

Planeación, gobernanza y sustentabilidad

Retos y desafíos desde el enfoque territorial

Carlos Alberto Pérez-Ramírez
Juan Roberto Calderón-Maya
(coordinadores)



Universidad Autónoma
del Estado de México



Edición financiada por el Programa de Fortalecimiento de la Calidad Educativa PFCE-2016 proyecto K03131010

Planeación, gobernanza y sustentabilidad : retos y desafíos desde el enfoque territorial / Carlos Alberto Pérez-Ramírez y Juan Roberto Calderón-Maya, coordinadores. - - México : Universidad Autónoma del Estado de México : Juan Pablos Editor, 2018

1a. edición

375 p. : ilustraciones ; 17 x 23 cm

ISBN: 978-607-422-915-8 UAEMéx

ISBN: 978-607-711-454-3 Juan Pablos Editor

T. 1. Desarrollo sustentable - México T. 2. Política ambiental - México

HC140.E5 P53

PLANEACIÓN, GOBERNANZA Y SUSTENTABILIDAD.
RETOS Y DESAFÍOS DESDE EL ENFOQUE TERRITORIAL
de Carlos Alberto Pérez-Ramírez y Juan Roberto Calderón-Maya
(coordinadores)

D.R. © 2018, Carlos Alberto Pérez-Ramírez y Juan Roberto Calderón-Maya

D.R. © 2018, Universidad Autónoma del Estado de México

Instituto Literario # 100, Col. Centro
C.P. 50000, Toluca, Estado de México
Tel.: (01 722) 226 23 00
<<http://www.uaemex.mx>>

D.R. © 2018, Juan Pablos Editor, S.A.

2a. Cerrada de Belisario Domínguez 19, Col. del Carmen
Del. Coyoacán, 04100, Ciudad de México
<juanpabloseditor@gmail.com>

Fotografía de portada: Leopoldo Islas Flores

Diseño de portada: Daniel Domínguez Michael

ISBN: 978-607-422-915-8 UAEMéx

ISBN: 978-607-711-454-3 Juan Pablos Editor

El contenido de esta publicación es responsabilidad de los autores.

Queda prohibida la reproducción parcial o total del contenido de la presente obra, sin contar previamente con la autorización por escrito del editor en términos de la Ley Federal del Derecho de Autor y en su caso de los tratados internacionales aplicables.

Impreso y hecho en México

Juan Pablos Editor es miembro de la Alianza de Editoriales Mexicanas Independientes (AEMI)

Distribución: TintaRoja <www.tintaroja.com.mx>

Índice

Presentación	11
I. DINÁMICAS Y PROCESOS DE LA PLANEACIÓN	
La planeación urbana mexicana en la coyuntura de Hábitat III <i>Juan José Gutiérrez Chaparro y Teresa Becerril Sánchez</i>	17
Urbanización neoliberal y proceso de expansión urbana en el corredor industrial del Bajío <i>Tonahtiuac Moreno Codina, Netzahualcóyotl López Flores y Mónica de la Barrera Medina</i>	33
Planteamientos teóricos para el análisis de los equipamientos de seguridad y justicia <i>Elsa Mancilla González, Pedro Leobardo Jiménez Sánchez y Francisco Javier Rosas Ferrusca</i>	57
La vivienda mínima de interés social y sus efectos sociales <i>José Juan Méndez Ramírez y Yadira Contreras Juárez</i>	69
Planeación y seguridad urbana desde lo local: Delegación San Lorenzo Tepaltitlán, Toluca <i>Graciela M. Suárez Díaz, Norma Hernández Ramírez y Teresa Becerril Sánchez</i>	93

Modificación de la estructura urbana mediante las urbanizaciones cerradas <i>Miriam Romero Valdez, Héctor Campos Alanís</i> y <i>Pedro Leobardo Jiménez Sánchez</i>	107
La gestión de residuos sólidos urbanos sustentable, una mirada al Estado de México <i>Elizabeth Díaz Cuenca, Carlos Alberto Pérez-Ramírez</i> y <i>Alejandro Rafael Alvarado Granados</i>	129

II. ENFOQUES DE GOBERNANZA E INSTRUMENTOS DE PLANEACIÓN

Gobernanza metropolitana: perspectiva integral para la innovación pública en Toluca, Metepec y Zinacantepec <i>Francisco Javier Rosas Ferrusca, Verónica Miranda Rosales</i> y <i>Juan Roberto Calderón Maya</i>	143
Hacia un hábitat sustentable en Toluca y Metepec <i>Verónica Miranda Rosales y Francisco Javier Rosas Ferrusca</i>	167
Gobernanza ambiental y turismo rural: escenarios de desarrollo en áreas naturales protegidas <i>Carlos Pérez-Ramírez, Elizabeth Díaz Cuenca</i> y <i>Alejandro Rafael Alvarado Granados</i>	193
La ciudad turística: desarrollo contra sustentabilidad <i>Octavio Castillo Pavón y Alberto Javier Villar Calvo</i>	211

III. COMPLEJIDAD AMBIENTAL Y SUSTENTABILIDAD

La construcción del conocimiento ambiental en México desde lo ontológico, epistemológico y metodológico <i>Edgar Hernández-Quiroz, Lilia Zizumbo-Villarreal</i> y <i>Sergio González-López</i>	233
Conservación de la biodiversidad del Área Natural Protegida Parque Hermenegildo Galeana <i>Leopoldo Islas Flores y Lilia Angélica Madrigal García</i>	255

Resiliencia agrícola: una propuesta metodológica para su análisis en el nivel local en sistemas agrícolas de maíz y papa <i>Belina García Fajardo, Carla Liliana García Celaya y Eufemio Gabino Nava Bernal</i>	277
Variabilidad de la temperatura y la precipitación en la ciudad de Toluca y su correlación con el crecimiento urbano <i>Adriana Guadalupe Guerrero Peñuelas, Ana Marcela Gómez Hinojos y Alberto Primo Salazar</i>	299
De lo ancestral a lo actual, captación y aprovechamiento de agua de lluvia <i>Ana Marcela Gómez-Hinojos y Adriana Guadalupe Guerrero-Peñuelas</i>	319
Remoción de cromo hexavalente, Cr (VI), empleando residuos de <i>Zea mays</i> <i>Eduardo Campos Medina, María del Carmen de Sales Peralta y Salvador Adame Martínez</i>	335
Sustentabilidad y complejidad urbana: análisis del área de manejo ambiental Ecozona de la Ciudad de Toluca <i>Ricardo Farfán Escalera, Erle García Estrada e Isidro Rogel Fajardo</i>	359

De lo ancestral a lo actual, captación y aprovechamiento de agua de lluvia

*Ana Marcela Gómez-Hinojos**
*Adriana Guadalupe Guerrero-Peñuelas***

INTRODUCCIÓN

La captación y utilización del agua de lluvia es una práctica ancestral que se ha dejado de lado; en la actualidad, los asentamientos humanos ya no se localizan sólo en torno a los cuerpos de agua, por lo que transportarla para su uso en las ciudades ha quedado a cargo de una compleja red de instalaciones y de tuberías de altos costos.

El reconocimiento de las diferentes opciones de captación de agua de lluvia y su evolución permite identificar los beneficios obtenidos al almacenarla y utilizarla; el desarrollo urbano podría aprovechar las ventajas económicas, sociales y ambientales de la captación, ya que su bajo costo, la alta calidad fisicoquímica, la eliminación de costosos sistemas de distribución y su aprovechamiento en irrigación de jardines y cultivos superan los problemas provocados por el calentamiento global y la disponibilidad de los recursos hídricos, en función de los niveles inciertos de precipitación promedio mensual, provocando sequías o lluvias extremas; los sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL) constituyen una solución complementaria para la obtención del vital líquido.

Resulta importante identificar los componentes de un SCALL, si bien los costos de su implementación son elevados, su amortización ambiental y económica también es alta, considerando el ahorro en los importes de mantenimiento, reparación y ampliación de los sistemas de abastecimiento.

Su aplicación en comunidades urbanas o rurales que no cuentan con redes de agua potable es casi inmediato, en comparación con las redes hidráulicas públicas. La

* Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Planeación Urbana y Regional. Doctora en administración. Correo electrónico: <nicemarcelagomez@yahoo.com.mx>.

** Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Planeación Urbana y Regional. Maestra en ciencias. Correo electrónico: <adris_gp@hotmail.com>.

construcción de los sistemas de captación, su volumen de almacenamiento y los beneficios obtenidos aportan a la sustentabilidad una nueva oportunidad de traer al presente los beneficios del pasado respecto al consumo del agua, bien necesario e indispensable para la vida y factor importante para fijar la población en el territorio.

A través de la revisión bibliográfica se observa cómo los procesos de captación de agua de lluvia, desde su uso ancestral al actual, se constituyen como una alternativa de abastecimiento, con aportaciones y limitaciones a considerar, siendo mayores las ventajas que las desventajas tanto ambientales como económicas.

LA CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA Y LOS ASENTAMIENTOS HUMANOS: ASPECTOS ESPACIALES Y AMBIENTALES Y FACTORES ECONÓMICOS

Las aguas superficiales motivaron los asentamientos humanos y el desarrollo de sociedades alrededor de ellas, desde los inicios de la civilización, utilizándolas también como medios de transporte, para consumo y demás actividades (Palacios, 2010). La captación y aprovechamiento del agua de lluvia ha estado ligada al crecimiento, migración y situación económica de las poblaciones, estas fuerzas se relacionan con los aspectos espaciales y ambientales de los factores económicos (Butler, 1996).

La organización de las formas de subsistencia de los seres humanos nómadas, centrada en la caza y la recolección cambia al sedentarismo a través del descubrimiento de la agricultura y la ganadería; esta revolución agrícola presentaba consideraciones espaciales y ambientales especiales, implicaba que los asentamientos humanos se ubicaran cerca de cuerpos de agua, principalmente ríos: la hidrología del agua dulce era de suma importancia pues alrededor de ella se establecieron campos de cultivo y corrales de animales domésticos que les servían como sustento a la población (Baldellou, 1990; Butler, 1996).

En algunas zonas se requería también de un ambiente favorable, había zonas más fértiles que los valles ribereños, dado que recibían suficiente agua de lluvia para el desarrollo de ciertos cultivos y favorecían el crecimiento de algunas especies de animales, entonces salvajes (cerdos, vacas, cabras y ovejas) (Baldellou, 1990). El hombre aprovecha el agua superficial como primera fuente de abastecimiento, consumo y vía de transporte; en general no depende del agua de lluvia itinerante para su supervivencia, aun cuando le sirve para programar sus cultivos (Ballén, Galarza y Ortiz, 2006).

El gran condicionante de la raza humana, y de las especies en general, era la cercanía con el agua, líquido que se fue volviendo vital para el desarrollo, la estabilidad de los asentamientos humanos. El tener la subsistencia resuelta se constituyó en factores de equilibrio que fomentó el crecimiento demográfico; pero la población agrícola

creció rápidamente y ejerció una demanda excesiva sobre los recursos locales de agua y suelo, por lo que emigran a tierras vírgenes (Butler, 1996) y trasladar los trabajos agropecuarios a otros parajes ya más o menos distantes de los núcleos iniciales de colonización (Historia y Biografías, 2014), trasladando también la colonización, de inicio, a valles aluviales. Con el tiempo algunas civilizaciones deciden ocupar zonas áridas o semiáridas del planeta, la alternativa para el riego de cultivos y consumo doméstico la constituye en esos casos la captación de agua de lluvia (Ballén, Galarza y Ortiz, 2006).

La vida urbana se desarrolla y se difunde, la civilización, referida a su origen se refiere a la vida en la ciudad, por lo que los procesos de civilización y urbanización no se pueden separar; los centros urbanos eran una eficiente respuesta espacial a las demandas de una economía regional en crecimiento. Aun después de la caída del Imperio romano en el que la vida urbana se ve fragmentada en cientos de economías feudales, la captación de agua de lluvia seguía vigente; tiempo después, a pesar de la expansión europea, el establecimiento de redes comerciales mundiales y la cercanía a cuerpos de agua dulce, la captación de agua de lluvia sigue siendo favorecida por la arquitectura de las viviendas y el traslado y suministro del agua a través de acueductos que acompañan la época; las tecnologías agrícolas, de transportación e industriales del mundo estaban todavía en su etapa preindustrial.

El mundo parcialmente integrado con trayectorias de difusión establecidas da lugar a la revolución industrial, la cual se origina en Inglaterra y da inicio un salto cultural y económico de la humanidad, provocando la difusión de los pueblos a nuevos lugares, la aparición de las máquinas de vapor, centros mineros, ciudades industriales con minas, fábricas y nuevas formas de transporte que requerían de una nueva forma de suministro de agua. Los avances técnicos le permitieron al hombre transportar y almacenar el agua, así como extraerla del subsuelo, por lo cual los asentamientos humanos se podían esparcir lejos de ríos y de otras fuentes superficiales de agua (Conagua, 2007). De la misma forma que ha evolucionado el uso del agua, lo ha hecho el término “abastecimiento de agua”, que en nuestros días conlleva el proveer a las localidades urbanas y rurales agua en volumen suficiente, con una calidad requerida y a una presión adecuada. En todo momento se debe observar especial cuidado para mantener el agua protegida y sin contaminantes, mientras se transporta desde su fuente hasta el lugar donde la gente la necesita.

Un sistema moderno de abastecimiento de agua, según la Comisión Nacional del Agua (Conagua, 2007), se compone de instalaciones para la captación, almacenamiento, conducción, bombeo, tratamiento y distribución del vital líquido. Las obras de captación y almacenamiento permiten reunir las aguas aprovechables de ríos, manantiales y agua subterránea. La conducción engloba a los canales y acueductos, así como instalaciones complementarias de bombeo para transportar el agua desde la fuente hasta el centro de distribución. El tratamiento es la serie de procesos que le dan al agua la

calidad requerida. Finalmente, la distribución consiste en dotar de agua al usuario para su consumo (Conagua, 2007).

La industrialización ha creado regiones de producción especializadas, países altamente desarrollados (PAD) y países menos desarrollados (PMD) que todavía presentan comunidades agrícolas que son en sí autosuficientes (Butler, 1996). Existe en la actualidad alcantarillado pluvial, el cual está conformado por un conjunto de colectores y canales necesarios para evacuar la escorrentía superficial producida por la lluvia, ésta es captada a través de sumideros en las calles y conexiones domiciliarias y llevadas a una red de tuberías y que se entregan a un cuerpo de agua superficial, como los ríos (López, 2000).

En la actualidad muchas poblaciones continúan con problemas de abastecimiento debido, principalmente, al continuo crecimiento de la población y al desplazamiento de entornos rurales a urbanos, con el aumento de la demanda de la seguridad alimentaria y del bienestar económico, al incremento entre la competencia entre usuarios y usos del agua, y al grado de contaminación de origen industrial, municipal y agrícola (Palacios, 2010).

HISTORIA Y EVOLUCIÓN DE LA CAPTACIÓN Y UTILIZACIÓN DEL AGUA DE LLUVIA

La captación de agua de lluvia es un sistema ancestral, como ya se mencionó, que ha sido practicado en diferentes épocas y culturas ya que es un medio fácil para obtener agua para el consumo humano y el uso agrícola (Gutiérrez, 2014). Los primeros sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia datan de 4000 años a. de C. (Ballén, Galarza y Ortiz, 2006).

Reseña y ejemplos de sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL) a lo largo de la historia:

- 4000 años a. de C.: desierto de Negev, actuales Israel y Jordania, los SCALL consistían en el desmonte de lomeríos para aumentar la escorrentía superficial y poderla dirigir hacia las zonas bajas en las que se encontraban los predios agrícolas (Ballén, Galarza y Ortiz, 2006).
- 1000 años a. de C.: en las zonas altas de Yemen, región en la que escasean las lluvias, se encuentran edificaciones correspondientes a templos y sitios de oración que presentan patios y terrazas utilizadas para captar y almacenar agua de lluvia (Ballén, Galarza y Ortiz, 2006).
- Los mayas precolombinos, en Mesoamérica, aprovecharon los cenotes y las cuevas de formación natural como medio para captar y almacenar agua de lluvia (Durán, Herrera y Guido, 2010), utilizaban también para la captación y almace-

namiento pluvial cámaras subterráneas en forma de botellas, conocidas como *chultunes*, estos aljibes o silos eran utilizados como cisternas para almacenar agua potable de la población y para el riego (Ballén, Galarza y Ortiz, 2006); asimismo, podían servir para guardar granos, comestibles perecederos, para la fermentación de bebidas alcohólicas y al final de su vida útil para entierros humanos. Se construían normalmente en lugares donde no existían cenotes naturales, como en la región denominada Puuc, en la península de Yucatán. Estos *chultunes* con capacidad de hasta 9 300 litros, con un diámetro de hasta tres metros y una altura de dos metros (Durán, Herrera y Guido, 2010), eran excavados en el suelo e impermeabilizados con yeso (Ballén, Galarza y Ortiz, 2006).

- 700 años a. de C.: se ha demostrado que la tecnología de sistemas artificiales de recolección de agua de lluvia (ARHS, Artificial Rainwater Harvesting System), usando piscinas-diques se ha utilizado a lo largo de la historia de China (Huang *et al.*, 2002).
- Siglos III y IV a. de C.: en Roma, las viviendas señoriales unifamiliares conocidas como *domus*, poseían un atrio el cual era un recinto de grandes dimensiones cubierto por una techumbre con las vertientes invertidas hacia abajo, en la que se mantenía sin cubrir un espacio rectangular en el centro, por este hueco, llamado *compluvium*, se establecía la aireación de la casa y a través de él se recogía el agua de lluvia, que iba a caer a un estanque en el centro del atrio, al que llamaban *impluvium*, desde el que se llevaba a unas cisternas excavadas en el suelo donde se guardaba para el abastecimiento diario (*Almacén de Clásicas*, 2012; Ballén, Galarza y Ortiz, 2006).
- 200 años d. de C.: en Cerros, ciudad y centro ceremonial de la actual Belice, los habitantes cavaron canales y diques de drenaje, creando sistemas de depósitos que permitían administrar el agua de lluvia para las épocas de sequía, permitiendo que sus habitantes permanecieran en la zona (Ballén, Galarza y Ortiz, 2006).
- Época precolombina: en Edzná, Campeche, se desarrolló un avanzado sistema de obras hidráulicas, pues el valle en el que se encuentra se inundaba; a través de una red de canales de hasta 50 metros de ancho y un metro de profundidad (Ballén, Galarza y Ortiz, 2006), drenaban el lugar en varios sentidos, unos para irrigar los campos, sistemas de desagüe y otros hacia una laguna que transformaron en represa con muros de contención, favoreciendo los cultivos y la pesca, vías de comunicación y de defensa. Utilizaron los *chultunes* para almacenar el agua captada.
- Siglo XV-XVI: la gran Tenochtitlán, capital mexicana, se encontraba sobre un valle caracterizado por ser una cuenca, con lagos, lagunas y pantanos; la infraestructura hidráulica representada entre otros por chinampas, acequias, calzadas, diques, albarradones y acueductos, elaborados de madera, piedra, lodo, plantas y tules. La

presencia de ríos, manantiales y lluvias irregulares motivaron el desarrollo de importantes aportaciones naturales y artificiales que preservaron la agricultura de riego, la navegación mediante canoas y el hábitat de la cuenca de México, con calzadas que funcionaban como diques para controlar inundaciones y la entrada de agua dulce a la ciudad (Gutiérrez, 2014).

- La recolección y almacenamiento del agua pluvial era una práctica común en Mesoamérica desde tiempos antiguos, a través de recipientes, depósitos subterráneos, depósitos a cielo abierto jagüeyes o bordos; los canales, zanjas, penca, canjilones de madera o canalitos (Gutiérrez, 2014).
- Derivado de la invasión española, en las culturas mayas de Mesoamérica se dejaron de lado las prácticas de aprovechamiento del agua de lluvia; los españoles colonizaron los territorios introduciendo otros sistemas de agricultura, animales domésticos, plantas y métodos de construcción europeos (Ballén, Galarza y Ortiz, 2006). En esa época se dejó de dar mantenimiento a la infraestructura hidráulica prehispánica por desconocimiento de su manejo y por la diferencia de costumbres y cultura (Gutiérrez, 2014).
- Siglo XVIII: en India, derivado de la colonización inglesa, se obliga a nativos a abandonar las metodologías tradicionales (Ballén, Galarza y Ortiz, 2006). A finales del virreinato de la Nueva España, derivado de las inundaciones que sufrían, se intenta recuperar parte del conocimiento hidráulico autóctono a través de los testimonios de los pobladores ancianos (Gutiérrez, 2014). Con el tiempo, el uso de SCALL fue decreciendo, debido a la imposición de métodos y obras para la utilización del agua superficial y subterránea (presas, acueductos, pozos de extracción y sistemas de irrigación).
- Siglos XIX y XX: las ciudades de la mayoría de los países experimentan un gran crecimiento, el agua superficial se distribuye a través de redes centralizadas de acueductos; se inicia la explotación de aguas subterráneas, y se elimina el uso de sistemas de captación de agua de lluvia u otros sistemas alternativos (Ballén, Galarza y Ortiz, 2006).
- Comienzos del siglo XXI: se desarrollan de forma vertiginosa poblaciones en lugares semiáridos en el mundo, ejerciendo presión sobre las fuentes finitas de agua, ocasionando problemas de escasez y altos costos en periodos de sequía, pues el agua no es suficiente (Ballén, Galarza y Ortiz, 2006).

ACTUALIDAD DE LOS SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA

Los SCALL se llegan a implementar cuando la localidad no cuenta con una red de acueducto, el suministro del vital líquido es deficiente, la calidad del agua es muy baja o los costos del agua potable son muy altos (Durán, Herrera y Guido, 2010; Ballén,

Galarza y Ortiz, 2006). Como resultado del gran crecimiento de la población y de la gran demanda de servicios en las ciudades, muchas zonas carecen de abastecimiento de agua potable, adolecen también de un buen sistema de saneamiento. La falta de agua es uno de los principales limitantes del desarrollo social y económico de las comunidades rurales. Con base en datos de la OMS, señalado en Álvarez-Olguín, Gómez-Anguiano y Pedro-Santos (2009), 1 100 millones de personas carecen de instalaciones necesarias para abastecerse de agua y la mayor parte vive en zonas rurales, con agua insalubre y de un saneamiento e higiene deficientes.

La urbanización representa una gran interferencia humana con el ciclo hidrológico y este impacto se manifiesta de diversas maneras creando un nuevo ambiente hidrológico; Catalá (2006) menciona que las ciudades son una representación a pequeña escala del “efecto invernadero”, el cual genera muchas transformaciones en el ciclo hidrológico. Aunado a los efectos de las islas de calor, esto incrementa las precipitaciones en el interior de la ciudad de manera significativa en comparación con el área rural aledaña; las superficies pavimentadas agudizan las inundaciones y la capacidad de los canales y colectores no siempre es suficiente.

Resultado de las necesidades (demanda), los recursos disponibles (precipitación, dinero para invertir y materiales de construcción) y las condiciones ambientales de cada región, los sistemas de captación de agua de lluvia han surgido acorde con las necesidades de cada zona y se documentan de acuerdo con ello (Ballén, Galarza y Ortiz, 2006):

- África: el abastecimiento de agua resulta crítico y las fuentes de suministro que existen no son apropiadas por su seguridad y calidad, aunado a la falta de recursos derivado de la pobreza. Esto ha propiciado el apoyo de diversas organizaciones africanas e inglesas para el desarrollo de “sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia de muy bajo costo” (Ballén, Galarza y Ortiz, 2006).
- Asia: su problema principal consiste en proveer servicios básicos a mil millones de personas, al contar con India, el segundo país con mayor población después de China; aprovechando el monzón que da 100 horas de lluvia al año, se busca captar y almacenar las otras 8 660 horas del año. Por otra parte, la contaminación con arsénico en Bangladesh motivó la implementación de más de mil SCALL por parte de las ONG. China, por su parte, ha continuado el desarrollo de SCALL en áreas de bajos recursos, como Loess Gansu, en donde la lluvia de temporal es esperada a lo largo del año, por lo que se ha implementado el “Proyecto 121”, apoyando a las familias en la construcción de campos de recolección de agua de lluvia. Singapur, con 86% de la población viviendo en edificios de apartamentos, ha promovido la captación de agua de lluvia en los techos con almacenamiento en cisternas. Tokio aprovecha la captación de agua de lluvia también para mitigar las inundaciones y asegurar el agua en casos de emergencia, las ins-

talaciones “Ronjinson” reciben el agua recolectada en el techo de las casas y las almacena en pozos subterráneos, de donde se extraen con ayuda de bombas manuales. Tailandia almacena el agua de lluvia en vasijas de arcilla equipadas con sistemas de drenaje (Ballén, Galarza y Ortiz, 2006).

- América: las comunidades nativas de Brasil, de clima semiárido, captaban agua de lluvia a través de pozos excavados a mano en rocas, por lo que una ONG y el gobierno proyectaron construir un millón de tanques en cinco años, buscando beneficiar a cinco millones de personas. México desarrolla con apoyo de una universidad privada en Guanajuato, un SCALL de 500 mil litros de agua, bajo el proyecto “Agua y Vida”. En las afueras del municipio se proyecta “Casa del Agua y Vida” para proveer agua potable a las familias necesitadas; se han desarrollado diversos proyectos de tipo institucional en centros educativos para descarga de inodoros, aseo de pisos y riego de jardines. Honduras cuenta con algunas viviendas con precarios SCALL. Estados Unidos, en quince de sus estados, beneficia a más de medio millón de personas que utilizan SCALL para usos domésticos, agrícolas, comerciales e industriales; tiene compañías especializadas en el diseño y construcción de sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia. Vancouver, en Canadá, cuenta con subsidio para la compra de barriles de plástico de 284 litros, como parte de un sistema de aprovechamiento del agua de lluvia proveniente de los techos, la cual es utilizada principalmente para riego de jardines (Ballén, Galarza y Ortiz, 2006).
- Europa: Alemania introduce SCALL en desarrollos urbanos de gran escala, con la finalidad de controlar inundaciones, utilizar racionalmente el agua de la ciudad y crear un mejor microclima; el agua es almacenada en un tanque subterráneo de 3 500 m³, el agua es usada para descarga de inodoros y riego. En Berlín el agua de lluvia de la captación de techos se une con la proveniente de escurrimiento de calles, espacios de estacionamiento y vías peatonales, se trata el agua en varios pasos y se usa en descarga de sanitarios y riego de jardines; a través de un modelo de simulación se estima un ahorro de agua potable que permita preservar el reservorio de agua subterránea de Berlín (Ballén, Galarza y Ortiz, 2006).
- Oceanía: exceptuando las grandes urbes y poblaciones mayores, la densidad poblacional de Australia es muy baja, por lo que el agua debe recorrer grandes distancias a través de kilómetros de tubería, lo que hace el agua costosa y en algunos lugares remotos no se suministra el servicio, por lo que los SCALL son comunes en zonas urbanas y rurales, utilizando el agua para beber y cocinar (Ballén, Galarza y Ortiz, 2006).
- Pequeñas islas: a pesar de que la mayoría de ellas presentan vegetación exuberante, climas cálidos y mucha humedad, las corrientes de agua superficial suelen ser escasas presentando problemas de abastecimiento de agua potable,

por lo que se ha impulsado la implementación de SCALL como forma de suministro en muchos casos.

SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA (SCALL)

Existen diversas opciones de captación y almacenamiento de agua de lluvia, las cuales de acuerdo con Ballén, Galarza y Ortiz (2006), son resultado de las necesidades (demanda de agua), los recursos disponibles (dinero para invertir y materiales de construcción), las condiciones ambientales (contaminación del agua, disponibilidad del agua subterránea y superficial, precipitación y temperatura), las prácticas culturales y la legislación vigente de cada región.

Los SCALL comprenden una tecnología mediante la cual se habilitan cubiertas y áreas impermeables de las construcciones con el fin de captar el agua de lluvia, para posteriormente conducirla a lugares en donde pueda almacenarse (depósitos, cisternas) y, finalmente, darle un uso (humano, agrícola o pecuario) (Herrera, citado en Durán, Herrera y Guido, 2010).

Componentes y elementos a considerar en un SCALL

Los componentes generales de un SCALL son captación, conducción y almacenamiento, pero resulta importante observar los siguientes elementos:

- Factor humano

Las personas favorecidas por el SCALL deben estar de acuerdo con el cambio, trabajando en equipo, expresando consenso ante las decisiones que definan la necesidad y viabilidad de la captación y aprovechamiento del agua de lluvia.

Los costos de su implementación son elevados, su amortización ambiental y económica también es alta.

- Factores técnicos

Considerar los factores materiales, los espacios con los que se cuenta, las condiciones naturales, variables como número de integrantes de la familia o comunidad, costumbres de consumo y las expectativas de uso que se le dará al agua captada, logrando el mayor número de beneficios con una menor inversión. Todo ello permitirá la implementación de un SCALL (Adler, Carmona y Bojalil, 2008).

- Uso que se le pretende dar al agua de lluvia captada: el cual se define en función de los integrantes de la familia o comunidad a beneficiar, la cantidad de agua

que se pretende captar, sus tiempos de reserva y a su uso, que va desde limpieza, uso en inodoros hasta limpieza corporal o consumo humano

- Precipitación pluvial en la ciudad: en función del número de milímetros anuales de lluvia en la zona y su duración.
- Superficies de captación: techos adecuados y con mantenimiento para su uso como área de captación
- Conducción del agua de lluvia (canales y tuberías): tuberías y canaletas de conducción del agua de lluvia, las cuales requieren preparación y mantenimiento.
- Cisternas, tanques y otros elementos de almacenamiento: contenedores preparados y viables para su uso.
- Filtros y calidad del agua de lluvia: el sistema debe presentar elementos que aseguren la calidad del agua, a través de filtros, sedimentadores, trampas de grasa; con base en el uso que se le dará al agua se prevé su calidad. La desinfección se requiere si se quiere usar como agua potable.
- Bombas o sistemas de elevación de agua: contenedores elevados o sistemas de elevación electromecánica o eléctrica, a través de bombas accionadas con energía eléctrica o por medio de celdas fotovoltaicas.
- Espacios para instalación del sistema: espacio que requiere tomar en cuenta la capacidad de carga del suelo, la cual se debe construir con base en la capacidad de carga de la edificación y el espacio disponible.
- Mantenimiento: esta parte del proceso debe garantizar la limpieza y reparación del sistema, con programas de mantenimiento, que generalmente son pequeñas acciones de limpieza.
- Capacidad de inversión: la recuperación de la inversión se encuentra en función del monto de la misma y del uso adecuado del agua captada y el agua tratada (Adler, Carmona y Bojalil, 2008).

CLASIFICACIÓN, BENEFICIOS Y LIMITACIONES DE LOS SCALL

Basados en la forma en la que escurre el agua y el uso que se les da, Durán, Herrera y Guido (2010) clasifican los SCALL en:

- a) Sistemas para uso humano: son todos aquellos que aprovechan el escurrimiento superficial a través de áreas de captación, como tejados o superficies terrestres, para ser almacenadas en cisternas y utilizarse en la vida diaria.
- b) Sistemas para uso agrícola y ganadero: funcionan bajo el concepto de micro captación *in situ*, manipulando los escurrimientos superficiales para su almacenamiento en presas de tierra, atajados, hondonadas, terrazas de cultivo, bordos

y aljibes. Su objetivo es mejorar la producción de cultivos, árboles y pastizales en áreas propensas a sequías, mitigándola y mejorando el entorno ecológico.

- c) Recarga de mantos acuíferos en zonas urbanas: busca como objetivo almacenar y regular agua en acuíferos, se da a través de la infiltración natural en suelos permeables, cunetas verdes, estanques de retención, humedales, entre otros.

Por otro lado, con base en Durán, Herrera y Guido (2010) y Palacios (2010), se resaltan beneficios y limitaciones que derivan de la implementación de SCALL:

Beneficios

A) Económicos

- La construcción se puede solventar con materiales y mano de obra de la zona.
- El agua de lluvia como recurso gratuito.
- Los SCALL son de fácil manutención.
- Reducción de tarifas por pago de cuotas por consumo de agua potable.
- Algunos sistemas no requieren de energía para operar.
- Ahorro en los importes de mantenimiento, reparación y ampliación de los sistemas de abastecimiento.
- Si el uso final del agua recolectada se encuentra cerca de la fuente, se elimina la necesidad de sistemas de distribución costosos y complejos.

B) Ambientales

- Ahorro energético en potabilización, desalinización o transporte de agua.
- Conservación de las reservas de agua potable de los acuíferos y su recarga.
- Es ideal para el riego de jardines y cultivos.
- El agua de lluvia al no estar en contacto con el suelo donde disuelve sales y minerales, será suave, favoreciendo el uso de menor cantidad de jabones y detergentes para la limpieza.
- Es una tecnología económica, social y ambientalmente aceptable.

C) En la salud

- La calidad físico-química del agua de lluvia es alta.
- Agua limpia en comparación con otras fuentes que se encuentran en contacto con contaminantes.

D) Sociales

- Educación a la población promoviendo el buen uso del agua.
- Aplicación en comunidades urbanas o rurales que no cuentan con redes de agua potable.

Limitaciones

- Depende de los volúmenes de precipitación anual de la zona.
- El cambio climático ha transformado los ecosistemas naturales y los patrones de lluvia son inciertos.
- La inversión inicial es elevada, lo cual limita su implementación por parte de las familias de bajos recursos.
- En entornos urbanos e industriales, el agua de lluvia suele captar la contaminación atmosférica durante la precipitación.

Cuidados en el uso del agua proveniente de SCALL

No se recomienda recolectar la primera lluvia de la temporada, ya que la función de ésta es arrastrar el mayor número de contaminantes del área de captación, además de que es la que tiene el pH más ácido debido a las reacciones con la atmósfera durante la precipitación (Rojas-Valencia, Gallardo-Bolaños y Martínez-Coto, 2012).

Se debe cuidar la calidad del agua proveniente del SCALL y el tratamiento a seguir para que el uso que le dé la comunidad al agua sea seguro.

Respecto al marco legal y normativo, países como España, Islas Vírgenes, Islas Caicos y Turkos, Tailandia, Singapur y Japón, cuentan con un marco legal y normativo que obliga a la captación de agua de lluvia empleando techos: leyes que incentivan u obligan a los urbanizadores, industriales y empresarios a usar los SCALL pudieran colaborar eficientemente en el aprovechamiento de los recursos hídricos con tecnologías alternativas (Durán, Herrera y Guido, 2010).

SITUACIÓN DE LOS SCALL EN MÉXICO

El uso propuesto por Durán, Herrera y Guido (2010) al agua proveniente de los SCALL, para uso humano y doméstico como el lavado de ropa, trastes, inodoro, limpieza y riego, resulta muy conveniente para reemplazar el agua potable.

EL agua potable ha alcanzado en México una cobertura de 95% en las zonas urbanas y 68% en zonas rurales; en cuanto a la calidad, 94.3% del agua suministrada a la población es tratada mediante desinfección (Tortajada, Guerrero, y Sandoval, 2004).

Resulta importante el cuidado de la calidad del agua potable con la finalidad de evitar repercusiones en la salud de la población que la usa y consume. El crecimiento demográfico en una ciudad, zonas conurbadas producto de asentamientos irregulares son sistemas de abastecimiento de agua formales y ordenamientos urbanos mal planeados, son lugares propicios para implementar técnicas sustentables que permitan hacer llegar el agua a los espacios en los que escasea (Gutiérrez, 2014).

En México existe una falta de equilibrio entre la disponibilidad del agua, su uso y explotación; Tortajada, Guerrero y Sandoval en 2004 hablan de los aproximadamente 100 millones de habitantes que vivimos en un país predominantemente urbano, en donde la mayor parte de población, actividades económicas y tasas de crecimiento se concentran en el centro, norte y noroeste del país y en donde, en ese entonces, existía una disponibilidad *per cápita* del agua de tan sólo 2 044 m³/año; sin embargo, en el sureste del país la disponibilidad de agua es de 14 291 m³/año, persisten las tasas más altas de marginación y pobreza; es decir, los estados en los que tenemos mayor abundancia de recursos naturales, el agua entre ellos, existe una mayor marginación y, paradójicamente, a pesar de la abundancia de agua en estado natural en el sur del país, las poblaciones con menor porcentaje de acceso a agua potable están en Chiapas, Tabasco, Oaxaca, Guerrero y Veracruz, y en la zona centro en San Luis Potosí (Tortajada, Guerrero y Sandoval, 2004).

En México cada familia desperdicia en promedio 150 l/día a causa de malos hábitos, elevando con ello el consumo promedio por persona de 200 hasta 300 l/día, cuando 100 l/día serían suficientes para el uso doméstico *per cápita* urbano (Rojas-Valencia, Gallardo-Bolaños y Martínez-Coto, 2012).

CALENTAMIENTO GLOBAL E IMPLEMENTACIÓN DE SCALL

Como consecuencia del excesivo crecimiento poblacional y el desarrollo industrial para cubrir las necesidades del hombre, se ha provocado un severo calentamiento global, induciendo con esto diversos cambios en los aspectos físicos de la Tierra que repercuten directamente en la disponibilidad de los recursos hídricos, como son las precipitaciones, provocando con ello sequías extremas. Durán, Herrera y Guido (2010) definen el cambio climático como la modificación del clima respecto al historial climático en una escala global o regional, estos cambios se producen a diferentes escala de tiempo y sobre todos los parámetros climáticos: temperatura, precipitaciones, nubosidad, entre otros, siendo las causas tanto naturales como antropogénicas.

Dentro de las consecuencias del aumento de la temperatura media del planeta, encontramos el deshielo de los polos, cambio de los patrones de ocurrencia de fenómenos atmosféricos y cambios en el régimen de lluvias; teniendo como repercusiones

grandes precipitaciones, sequías extremas y cambios en los rangos de precipitación, lo cual llevará a un problema de escasez en el suministro del agua. El escenario hídrico actual y futuro invita a reflexionar sobre un uso más eficiente del agua y de sus alternativas de suministro, la implementación de SCALL constituye una opción que traería beneficios a la población mundial (Durán, Herrera y Guido, 2010).

CONCLUSIONES

Las tecnologías para el aprovechamiento del agua de lluvia, señalan Ballén, Galarza y Ortiz (2006), encajan muy bien dentro de los lineamientos del desarrollo sostenible ya que contribuyen al uso racional del agua y de los recursos. Sin embargo, de forma general se ha dado mal uso al agua de lluvia, lo que ha contribuido al problema de escasez y contaminación; en lugar de aprovecharla permitimos que se contamine y se desperdicie, se va a coladeras y al drenaje, mezclándose luego con las aguas negras, jabonosas y residuos industriales contaminándose (Adler, Carmona y Bojalil, 2008).

El manejo sostenible del agua se puede atender, de acuerdo con Rojas-Valencia, Gallardo-Bolaños y Martínez-Coto (2012), bajo dos vertientes: la primera es encontrar nuevas alternativas de abastecimiento, y la segunda es utilizar, de manera eficiente, los limitados recursos disponibles, pero pareciera que los esfuerzos se han centrado en la primera opción y solamente se ha proporcionado limitada atención a la segunda. La construcción de los sistemas de captación, su volumen de almacenamiento y los beneficios obtenidos aportan a la sustentabilidad una nueva oportunidad de traer al presente los beneficios del pasado respecto al consumo del agua que, como ya se dijo, es un bien necesario e indispensable para la vida y factor importante para fijar la población en el territorio.

Limitación importante de la implementación de los SCALL, es el costo inicial de su construcción, por lo que se deberían favorecer políticas públicas que incluyan en sus programas apoyos a la implementación de SCALL (Durán, Herrera y Guido, 2010). Si bien la evolución de los SCALL ha sido lenta, debido al desuso que implicó la red de tuberías para el suministro en el último siglo, se tienen en la actualidad países como Alemania que han puesto en marcha sistemas tecnificados (Durán, Herrera y Guido, 2010).

Se debe observar el agua de lluvia como un recurso en lugar de un desecho, con ventajas económicas para el consumidor y ambientales para el planeta (Lara *et al.*, 2007). La protección de sistemas naturales, mejoras en el ciclo del agua en entornos urbanos, reducción de volúmenes de escorrentía, reducir costos en consumo de energía por bombeo en redes de distribución, son parte de las ventajas en la utilización de los SCALL (Durán, Herrera y Guido, 2010).

A través de la revisión bibliográfica se observa cómo los procesos de captación de agua de lluvia, desde su uso ancestral al actual, se constituyen como una alternativa de abastecimiento del vital líquido, con aportaciones y limitaciones a considerar, siendo mayores las ventajas que las desventajas tanto ambientales como económicas.

BIBLIOGRAFÍA

- Adler, I.; G. Carmona y J. Bojalil (2008), *Manual de captación de aguas de lluvia para centros urbanos*, México, PNUMA.
- Almacén de Clásicas (2012), “La vivienda en Roma: las domus”, disponible en <<http://almacendeclasicas.blogspot.mx/2012/01/la-casa-romana-la-vivienda-en-roma.html>>, consultado en octubre de 2016.
- Álvarez-Olguín, G.; M. Gómez-Anguiano y E. Pedro-Santos (2009), “Factibilidad técnica del uso de agua de lluvia en el municipio de Santos Reyes Yucuná, Oaxaca”, en *Ingeniería*, vol. 13, núm. 2, pp. 57-67.
- Baldellou, V. (1990), “Los asentamientos humanos más tempranos”, en C. Laliena (coord.), *Huesca: historia de una ciudad*, Huesca, Ayuntamiento de Huesca.
- Ballén, J.; M. Galarza y R. Ortiz (2006), “Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia”, en VI SEREA, Seminario Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de Agua, João Pessoa, Brasil.
- Butler, J. (1996), *Geografía económica, aspectos generales y ecológicos de la actividad económica*, México, Limusa.
- Catalá, R. (2006), “Lluvia lista para beber”, en *¿Cómo ves? Revista de Divulgación de la Ciencia de la UNAM*, núm. 91, México, UNAM, p. 30.
- Comisión Nacional del Agua (Conagua) (2007), *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Datos básicos para proyectos de agua potable y alcantarillado*, México, Conagua-Semarnat.
- Durán, P.; L. Herrera y P. Guido (2010), “Captación de agua de lluvia, alternativa sustentable”, en *CONAMA10. Congreso Nacional del Medio Ambiente*, México, IPN.
- Gutiérrez, A. (2014), “Captación de agua de pluvial, una solución ancestral”, en *Impluvium. Sistemas de captación de agua de lluvia*, México, UNAM/Red del Agua.
- Historia y Biografías (2014), “Primeros asentamientos humanos, domesticación de plantas y animales”, disponible en <http://historiaybiografias.com/curiosidades_25/>, consultado en octubre de 2016.
- Huang, Z.B.; L. Shan, P.T. Wu *et al.* (2002), “Artificial Rainwater Harvesting System and the Using for Agriculture on Loess Plateau of China”, en *12th ISCO Conference*, Beijing, pp. 463-468.
- Lara, J.; A. Torres, M. Campos *et al.* (2007), “Aprovechamiento del agua de lluvia para riego y lavado de zonas duras y fachadas en el campus de la Pontificia Uni-

- versidad Javeriana (Bogotá)", en *Ingeniería y Universidad*, vol. 11, núm. 2, pp.193-202.
- López Cualla, R.A. (2000), *Diseño de acueductos y alcantarillados*, Bogotá, Alfaomega.
- López Fernández, J.A. (2013), "Aprovechamiento del agua en el municipio de Mula (región de Murcia)", en *Papeles de Geografía*, núms. 57-58, pp. 145-159, disponible en <<http://revistas.um.es/geografia/article/viewFile/191301/157981>>.
- Palacios, N. (2010), "Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua de lluvia como alternativa para el ahorro de agua potable, en la institución educativa María Auxiliadora de Caldas, Antioquía", en *Gestión y Ambiente*, vol. 13, núm. 2, pp. 25-40, disponible en <<https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/25392/25903>>.
- Rojas-Valencia, M.; J. Gallardo-Bolaños y A. Martínez-Coto (2012), "Implementación y caracterización de un sistema de captación y aprovechamiento de agua de lluvia", en *TIP. Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, vol. 15, núm. 1, junio, pp. 16-23, disponible en <<http://www.scielo.org.mx/pdf/tip/v15n1/v15n1a2.pdf>>.
- Tortajada, C.; V. Guerrero y R. Sandoval (2004), *Hacia una gestión integral del agua en México: retos y alternativas*, México, Miguel Ángel Porrúa.