infiltración del lixiviado en el medio poroso constituye una fuente de contaminación continua para las aguas subterráneas. Aunque la fuente de contaminación de un tiradero a cielo abierto puede ser considerada puntual su transporte a través del medio poroso propaga los contaminantes preferentemente en la dirección del flujo subterráneo del acuífero. La velocidad tan pequeña del agua subterránea hace que los contaminantes aparezcan en el agua extraída en pozos muy distantes incluso décadas después.

4. Los derrames accidentales de líquidos derivados del petróleo en oleoductos o a través de tanques de almacenamiento subterráneos. Los derrames de aguas negras residuales debidos a la ruptura de tuberías de drenaje. La contaminación en sitios que carecen de drenaje y se dispone de fosas sépticas para las aguas negras.

La contaminación del agua en las ciudades debido al abatimiento del nivel freático, produce grietas por las que se filtra el agua directamente al acuífero, producto de la precipitación que fluyo y arrastró contaminantes del lavado de calles. Las grietas evitan o aceleran el paso del agua por la zona no saturada del suelo que es la planta de tratamiento de la naturaleza.

Intrusión Salina

Definición. Es el flujo subterráneo de agua de mar, desplazando y remplazando el agua dulce de sistemas acuíferos costeros.

En un acuífero costero, existe una relación de equilibrio natural entre el agua subterránea dulce que descarga al mar y el agua salada de origen marino, que penetra parcialmente tierra adentro en forma de cuña apoyada en la base del acuífero en su forma más usual.

La intrusión de agua salada ocurre en acuíferos costeros y deltaicos (desembocadura de ríos en el mar) en todo el mundo. La distribución natural de la salinidad del agua subterránea en las costas es el resultado de procesos geológicos, subsidencia del terreno de la costa, resultado de cambios entre el nivel del mar y el nivel de la superficie de la costa.

La intrusión salina en acuíferos costeros se debe al desequilibrio entre las presiones del agua dulce continental y el agua salina del océano. La urbanización disminuye la recarga por infiltración de los acuíferos costeros, y aumenta la extracción de agua abatiendo los niveles del agua subterránea y disminuyendo la presión hidráulica de agua dulce, lo cual genera las condiciones para que se lleve a cabo el proceso hidrodinámico de intrusión salina.

La intrusión salina tiene magnitudes locales cuando la intrusión salina se presenta en el cono de abatimiento de un pozo cercano a la costa. La intrusión de magnitud regional se presenta en acuíferos en los que el abatimiento del nivel del agua subterránea es de alcance regional, principalmente en zonas áridas

La intrusión salina en acuíferos costeros de agua dulce de buena calidad, tiene un costo económico muy alto pues demerita la calidad del agua para consumo humano, uso industrial y en la agricultura.

EFFECTOS DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN LA URBANIZACIÓN

Subsidencia del terreno

Los asentamientos por consolidación del terreno en grandes áreas se denominan subsidencia, es un problema que se presenta en varias ciudades del mundo, Tokio, México, D.F., Valle de San Joaquín California, y varias ciudades de la República Mexicana.

La subsidencia se presenta en sitios en donde se ha abatido el nivel del agua subterránea en estratos de sedimentos clasificados según la hidrogeología como acuitardos, los acuitardos a su vez están formados por geomateriales clasificados como arcilla, arcilla limosa, con un gran volumen de porosidad con una permeabilidad igual o menor a $K = 10^{-8}$ m/s. Desarrollándose en la superficie del terreno grietas de gran longitud que en algunos casos erróneamente son clasificadas como fallas de origen tectónico.

Siempre que se efectúa la extracción de algún fluido del subsuelo, vapor agua, gas, petróleo, o incluso sólidos cambia el estado de esfuerzos de la fase sólida, y del fluido.

La ecuación que representa el proceso es

$$\sigma = \sigma' + u_n$$

Donde:

σ = Esfuerzos totales en la masa de suelo.

σ' = Esfuerzos efectivos en la fase sólida del suelo.

u_n = Presión del agua en los poros del suelo.

Al extraer el agua que ocupa los espacios intergranulares aumenta el esfuerzo efectivo produciendo deformaciones en la masa de suelo y expulsando el agua, debido a la baja permeabilidad de los sedimentos el asentamiento no es inmediato es a través de largos períodos de tiempo. Por cada metro de abatimiento del agua, el esfuerzo en la fase sólida aumenta 1 t/m^2 .

El volumen de agua que se extrae es el mismo volumen que disminuye el estrato afectado. Debido a que la disminución del nivel del agua no es uniforme el aumento de esfuerzos efectivos no es uniforme y en consecuencia la deformación volumétrica no es uniforme, lo cual se manifiesta en la superficie por medio de asentamientos de diferente magnitud.

La velocidad de asentamiento del terreno depende de la permeabilidad de los sedimentos, del caudal de agua extraído del suelo, y la cantidad de recarga del acuitardo. Las velocidades de asentamiento registradas en la ciudad de México varían de 1- 7.33 cm, por año, (Zeevart, 1983: 263). En la década de 1950 la velocidad de asentamiento era de 30 cm/año lo cual motivo a decretar una veda en los pozos en el área central de la ciudad de México (Mazzari et al. 1992:37). La veda de los pozos disminuyó la velocidad de asentamiento a solo 6 cm/año a partir de la década de 1960. El asentamiento total en algunas áreas de la ciudad de México a partir del año 1950 en que se inicio el bombeo excesivo es de 8 m.

En la superficie de ciudades como Aguascalientes, Celaya, Morelia, Irapuato, la ciudad de México se ha registrado en extensas áreas la aparición de grietas de tensión, y como consecuencia daños a todo tipo de estructuras e infraestructura urbana.

Las consecuencias de la subsidencia en las cimentaciones de estructuras, son la reducción de la capacidad de carga de cimentaciones profundas como pilas, pilotes y los asentamientos diferenciales en edificios que producen grietas, en muros, daños en miembros estructurales (ZeevaErt, 1983: 237). Los daños a las estructuras llegan a ser muy intensos que tienen que ser demolidas.

Los daños en la infraestructura urbana son la ruptura, deformación, agrietamiento de pavimentos en avenidas, daños a elementos estructurales de puentes vehiculares. En la ciudad de México el sistema de las vías del transporte subterráneo han tenido que renivelarse a un alto costo.

Las redes de distribución de agua potable, alcantarillado, telecomunicaciones, gas presentan rupturas, y deformaciones que reducen su función y vida útil. Causando grandes pérdidas económicas e inconformidad en la población.

El alcantarillado al romperse y derramar sus aguas en el subsuelo produce una gran contaminación a los acuíferos.

En aeropuertos como el de la ciudad de México y el del Bajío en la ciudad de León Guanajuato, (Alvarez et al, 2001: 29,36) también se han registrado daños a las pistas de aterrizaje debidos a la subsidencia del terreno por extracción de agua.

La subsidencia también genera que las zonas que han sido afectadas por el hundimiento queden abajo del nivel del terreno circundante y potencialmente sean zonas de inundación debido a las dificultades para drenar el agua de lluvia por la red de alcantarillado o por el escurrimiento natural del terreno.



Foto 1. Daños irreparables a casas habitación, en el piso se observa la grieta producida, por extracción de agua, ciudad de Aguascalientes México (tomada por el primer autor)



Foto 2. Grieta por subsidencia ciudad de Salamanca, Guanajuato, México (Rodriguez-Ramirez, 2006: 266)

URBANIZACIÓN DETENIDA

Los nuevos desarrollos inmobiliarios o industriales en algunas zonas de todo el territorio nacional encuentran restricciones para abastecerse de agua en cantidad suficiente, debido a que existen zonas de veda en donde el uso intensivo del agua origina un descenso muy fuerte del agua subterránea, debido a ello, ya no es posible extraer grandes volúmenes de agua y tampoco autorizar nuevas captaciones para extraer agua subterránea. Lo cual limita la edificación de nuevos conjuntos habitacionales.

En las ciudades en que se han presentado grietas por la extracción de agua subterránea se han creado zonas en que la urbanización se ha detenido debido a los daños producidos por el agrietamiento del subsuelo a los inmuebles, daños que ningún tipo de cimentación o estudio de mecánica de suelos puede evitar.

En las zonas de agrietamiento el valor del terreno y de los inmuebles se han depreciado, simplemente nadie quiere comprar o rentar inmuebles con daños que aunque se reparen continuaran agrietándose y que ponen en riesgo la integridad de quien las habita.

Cualquier expansión urbana, o desarrollo habitacional o zona industrial, en zonas de agrietamiento, no es posible que los organismos de protección civil y el ayuntamiento autoricen su construcción.

Zonas de veda

La República Mexicana se ha dividido en 653 acuíferos de los cuales 104 presentan un déficit entre la descarga y la recarga. A partir de la década de los setenta, ha venido aumentando el número de acuíferos con déficit de recarga de 32 en 1975 a 104 en el 2006. (Conagua, 2007:44-45).

Con base en el balance hidrológico de las cuencas subterráneas, para revertir el descenso del nivel del agua subterránea y aumentar el volumen de agua almacenada en los acuíferos con déficit el Gobierno Federal ha determinado zonas de veda que prohíben o restringen las extracciones de agua en las zonas en que se ubican acuíferos con déficit. Se tienen declaradas 145 zonas de veda (Conagua, 2007 :112-113).

La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) es el organismo descentralizado responsable de aplicar y vigilar el cumplimiento de la política hídrica del Gobierno Federal.

Las zonas de veda se clasifican en dos tipos:

- a) Zona de veda controlada en la que la extracción de agua subterránea se limita a un determinado volumen anual de agua por pozo, de acuerdo a la disponibilidad de agua del acuífero determinado a través de un balance hidrológico. Se puede autorizar la perforación de nuevos pozos en la zona previo permiso de CONAGUA.
- b) Zona de veda restringida en la que no se permite la perforación de nuevos pozos y a los existentes su extracción se limita a un volumen determinado.

Los desarrolladores inmobiliarios encuentran severas restricciones para obtener los permisos para perforar pozos con el gasto de agua que demande el número de viviendas construidas en las zonas de veda, además porque no existe la suficiente agua en el acuífero.



Figura 4. Zonas de veda en el territorio nacional (Conagua, 2007 :112-113).

ACCIONES PREVENTIVAS CONCRETAS

La descripción de los efectos de la urbanización en la calidad y disponibilidad del agua subterránea, y no proponer ninguna acción para prevenir, minimizar o pronosticar sucesos de impacto negativo sobre el agua subterránea es contemplar los eventos sin ningún objetivo o sensibilidad social.

Las autoridades responsables del desarrollo urbano de los estados deben contar con la cartografía integral del agua subterránea. Dichos mapas deben tener definidas las zonas de vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos, para no instalar en las zonas de alta vulnerabilidad rellenos sanitarios, o industrias altamente contaminantes.

Se deben delimitar e identificar las zonas de recarga regionales y locales que debido a su función e importancia en la calidad y renovación del recurso agua deben considerarse y declararse zonas de reserva ecológica y preservarlas utilizando toda la fuerza del estado por los tres niveles de gobierno municipios, estados, y gobierno federal.

No se deben autorizar desarrollos inmobiliarios con densidades de población por hectárea o la instalación de industrias, con demanda de agua, mayor al volumen de agua que puede proporcionar el acuífero determinado por medio de un balance hidrológico de la cuenca o de la zona.

Crear infraestructura hidráulica que permita almacenar, purificar e infiltrar agua de lluvia en zonas permeables mediante pozos de recarga, para disminuir la diferencia extracción-recarga en el acuífero.

Hasta donde sea posible aumentar las áreas verdes en las ciudades, en las banquetas y camellones, dejar un área de terreno natural descubierta para que se infiltre el agua, si se suman los metros cuadrados, de toda la ciudad se infiltrara un gran volumen de agua.

Limitar el volumen de agua para clubes deportivos o balnearios para obligarlos a reciclar el agua ya que estas instalaciones demandan gran cantidad de agua, debido a un uso irresponsable por parte del usuario.

Dotar del volumen necesario a cada casa para satisfacer sus necesidades, pero a un consumo excedente cobrar el metro cúbico a un precio mayor para evitar el uso excesivo o irresponsable del agua.

Se deben buscar zonas con recursos de agua suficientes para favorecer su crecimiento y desarrollo. Desconcentrar las actividades económicas y en consecuencia la desigual distribución de la población, concentrada en las megaciudades, y ciudades medias.

CONCLUSIONES

La urbanización altera varias etapas el ciclo hidrológico en las zonas urbanizadas, principalmente la recarga y la calidad del agua, en consecuencia afecta, ríos, manantiales, lagos, que tienen interacción hidráulica con el agua subterránea.

El abatimiento de agua subterránea más allá de la capacidad de renovación anual del acuífero en los centros urbanos, cambia el estado de presiones del acuífero y cuando esta formado por materiales como arenas finas, limos y arcillas compresibles este responde con deformaciones, agrietamientos, asentamientos, que destruyen estructuras, redes de telecomunicaciones, agua potable, alcantarillado, vialidades.

El agua subterránea es un recurso natural renovable en cantidad y calidad pero a muy largo plazo.

La extracción y administración de este recurso debe ser el resultado de una planeación urbana, hidrogeológica integral, que tome en cuenta todas las necesidades de la sociedad pero también respetando la variable renovación que es el volumen que otorga la naturaleza con variaciones cíclicas.

Los organismos encargados de abastecer de agua, distribuirla, sanearla, preservarla deben ser dirigidos por especialistas en la materia.

Debe haber coordinación entre la secretaria del medio ambiente, desarrollo urbano, y los organismos responsables de la administración del agua.

REFERENCIAS

Custodio, E. Llamas, M.R., 1996. Hidrología Subterránea Tomo I, Segunda Edición. Ediciones Omega. Barcelona.

CONAGUA, Comisión Nacional del Agua en México, 2006. La gestión del agua en México avances y retos.

CONAGUA, Comisión Nacional del Agua en México, 2007. Estadísticas del agua en México.

E. Leticia Flores-Márquez & Gabriel Jiménez-Suárez & Raymundo G. Martínez-Serrano & René E. Chávez & Daniel Silva-Pérez. Study of geothermal water intrusion due to groundwater exploitation in the Puebla Valley aquifer system, Mexico.

Llamas, M.R. y Custodio, E. 1999. Aguas subterráneas Revista CIDOB d'afers Internacionals, No. 45-46, Fundación CIDOB, Barcelona, 35-57.

Mazari. M., Ramirez C., Alberro J., 1992. Efectos de la extracción de agua en la zona lacustre del valle de México. Volumen Raul J. Marsal Sociedad Mexicana de Mecánica de suelos A.C.

NOM-127-SSA-(1994). Normas Oficiales Mexicanas. Agua para uso y consumo humano, subsecretaría de Regulación y Fomento Sanitario. Dirección general de salud ambiental.

Rodríguez Castillo R, Rodríguez Velásquez I, 2006. boletín de la sociedad Geológica Mexicana número especial de geología urbana. Tomo LVIII num. 2 p. 265-269.

VRBA J. & A. ZAPOROZEC (ED.) 1994. Guide book on mapping groundwater vulnerability. IAH. Vol 16: 1-31 verlag heise hannover.