

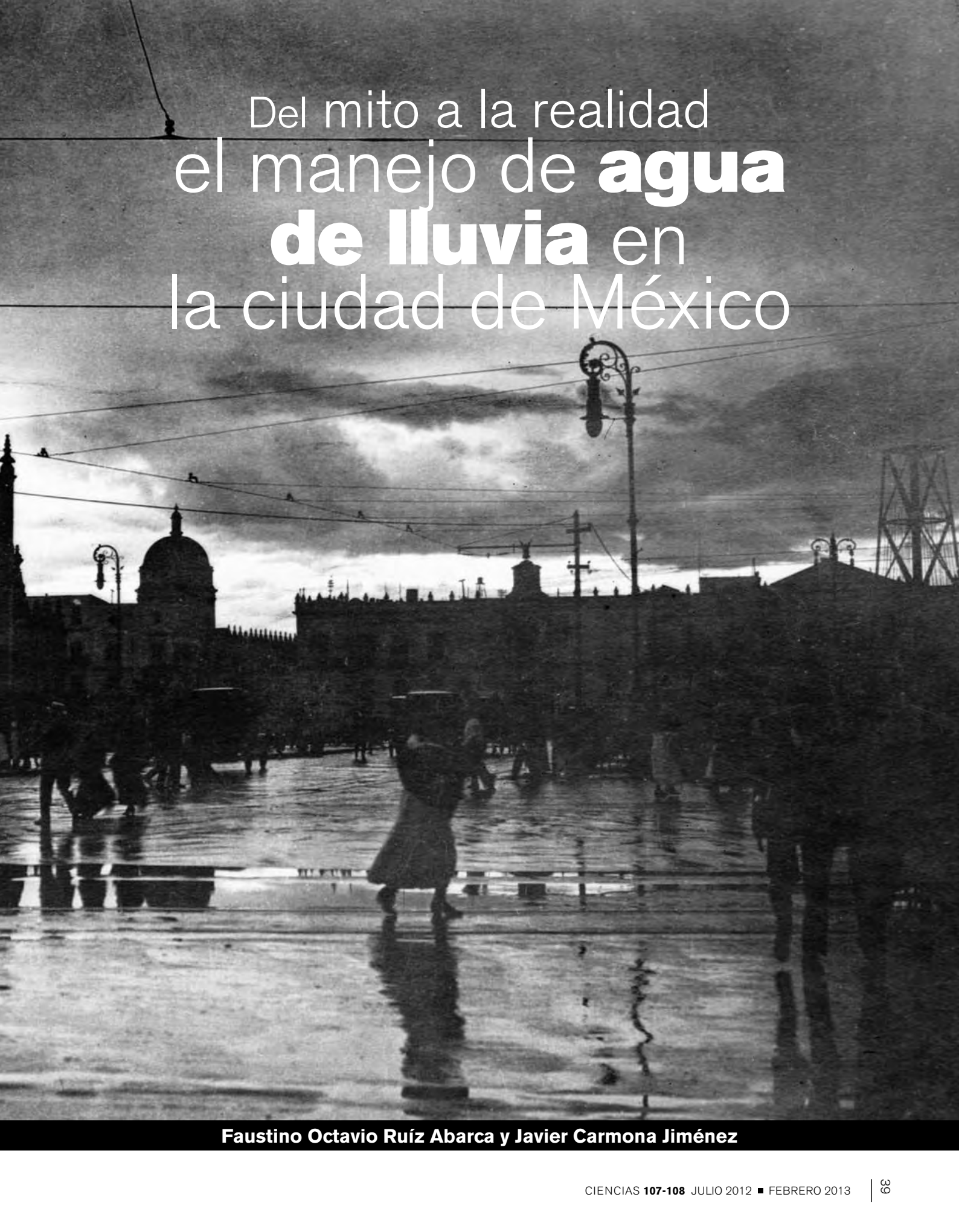
**E**n la ciudad se escuchan los comentarios de muchas personas que se molestan cuando comienza la lluvia y miran este fenómeno con desagrado porque altera el ritmo de su actividad cotidiana; y qué decir del transporte urbano cuando la ciudad se convierte en algunos minutos en verdaderos entramados, tan complejos como la intensidad o duración de la lluvia; y cuando comienza a ser insuficiente el sistema de drenaje, la gran cantidad de agua precipitada busca salida a través de alcantarillas en calles y avenidas, sin embargo no siempre logra desalojarse porque su paso es obstaculizado por enormes cantidades de basura depositadas de manera involuntaria e intencional en la vía pública. Contrariamente a la percepción que se tiene en la zona urbana, en el campo el agua de lluvia es considerada como un bien invaluable para el suministro agrícola, ganadero y humano. Asimismo, existen tradiciones y ritos religiosos relacionados con el deseo de una próspera temporada de lluvia. Considerando lo anterior, es evidente que la percepción e información que la sociedad tiene del agua de lluvia puede ser distinta de acuerdo con la relación que tiene ésta con nuestra vida cotidiana y a los mitos generados en torno a su origen y manejo.

El abastecimiento de agua a las ciudades se obtiene tradicionalmente de diferentes maneras: de cuerpos de agua naturales, tales como ríos y lagos, de pozos y obras hidráulicas construidas *ex profeso* como los acueductos. Estas fuentes se utilizan aisladas o combinadas, dependiendo del uso, volumen y calidad del líquido, se les denomina secundarias, ya que la fuente primaria es el agua de lluvia. El régimen pluvial en la ciudad de México no ha cambiado desde las primeras observaciones en la época de la Colonia hasta el día de hoy, con una precipitación similar año con año; sin embargo el cambio climático que vivimos puede provocar diferencias en cuanto a la distribución, frecuencia y altura de la precipitación.

### ¿Qué es la lluvia?

El agua es un compuesto químico formado por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno. Se estima que se encuentra presente en nuestro planeta desde su formación, hace unos 4500 millones de años. Debido a los elementos que la conforman, los científicos consideran que al exterior de nuestro sistema solar existe la posibilidad de encontrar agua, lo cual ha sido verificado por medio de la observación con radiotelescopios que han detectado la longitud de onda en el espectro electromagnético que corresponde al vapor de agua —se asegura haberla encontrado en otros sitios, tales como la estrella K3-35.





Del mito a la realidad  
el manejo de **agua**  
**de lluvia** en  
la ciudad de México

Faustino Octavio Ruíz Abarca y Javier Carmona Jiménez

Hay científicos que consideran que el agua se encontraba en la Tierra desde su formación, pero otros consideran que llegó del exterior, por medio de los cuerpos celestes que chocaron con ella. Cualquiera que sea la explicación, aún sigue en controversia y la única información verídica es que el volumen de agua en la Tierra no se ha modificado. Éste es, sin duda, el elemento más importante que favoreció el origen de la vida y el desarrollo de la mayoría de los procesos biológicos, y que contribuye a la estabilidad de la temperatura del planeta, almacenando la energía solar en los océanos, y su disponibilidad siempre ha estado manifiesta en el desarrollo de las civilizaciones humanas.

El ciclo del agua se encuentra en un sistema cerrado que, según los científicos, inicia en la atmósfera con la formación de nubes de vapor de agua producto de la evaporación, principalmente de los océanos. Dicho vapor es transportado por el viento hacia el continente, en donde los cambios en la temperatura provocan su precipitación, sea de forma líquida como la lluvia, sólida como el granizo y la nieve, o condensada como el rocío y la escarcha. El agua que llega a la superficie puede infiltrarse para formar corrientes subterráneas o acuíferos, o bien correr sobre el suelo para formar arroyos y ríos. El tiempo de permanencia del agua fluvial de dichas corrientes es variable, desde pocos instantes hasta cientos de años. Finalmente, el agua que corre superficialmente también llega a formar lagos y lagunas, mientras otra llega directamente a los mares y océanos, completando el ciclo hidrológico. La cantidad y calidad de agua que se precipita es diferente en cada sitio y región geográfica, razón por la cual deben estudiarse de manera específica los fenómenos climatológicos y

químicos asociados al tipo de agua disponible en forma de lluvia. El caso de la ciudad de México es ilustrativo al respecto. Una revisión de los principales mitos en torno a ella nos permitirá mostrarlo.

### **Mito I. Es ácida y no útil para consumo humano**

La composición química y biológica determina el uso que el humano puede dar al agua. Cuando es muy ácida o básica, o contiene contaminantes asociados, es considerada de mala calidad y no puede usarse para las actividades humanas más comunes como son el consumo directo, el recreativo o el riego de plantas. Las propiedades químicas y biológicas del agua están relacionadas directamente con el ambiente donde transita. Por ejemplo, cuando el agua se encuentra en la atmósfera se mezcla con diversos elementos que tienden a acidificarla, tales como el dióxido de carbono, el dióxido de azufre y el óxido de nitrógeno que, en su forma gaseosa y grandes cantidades, pueden ser muy nocivos para la salud. En condiciones naturales, cuando el agua se precipita en forma de lluvia se registra ligera acidez. Sin embargo, se convierte en un problema ambiental cuando en la atmósfera hay excedentes de gases nocivos que se asocian con el vapor de agua para convertirse en ácidos sulfúrico y nítrico y formar la lluvia ácida.

No se ha demostrado aún que la lluvia ácida ocasione efectos directos nocivos en los seres humanos, sin embargo, puede tener efectos indirectos sobre la salud, ya que es capaz de disolver metales y sustancias tóxicas de los suelos y las tuberías y, posteriormente, transportarlos hacia los sistemas de agua potable e incluso afectando a la vegetación. En la ciudad





de México se han tomado algunas medidas para mitigar la emisión de los contaminantes que ocasionan la lluvia ácida, entre las que se destacan: la reducción de azufre en diferentes combustibles, la introducción del convertidor catalítico de tres vías en los vehículos automotores, la continuación del programa “Hoy no circula”, el impulso al uso de gas natural en diversas industrias y vehículos, la ampliación del sistema de transporte eléctrico y de los autobuses en carriles confinados y la instalación de equipos de control de emisión de gases en distintas fábricas. No obstante, a pesar de tales esfuerzos, las emisiones de gas llegan a ser significativas en algunas épocas del año, en especial la invernal. Por tal motivo, es necesario efectuar un monitoreo de la calidad del agua de lluvia antes de utilizarla.

### **Mito II. Es inútil**

La distribución del agua superficial ha sido modificada por el ser humano desde hace mucho tiempo, ya que se ha visto en la necesidad de controlar los elementos de la naturaleza para hacer un mejor uso de los recursos hídricos o bien para prevenir daños en zonas urbanas y productivas. Para ello ha desviado ríos, construido embalses, aljibes, drenajes, etcétera. En las ciudades se ha establecido lo que se conoce como ciclo urbano del agua, que es la integración del ciclo natural del agua y el sistema de suministro, manejo y desalojo de agua en las zonas urbanas. En las de países desarrollados existe un manejo diferenciado del agua pluvial y de las servidas o aguas negras.

Por otra parte, en muchas ciudades existe la preocupación por el adecuado y rápido desalojo del agua que corre por las

calles y, en el mejor de los casos, en la gran mayoría va directo al drenaje, sin el mínimo aprovechamiento. En los últimos años, las autoridades del Distrito Federal han ejecutado un programa para la captación y filtración del agua de lluvia, sobre todo en las partes más altas y en donde el tipo de suelo y subsuelo lo permiten. En muchos lugares de la ciudad se han excavado “pozos de infiltración” en las calles, los cuales funcionan como captadores y el agua pasa a través de rejillas metálicas a un filtro para, posteriormente, llegar al subsuelo. Desafortunadamente no se han encontrado datos que indiquen la calidad del agua filtrada ni mediciones acerca de la cantidad por delegación o pozo.

Asimismo, se han dado a conocer los esfuerzos que realizan instituciones de diversa índole, principalmente académicas, agrupaciones civiles y ciudadanos interesados en evitar o prevenir el posible daño que provoca el manejo inapropiado del agua de lluvia y, al mismo tiempo, en lograr su aprovechamiento. Sin embargo, el trabajo que realiza la autoridad responsable del manejo del agua en la ciudad de México es incipiente y las políticas son difusas y contradictorias, ya que el agua de lluvia se sigue manejando igual que hace muchos años, simplemente como agua de lluvia.

### **Mito III. Su valoración y manejo son ajenos a nuestra cultura**

Para las culturas prehispánicas, el agua de lluvia tenía un aspecto relevante en la idiosincrasia y la cosmovisión debido a que la asociaban con deidades. En cada región, centro ceremonial y zona urbana existía un dios de la lluvia, del agua, del rayo y del trueno. En la mayoría de los casos era el mismo, inseparable el uno del otro, eran dioses múltiples. En otras

culturas, los dioses del agua se asociaban con los de la Madre Tierra, porque el agua también mana de las entrañas de la tierra, en forma de manantiales, en cascadas. Se representaban con fauces de serpiente, nubes, rayos y cántaros. Para los nahuas era Tlaloc, para los mayas Chaac, para los zapotecos Co-cijo, Dzahui para los mixtecos, para los totonacos Aktsini y así podría seguir una enorme lista de nombres por región o civilización, que el lector puede acrecentar así como profundizar en su análisis.

La observación de la naturaleza, los fenómenos meteorológicos, los ciclos agrícolas y la interacción del hombre con las divinidades era una sola visión del mundo, no había división, sino una liga estrecha entre todo ello. La importancia de la lluvia en Mesoamérica tenía tres manifestaciones relacionadas con el manejo del agua: la escasez, el exceso y la irregularidad, mismas que hoy día continúan provocando estragos en la producción de alimentos y la vida cotidiana de los habitantes de México.

El suministro de agua para la ciudad de Palenque, Chiapas, en el periodo clásico, 200 a 900 d.C., por ejemplo, estaba resuelto, ya que tenían una fuente inagotable; sin embargo, en la época de lluvias tenían graves problemas de inundación y destrucción de cultivos y edificios, así como dificultad en el tránsito de personas y mercancías, evitados gracias a la construcción de puentes y túneles, y conduciendo el líquido aguas abajo a fin de irrigar zonas de cultivo e inundar las tierras bajas (humedales) En este caso, la estrategia en el manejo de agua se enfocó a la abundancia.

Otro caso es el de una ciudad contemporánea a Palenque, Cobá, en el actual estado de Quintana Roo, un centro urbano que se desarrolló en torno a la administración de agua superficial de manantial gracias a una elaborada obra hidráulica. En la ciudad de Uxmal, en Yucatán, también del periodo clásico, se construyeron numerosos chultunes, que no son sino depósitos de agua de lluvia excavados en el subsuelo con forma de campana, ubicados al pie de los edificios. Por último, en la ciudad de Xochicalco, del periodo clásico tardío, 650 a 1000 d.C., se ha encontrado un sistema de recolección de agua de lluvia en cisternas y su transporte por una compleja red de acueductos que satisfacían las necesidades en toda la ciudad. Estas dos últimas metrópolis, a diferencia de las anteriores, requerían resolver problemas de escasez en algunas épocas del año.

#### **Mito IV. Debe ir al drenaje**

Las obras de infraestructura hidráulica de la ciudad de México han tenido como principal característica la exportación de agua de la cuenca para vaciar los lagos que antiguamente existían. El Tajo de Nochistongo es la primera gran obra de drenaje que se realizó para retirar el volumen de agua de la cuenca, posteriormente el emisor Poniente, el emisor Central y el emisor Oriente. En un principio, las obras se realizaban cerca de a la superficie, sin embargo la sobreexplotación del acuífero provocó hundimientos que hicieron más difícil el desalojo del agua. Este problema se ha intentado resolver en las obras más





recientes, excavando a una profundidad mayor a la realizada en obras anteriores e inclusive instalando estaciones de bombeo con equipos de gran capacidad para lograr el desalojo oportuno de grandes volúmenes de aguas negras, sobre todo en la época de lluvias.

Ha sido sólo en años recientes que las autoridades del Distrito Federal han establecido un marco legal que obliga que las nuevas construcciones a separar y reutilizar las aguas pluviales. Sin embargo, el volumen de captación y reuso es mínimo porque las grandes superficies pavimentadas, calles, plazas y estacionamientos al aire libre, no tienen separación de agua, con lo cual volúmenes importantes de lluvia son vertidos al drenaje como de desecho, sin reparar en el desperdicio que esto representa. Desafortunadamente, en los planes de desarrollo urbano y en la planificación hidráulica no se diseñaron los vasos de regulación como captadores de agua para su aprovechamiento, sino únicamente, como su nombre lo indica, para regular las avenidas en la época de lluvias y, de una manera controlada, verter el líquido al drenaje, previniendo su saturación.

### **Inundaciones contra escasez**

La paradoja hidráulica que se vive en la ciudad de México radica en los extremos de la escasez y el exceso de agua, el primer acontecimiento se presenta en la época seca y el segundo en la época de lluvias. La historia nos muestra que, desde la época prehispánica, el emplazamiento en donde se ubicaron los primeros asentamientos humanos no fue el más adecuado, debido a su conformación de cuenca endorreica, lo cual ocasiona constantes inundaciones. Por esta razón se construyó el albaradón de Nezahualcoyotl; desde entonces y hasta hoy, tras la Conquista, el Virreinato, la Independencia y

el México postrevolucionario, esta ciudad se ha caracterizado por la abundancia de agua, ya que originalmente más de 48 ríos abastecían a los cinco lagos de la cuenca.

Pero, ¿si en la actualidad no vemos los grandes ríos y sólo observamos calles pavimentadas, por qué el fenómeno de las inundaciones sigue presente? Como se mencionó anteriormente, esto se debe a que la cantidad de agua que se precipita no ha sufrido cambios significativos y ahora es captada en calles, avenidas que la llevan al drenaje, es decir, éstas se han convertido en impermeables y colosales áreas de captación. Debido al material con que se construye, la velocidad de escurrimiento y saturación de atarjeas es alta. Anteriormente estas mismas superficies eran ocupadas por cobertura vegetal natural o agrícola y el agua se filtraba al acuífero. También es importante recordar que los primeros asentamientos tenochcas se hicieron sobre zonas ganadas al lago de Texcoco, rellenando humedales, sobre partes de lagos desecados, produciendo una gradual compactación del terreno. Si en la actualidad le sumamos el peso de las construcciones a la extracción de agua y la sobreexplotación del acuífero, tenemos como resultado la disminución en el volumen del subsuelo, una mayor compactación que se traduce en hundimientos diferenciales a lo largo y ancho del territorio de la ciudad de México.

Para corroborar lo anterior se inició un análisis documental en publicaciones oficiales; sin embargo, en los datos de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) en particular la publicación *Estadísticas del Agua en México en el 2010*, los periodos de registro son diferentes y es difícil establecer una tendencia de manera clara. Los reportes sobre la precipitación en la ciudad de México son variables y van de 606 a 1122 milímetros (tabla 1), lo cual puede explicarse por el empleo de criterios diferenciales con relación al tiempo de registro, la ubica-



ción de los aparatos de medición y el tamaño del área en la que fue estimada. La misma CONAGUA maneja una periodización distinta, lo que pone de manifiesto que, para utilizar la información existente, debe de realizarse una medición puntual del área de captación, ya que el último dato citado supera por mucho el promedio anual del país y de la región hidrológica. Es de resaltar el hecho de que en la zona del Ajusco llueve casi el doble del promedio del país y de la región hidrológica XIII. Es por ello que en la zona sur y sur poniente de la ciudad el volumen de precipitación podría ser una fuente importante de abastecimiento de agua que contribuya a detener la sobreexplotación del acuífero y a disminuir la demanda del trasvase de las cuencas Lerma y Cutzamala.

### Potencial del manejo de agua de lluvia

Debido a sus condiciones geográficas y climáticas, el volumen de precipitación en la ciudad de México es muy variado, por lo cual, para lograr que el aprovechamiento y manejo de agua de lluvia sean viables es indispensable conocer la siguiente información: 1) contar con datos específicos y actuales del sitio donde se desea desarrollar el proyecto; 2) el volumen de la precipitación es básico, deben conocerse los datos de grandes periodos de tiempo y de eventos extraordinarios que permiten el diseño de sistemas de captación y distribución; 3) la superficie de captación se considera, en sus dimensiones, en el plano horizontal, sin importar la inclinación ni el acabado de la misma; 4) caracterizar el área y el volumen de precipitación nos facilitaría estimar el volumen de captación.

Asimismo, es necesario calcular el consumo prospectivo, es decir, analizar los datos de consumo actual, el volumen del suministro (agua de lluvia más fuentes adicionales) y el volumen requerido para el almacenamiento. El tipo de almace-

namiento dependerá del volumen captado, del de consumo, del espacio para instalar el depósito, así como de los recursos financieros del usuario. Con toda esta información se realiza el diseño técnico de instalaciones para la captación, la distribución, el tipo de filtrado y el costo de obra.

Se requiere también monitorear la calidad del agua y determinar las necesidades de los usuarios. El agua de lluvia requiere un tratamiento de limpieza convencional, por lo que, para eliminar los organismos y las sustancias nocivas para el ser humano, se utilizan filtros y elementos químicos que retienen a los microorganismos. El tamaño del filtro, su composición, la ubicación y costo están en función del destino final que se dará al agua; en un mismo predio o edificación puede haber distintos tipos de filtros. El agua servida también puede reutilizarse con sistemas de recuperación (filtros y humedales) y separación del jabón, grasas, solventes, con lo que se disminuye la descarga de aguas negras al sistema municipal.

Para lograr un óptimo aprovechamiento del agua y de los dispositivos instalados, los usuarios deben estar interesados y plenamente convencidos del uso de agua de lluvia, sólo así se podrá lograr su participación desde los estudios previos, el desarrollo del proyecto y la operación del sistema. Al integrar cada uno de los elementos propios del diseño del sistema, los usuarios y los promotores conformarán un plan de manejo de manera que se establezca claramente el funcionamiento de los dispositivos y el óptimo aprovechamiento del agua de lluvia.

### Conclusiones

El balance hídrico de la ciudad de México es un tema muy visto, bien documentado, pero hasta hoy, aun con debates, foros y discusiones, sigue sin resolverse. La cantidad y calidad del agua de lluvia que puede ser aprovechada para el consumo humano dependerá en gran medida de la adecuada



conservación de la vegetación y el suelo de las zonas montañosas que la rodean, y del manejo adecuado del agua. En la ciudad de México se tienen serios problemas relacionados con la deforestación, el cambio de uso de suelo, el crecimiento de la mancha urbana, así como el reemplazo del suelo natural de infiltración por pavimentos impermeables. Asimismo, los lagos, ríos y vasos de regulación son empleados como vertederos de aguas negras o depósito de basura, razones por las cuales el agua de lluvia es desaprovechada como un recurso altamente cotizado.

Una alternativa para contribuir al equilibrio del balance podría ser el empleo del agua de lluvia; su éxito dependerá, en gran medida, de la activa participación social y gubernamental. Sin lugar a dudas, los beneficios tangibles se identifican fácilmente y se pueden medir, técnica y económicamente; los intangibles también son muchos y se tendrá que encontrar un índice para medirlos. Todos estos son, entre otros, los beneficios ambientales, sociales y culturales, y adquieren gran relevancia porque contribuyen a solucionar un problema serio y añejo en la ciudad de México. ☀



**Faustino Octavio Ruíz Abarca**

Facultad de Arquitectura,

**Javier Carmona Jiménez**

Facultad de Ciencias,

Universidad Nacional Autónoma de México.

Comisión Nacional del Agua. 2005. *Estadísticas del Agua 2005 de la Región XIII, Aguas de México y Sistema Cutzamala*. CNA, México.

Jáuregui, E. 2000. *El clima de la Ciudad de México*. Instituto de Geografía, UNAM/Plaza y Valdés, México.

Legorreta, J. 2006. *El Agua y la Ciudad de México, de Tenochtitlán a la megalópolis del siglo XXI*. UAM-Azcapotzalco, México.

Mederey, L. 2005. *Principios de hidrogeografía, Estudio del ciclo hidrológico*. Instituto de Geografía, Serie Textos Universitarios, UNAM.

Ruiz, A. O. 2008. *Cosecha de lluvia, una alternativa de suministro de agua en la zona sur de la Ciudad de México*. Tesis de Maestría. Facultad de Arquitectura, UNAM.

Rodríguez, L. e Y. Gómez. 2007. "El origen cósmico del agua", en *Ciencia*. vol. 58, núm. 3, pp. 6-16.

IMÁGENES

© CONACULTA. INAH. SINAFO. FN. México, (número de inventario), Casasola: pp. 38-39: Camión pasando por una calle inundada en la ciudad de México, ca. 1948 (2349); p. 40: Mujer acompañada de un hombre intentando cruzar una calle inundada, ca. 1900 (137297); Calle inundada, 1920-1925, (197412); p. 41: Bomberos desaguando una inundación, ca. 1900 (138462); p. 42: Gente en una calle inundada, 1935-1940, (197409); p. 43: Gente al parecer gritando en una calle inundada, ca. 1940 (137367); Camión pasando por una calle inundada en la ciudad de México, ca. 1948 (33722); p. 44: Hombres haciendo servicio de paso de peatones en una calle inundada, 1950 (137534); Inundación en una calle, 1945. P. 43: Héctor García, Tláloc, 1960. P. 45: Juan Guzmán, Inundación en la ciudad de México, 1951.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Báez, A., R. Belmont, R. García, H. Padilla y M. C. Torres. 2007. "Chemical composition of rainwater collected at a southwest site of Mexico City, Mexico", en *Atmospheric Research*, vol. 86, núm. 1, pp. 61-75.

FROM MYTH TO REALITY. MANAGEMENT OF RAINWATER IN MEXICO CITY

**Palabras clave:** Agua de lluvia, manejo, Ciudad de México.

**Key words:** Environmental management, Mexico City, Rainwater.

**Resumen:** La cantidad, calidad y manejo del agua de lluvia puede contribuir a resolver problemas relacionados con el abastecimiento de agua en la ciudad de México.

**Abstract:** The quantity, quality, and management of rainwater may help solve problems related to the water supply in Mexico City.

Faustino Octavio Ruíz Abarca es Maestro en Arquitectura por la UNAM y Profesor de Asignatura de la Facultad de Arquitectura. Es promotor de las técnicas de captura y manejo de agua fluvial.

Javier Carmona Jiménez es Profesor Titular en la Facultad de Ciencias de la UNAM y su investigación pretende caracterizar la ecología y fisiología de los organismos acuáticos en sistemas fluviales de nuestro país.

Recibido el 28 de noviembre de 2011; aceptado el 13 de enero de 2012.