

CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA: TIPOS, COMPONENTES Y ANTECEDENTES EN ZONAS ÁRIDAS DE MÉXICO COMO ESTRATEGIA DE USO SUSTENTABLE DEL AGUA

Rainwater harvesting: types, components and background in arid zones of Mexico as a strategy of sustainable use of water

SANDRA JALIFE ACOSTA

JAIME ANDRÉS QUIROA HERRERA

JORGE VILLANUEVA SOLÍS

Universidad Autónoma de Coahuila

Recibido: 20 de septiembre de 2018. Aceptado: 06 de junio de 2018.

RESUMEN

Se desarrolla aquí, en una investigación descriptiva, el tema de captación de agua de lluvia, tipos y componentes. Se presentan antecedentes de trabajos realizados a nivel nacional y regional. Se da el enfoque en zonas áridas y semiáridas de México, específicamente en el denominado “desierto chihuahuense”, una vez que el recurso hídrico en estas zonas se vuelve invaluable por su poca o nula disposición, por lo que identificar y desarrollar estrategias para la captación y utilización de este recurso se vuelve fundamental para el desarrollo de las diferentes actividades y que además impacta en la calidad de vida de los habitantes. Se concluye que aún queda trabajo por desarrollar en el tema de captación y utilización de agua de lluvia en zonas áridas y semiáridas y que ésta se presenta como una estrategia viable para su implementación y utilización del uso eficiente del recurso. Es el primero de tres artículos; los siguientes son los resultados experimentales de la captación y de la calidad del agua captada por medio de estos sistemas.

Palabras clave: captación de agua pluvial, zonas áridas y semiáridas de México, sustentabilidad.

ABSTRACT

A descriptive investigation is developed on the subject of recruitment, types and components of rainwater. A history of work done at national and regional level is presented. The focus is given to arid and semi-arid zones of Mexico, specifically to the so-called “Chihuahuan desert”, once the water resource in these becomes invaluable due to the little or no disposition of it, for which to identify and develop strategies for the recruitment and the use of this resource becomes fundamental for the development of the different activities and also impacts on the quality of life of the inhabitants. It is concluded that there is still work to develop on the subject of rainwater collection and use in arid and semi-arid zones and that this is presented as a viable strategy for its implementation and use of the efficient use of this resource. This is the first of three articles; the following are the experimental results of the capture and quality of the water captured by means of these systems.

Keywords: rainwater harvesting, arid and semi-arid zones of Mexico, sustainability.

INTRODUCCIÓN

La mayor parte del agua del planeta se encuentra bajo la forma de agua salada en los océanos, sólo 3% de los recursos hídricos globales son aguas dulces, 2/3 de los cuales provienen de la nieve y de los hielos polares y de las regiones montañosas. De esta manera, el agua dulce constituye sólo cerca del 1% de los recursos hídricos totales, donde la mayor parte de ésta se encuentra como agua subterránea, mientras que menos del 2% se encuentra en ríos y lagos (Pedroza, Chávez, Trejo y Ruiz, 2014).

Esto quiere decir que, aunque nuestro planeta aparentemente goza de grandes cantidades de agua, en realidad el porcentaje para consumo y aprovechamiento humano es muy limitado (Anaya y Trejo, 1998; Arroyo Arroyo, 2013; Ojeda Solís, 2003; Anaya Garduño, 2008).

Hoy en día la cantidad de agua dulce en el planeta es la misma que hace 2,000 años, cuando la población humana era 33 veces menor a la actual, así que para el año 2025 dos terceras partes de la población mundial (5,500 millones de personas) vivirán en países con serios problemas relativos a la disponibilidad de agua, si continúan las políticas actuales. Entonces se puede afirmar que cuando la disponibilidad se ve comprometida se habla de un problema de escasez (Anaya Garduño, 2008).

En México los estados que se enfrentan con la escasez de agua son aquéllos donde predomina un clima árido o semiárido. Dos terceras partes del territorio se consideran áridas o semiáridas, con precipitaciones anuales menores a los 500 milímetros, mientras que el sureste es húmedo con precipitaciones promedio que superan los 2,000 milímetros por año (Comisión Nacional del Agua, 2015).

Y en asociación a las condiciones climáticas, las zonas áridas y semiáridas del país se localizan predominantemente en el noroeste, norte y centro del país, donde se concentra el 84% del PIB y el 77% de la población. En estas zonas se localiza el 92% de las zonas agrícolas irrigadas, pero solamente cuentan con el 28% del agua del

país. El sureste, por su parte, congrega el 16% del PIB y el 23% de la población; ahí sólo el 8% de las tierras agrícolas son irrigadas, pero cuentan con el 72% del total nacional de agua (Millán, 2001).

Y dado que agua y población se encuentran mal distribuidas en el país, la situación del agua ya es crítica en varias regiones y es probable que en el futuro el problema se intensifique. Con 70%, la actividad económica de la agricultura representa el mayor consumo de agua mundial, mientras que sólo un 10% se consume en los hogares, y por otra parte la industria cuenta con 21% de consumo de agua. Debido a los desequilibrios que ocasionan el aumento de la demanda, el uso ineficiente y el incremento en la contaminación, la disponibilidad efectiva del agua se ha reducido (Treviño Arjona y Cázares Rivera, 1999; Kaufman y Franz, 2000; IMTA, 2003).

Asimismo, en el marco de la sustentabilidad con todas las restricciones que la naturaleza y los modelos económicos-sociales imponen, para responder en gran medida a los retos del siglo XXI las zonas áridas representan una de las opciones de mayor viabilidad en términos sociales, ambientales y económicos. Para ello, una visión ordenada y general se requiere acerca del potencial y limitantes que existen en estas regiones en relación con sus recursos naturales y las condiciones actuales y futuras que los determinan, como base para la planeación y la activación del desarrollo territorial desde un punto de vista global y local, de acuerdo con las condiciones de cada región (Pedroza *et al.*, 2014).

Por este motivo la FAO determinó que una región de clima semiárido es aquella en la que se presenta una precipitación de 200 a 800 mm anuales, en donde la precipitación es inferior a la evapotranspiración. Suelos poco profundos, poco meteorizados y con presencia de salinidad son las características principales de los suelos de este tipo de clima; y en cuanto a vegetación, es escasa, lo cual es una característica de regiones con déficit hídrico. Escasas son las fuentes de agua; y ésta puede ser de mala calidad para uso doméstico y agropecuario. Propiciar la infiltración elevada en los meses lluviosos, controlar

las escorrentías dado el riesgo alto de erosión hídrica en meses lluviosos, implementar técnicas para evitar la evaporación del agua del suelo y aplicar técnicas para captar y almacenar agua en periodos húmedos, son algunas recomendaciones para este tipo de regiones (FAO, 2013).

La cosecha de agua de lluvia es una técnica relativamente práctica y fácil para obtener agua para el consumo humano o fines productivos. El agua pluvial es la fuente de abastecimiento en muchas partes del mundo con una precipitación alta o media, en donde no se dispone de agua en cantidad y calidad necesaria para consumo humano u otros fines. Para ello, el agua de lluvia es interceptada, captada y almacenada en depósitos para su uso posterior. Para fines domésticos, en la cosecha de agua de lluvia se acostumbra a utilizar como superficie de captación la superficie de los techos (Pedroza *et al.*, 2014).

Una óptima gestión y planificación del agua pluvial puede reducir riesgos, prevenir afectaciones en la salud y así también mitigar desastres naturales. Existen situaciones en las cuales la estructura geológica de los suelos presenta sustancias peligrosas como arsénico, entre otras, que contaminan el recurso hídrico de pozos y aljibes. Los beneficios del uso del agua de lluvia son su-

periores al simple uso para consumo humano y animal. Además de nutrir la conservación de bosques y humedales y disminuir la presión sobre los acuíferos y promover así la construcción de nuevas presas para el abastecimiento urbano (Gleason, 2005).

De esta manera, como objetivo principal se plantea una revisión descriptiva para identificar los tipos de captación pluvial existentes, los componentes de un sistema de captación de agua de lluvia (SCALL) así como identificar algunos de los trabajos de captación pluvial en zonas áridas. En la figura 1 se identifican los desiertos y las zonas áridas de México, siendo el más representativo el desierto chihuahuense. En la figura 2 se puede observar que en esta zona no se superan los 400 milímetros de precipitación anuales.

MÉTODO

El presente artículo corresponde a la revisión descriptiva-evaluativa, donde se abordan desde los conceptos que se refieren a la captación de agua de lluvia, así como sus componentes; de igual forma se expone lo que se ha hecho o no sobre la captación de agua pluvial en zonas áridas

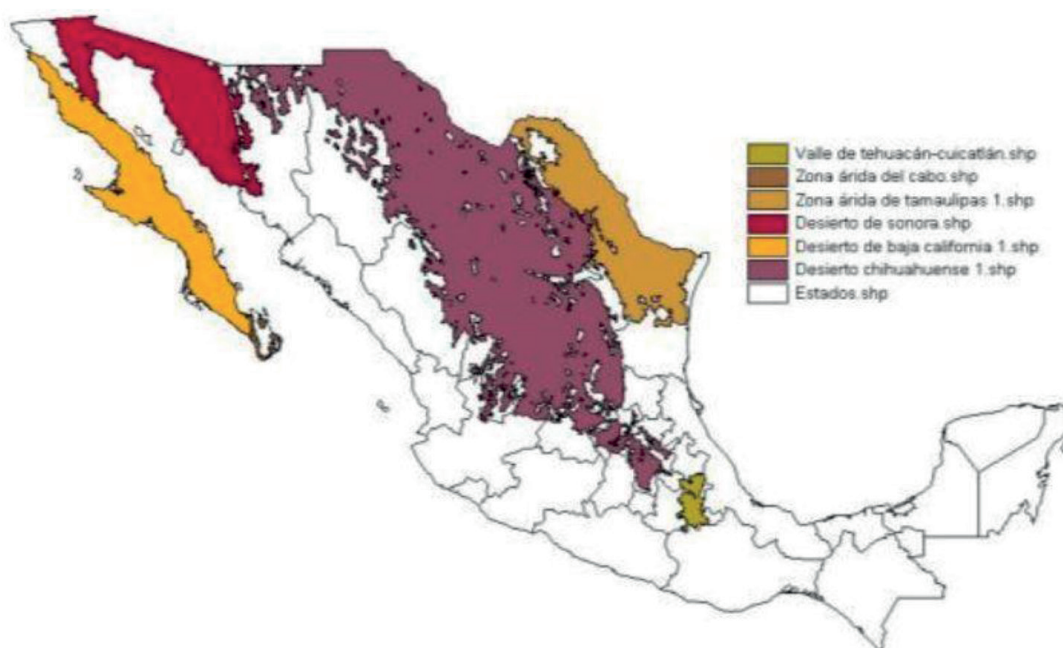


FIGURA 1. Desiertos del norte de México; se puede observar que el más representativo es el desierto chihuahuense. Fuente: Fernández-Badillo, 2013.

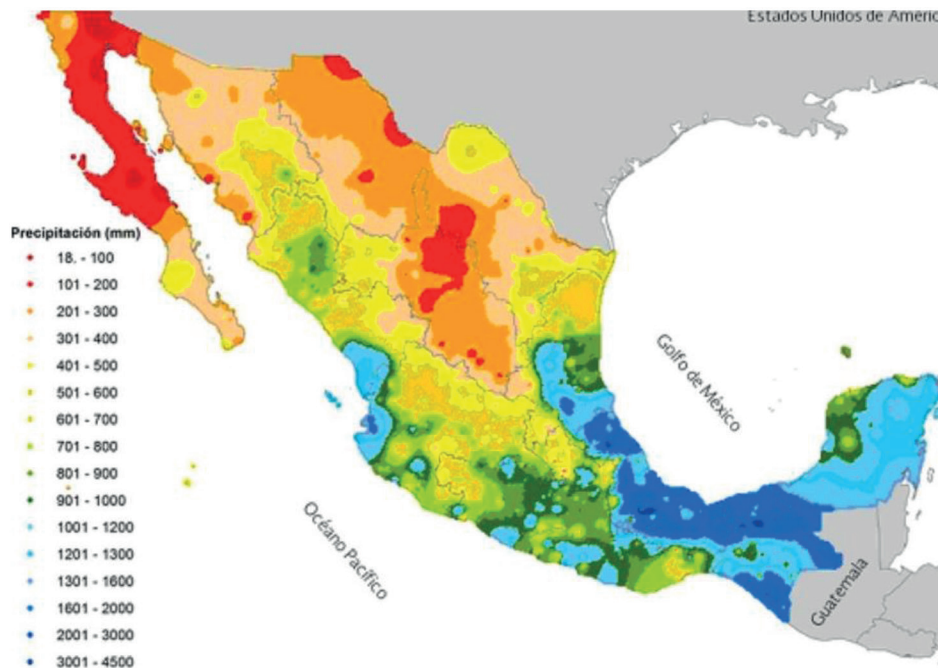


FIGURA 2. Mapa pluviométrico en donde se identifica la precipitación del desierto chihuahuense. Fuente: Conagua, 2014.

y semiáridas en México, esto con el objetivo de evidenciar la viabilidad y necesidad de aplicar la captación en zonas con estas características, así como la generación de información al respecto.

DESARROLLO

Un sistema de captación de agua de lluvia (SCALL) consiste básicamente en interceptar el agua de lluvia, captarla y almacenarla para su aprovechamiento posterior. La captación del agua de lluvia se realiza generalmente en los techos o azoteas de las viviendas; la recolección, mediante tuberías o canaletas; y en tanques exclusivos para este fin se lleva al cabo el almacenamiento (CEPIS/OPS, 2003; Li *et al.*, 2004).

CLASIFICACIÓN DE SISTEMAS DE RECOLECCIÓN DE AGUA DE LLUVIA

De acuerdo con Kinkade-Levario (2007), los sistemas de recolección de agua de lluvia se dividen

en dos categorías principales: sistemas activos y sistemas pasivos.

SISTEMAS PASIVOS

Los sistemas pasivos de agua de lluvia son sistemas sencillos en que se modifica o amolda el lugar para captar e infiltrar al suelo el agua o para dirigirla hacia la vegetación que se pretenda beneficiar (“Active Water Harvesting”, 2013).

Algunos de los elementos en el diseño de paisaje que ayudan a aprovechar el agua pluvial son los jardines pluviales, los biofiltros, los pavimentos permeables y los macizos de árboles (Kinkade-Levario, 2007).

A menudo se refiere a los sistemas pasivos como “infraestructura verde” o “desarrollo de bajo impacto”, en los cuales no se requiere de tuberías ni bombas y ayudan a reducir los costos económicos de la infraestructura artificial. Al diseñar con la naturaleza y llevar a cabo acciones de conservación y regeneración ecosistémica en diversas escalas y zonas de una ciudad, le regresaremos al territorio la capacidad de realizar las funciones que la infraestructura artificial es incapaz de lograr (Ulacia, 2014).

Infiltrar, tratar, captar, almacenar y distribuir el agua que cae sobre las superficies urbanas son las acciones hacia las que van encaminadas las tecnologías de manejo de agua de lluvia en la infraestructura verde (Ulacia, 2014).

SISTEMAS ACTIVOS

Los sistemas activos o complejos son en los cuales se utiliza algún sistema para captar, almacenar y distribuir el agua (“Active Water Harvesting”, 2013).

SISTEMAS DE CAPTACIÓN EXTERNOS

Estos sistemas involucran la recolección de agua desde un área extensa a una distancia básicamente lejana del área donde se llevará a cabo el cultivo (figura 3). La agricultura de escorrentías, o lo que se conoce como manejo de escurrimientos superficiales son algunos ejemplos de sistemas de captación externa. Y estos sistemas se usan comúnmente en regiones áridas y semiáridas de México y tienen como objetivo suministrar agua adicional a cultivos con técnicas de riego por inundación o avenidas (Anaya, 2002).

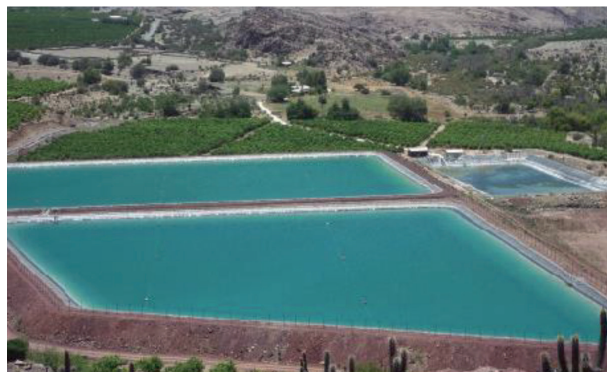


FIGURA 3. Captación externa. Fuente: Anaya, 2002.

SISTEMAS DE MICROCAPTACIÓN O CAPTACIÓN *IN SITU*

Los sistemas de microcaptación o captación *in situ* del agua de lluvia son aquellos en los que el área de captación y el área de cultivo están adyacentes pero diferenciadas. Algunas de las técnicas de captación incluyen barreras semicirculares (figura 4), o al contorno y otros sistemas en los cuales el área de cultivo está inmediatamente

abajo del área de captación, la cual se ha limpiado de vegetación para incrementar el escurrimiento (Loredo, Libro y Num, 2005).

Anaya (2002) menciona que los sistemas de microcaptación de agua de lluvia para cultivos anuales y perennes se conocen también como sistemas de captación *in situ*, y que para su establecimiento es necesario obtener información sobre la cantidad y distribución de la lluvia en el año, la capacidad de almacenamiento de agua en el perfil del suelo, las necesidades hídricas del cultivo a explotar y considerar los recursos con que se cuenta para establecer el sistema de captación *in situ* que mejor se adapte a las condiciones del área de trabajo.

SISTEMAS DE CAPTACIÓN EN TECHOS

Un sistema de captación en techos (figura 5) es aquel sistema que utiliza una superficie, ya sea un techo, una azotea, una loza o un balcón para captar agua de lluvia y dirigirla a una unidad de almacenamiento, ya sea una cisterna, tanque o aljibe (Anaya y Trejo, 1998).



FIGURA 4. Almacenamiento In Situ, estanques del CIDE-CALLI en Texcoco, México. Fuente: (Pacheco, 2008)

COMPONENTES DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA

El sistema está compuesto por cinco unidades básicas: el área de captación, los ductos para conducir el agua, los tratamientos, el tanque de almacenamiento y los complementos. A su vez cada unidad está compuesta por uno o varios elemen-

CUADRO 1. Los componentes de un SCALL

Unidad Básica	Categoría	Elementos	Función
Área de captación	Plásticas y metálicas	Techos de policarbonato o algún plástico no fotodegradable Techos de lámina metálica	Colectar el agua de lluvia
	Cemento, impermeabilizadas Y tejas	Azoteas de cemento con o sin impermeabilizante Tejados de arcilla, madera o similares.	
Tuberías y conductos	Plásticos	Tubería de PVC hidráulica o sanitaria Tubería de PP	Conducción del agua de lluvia
	Metálicos	Canaletas y tubos metálicos Tubería de cobre	
Tratamiento	Primario	Separador de hojas Separador de primeras lluvias	Retirar sólidos grandes Apartar el agua con mayor concentración de contaminantes. Retener sólidos rápidamente sedimentables.
		Clarificador o desarenador	
	Secundario	Dosificador de sustancia de conservación Filtros a presión de sólidos Filtro de carbón activado	Eliminar y/o inactivar microorganismos. Retener sólidos de hasta 50 micras. Retener materia orgánica, olor, sabor y color.
Depósito de almacenamiento	Cemento	Cisterna de plástico subterránea o a nivel de piso.	Almacenar el agua de lluvia y conservar su alta calidad.
	Plástico y metálico	Cisterna de plástico subterráneo o a nivel de piso Tinaco de plástico. Cisterna de geomembrana subterránea o a nivel de piso. Tinaco de acero inoxidable Cisterna de acero inoxidable.	Almacenar el agua de lluvia y conservar su calidad.
Complementos	Automatización, control y otros	Bomba hidráulica. Medidores de nivel Dispositivos de control.	Mover el agua al lugar que se requiera y hacerla pasar por el tren de tratamiento.

Fuente: García, 2012.

tos o dispositivos que trabajan en conjunto para recolectar el agua, darle tratamiento y tenerla disponible para su aprovechamiento (García, 2012).

Cada sistema de recolección debe tener los siguientes subsistemas o componentes (Dillaha y Zolan, 1985; IDRC, 1990; Li *et al.*, 2004; Zhu *et al.*, 2004; Meera y Mansoor Ahammed, 2006; Sazakly *et al.*, 2007; Chiu *et al.*, 2009; Abdulla y Al-Shareef, 2009; Song *et al.*, 2010):

- a. Sistema de captura o superficie de captura.
- b. Sistema de recolección de agua o de distribución.
- c. Sistema de almacenamiento del agua.

La superficie de captura y el sistema de recolección se encuentran en todos los sistemas de recolección. El sistema de almacenamiento es el componente más importante ya que es el responsable de la cantidad y calidad del agua recolectada (Li *et al.*, 2004). Además de los componentes antes mencionados, otros autores también mencionan la importancia de sistemas de filtrado (Song *et al.*, 2010) o interceptores (CEPIS/OPS, 2003, 2004).

ÁREA DE CAPTACIÓN

El área de captación, además de ser el lugar para coleccionar la mayor cantidad de agua, es el principal punto de contaminación. Existen diversas superficies para captar agua, una con mucho potencial es el techo, sobre todo por la calidad del agua que mantiene respecto al patio. Existen diferentes tipos de techo en las casas. Aunque el más común es de cemento impermeabilizado, también puede haber de lámina metálica y policarbonato. Cada superficie además de tener coeficientes de captación específicos, requiere de diferente tratamiento por su calidad asociada (García, 2012).

El área de captación es la superficie destinada a la recolección del agua de lluvia (CEPIS/OPS, 2003). Generalmente es el techo (Dillaha y Zolan, 1985; Abdulla y Al-Shareef, 2009) y por lo tal, está limitada al área de éste (Sehgal, 2008). El área efectiva del techo y sus materiales influyen en la eficiencia de la recolección y la calidad del agua, por lo que se prefieren materiales lisos, limpios e impermeables (Abdulla y Al-Shareef, 2009). Materiales recomendados: concreto, tejas de barro,

CUADRO 2. Coeficientes de captación

Tipo de superficie	Coeficiente de captación A*	Coeficiente de captación B**
Lámina metálica y plástica	0.8-0.85	0.75-0.95
Teja de cemento	0.62-0.69	0.75-0.95
Teja de barro (hecha a máquina)	0.30-0.39	-----
Teja de barro (hecha a mano)	0.24- 0.31	-----
Losa de concreto	0.73-0.76	0.70-0.95
Losa con terminado en grava	-----	0.25-0.70
Losa con terminado de tabique o ladrillo	-----	0.70-0.85

* Gould y Nissen-Petersen, 1999.

Fuente: Mechell *et al.*, 2010.

CUADRO 3. Ventajas y desventajas de las cisternas de ferrocemento

Ventajas	Desventajas
Bajo costo. Uso reducido de materiales. No se necesita molde. Pueden ser fabricadas por personas de la localidad en poco tiempo. Fáciles de reparar.	El agua se calienta con facilidad. La obra no puede ser interrumpida pues las capas subsecuentes del aplanado no se adhieren suficientemente entre sí, y esto puede ocasionar pérdidas de agua por filtración. No son recomendadas en zonas sísmicas ya que pueden fracturarse.

Fuente: Peraza-Gómez, 2011.

ladrillo, acero galvanizado, fibra de vidrio, polí-carbonato y acrílico (Arias Chávez, 1979; Dillaha y Zolan, 1985; The Lady Bird Johnson Wildflower Center, s/f).

Una superficie de captación poco porosa, como las de material plástico o metálico, requiere menor cantidad de agua de primera lavada que una superficie porosa de cemento o de terminado en gravilla. Este tipo de superficies lisas una vez lavadas aportan menor cantidad de sólidos y material orgánico que las de cemento, pues estas últimas son un soporte para que los microorganismos terrestres se desarrollen (Martinson y Thomas, 2005).

El área de captación, según Peraza-Gómez (2011), se refiere a la superficie en la cual la precipitación cae. Por lo particular las superficies que se emplean para este fin son los techos de las casas habitación, escuelas, invernaderos y bodegas, que están recubiertas o tratadas con materiales que sirven de impermeabilizantes. Un aspecto muy importante es que el material de la superficie de captación no desprenda ningún olor o ninguna sustancia que pueda alterar el grado de calidad del agua (Peraza-Gómez, 2011).

El área de que se dispone para la captación en la mayoría de los casos es el techo o azotea de una casa o un edificio. Y el área efectiva del techo y el material que fue utilizado en la construcción del techo repercuten directamente en la eficiencia de la recolección y en la calidad del agua captada (Abdulla y Al-Shareef, 2009).

ALGUNOS TIPOS DE TECHOS O CUBIERTAS PARA IMPLEMENTAR CAPTACIÓN PLUVIAL

TECHOS CUENCA

Estas estructuras están compuestas básicamente por medio de techos que forman entre ellos una especie de “V” para que el escurrimiento se conduzca hacia el centro, donde se encuentra ubicada una cisterna que sirve como almacena-

miento, (figura 6). Para poder indicar el nivel de almacenamiento se utiliza un piezómetro instalado en la pared externa del tanque de depósito (Peraza-Gómez, 2011).



FIGURA 5. Captación de agua de lluvia en techo Fuente: (Frost, 2011)

TECHOS A DOS AGUAS

Se trata de losas a dos aguas en cuya superficie el agua de lluvia escurre de manera natural debido a la pendiente que la cubierta presenta (figura 7) (Peraza-Gómez, 2011).



FIGURA 6. : Techo cuenca en la comunidad del Teongo, Aguascalientes. Fuente: Peraza-Gómez, 2011.

SISTEMA DE CONDUCCIÓN

Consiste en canales, tubos o tuberías adheridos al borde del techo, éstos se encargan de dirigir el agua recolectada a la cisterna o tanque de almacenamiento (IDRC, 1990; CEPIS/OPS, 2003, 2004; Sehgal, 2008; Abdulla y Al-Shareef, 2009).



FIGURA 7. Techo a dos Aguas, Fuente: (Peraza-Gómez, 2005).

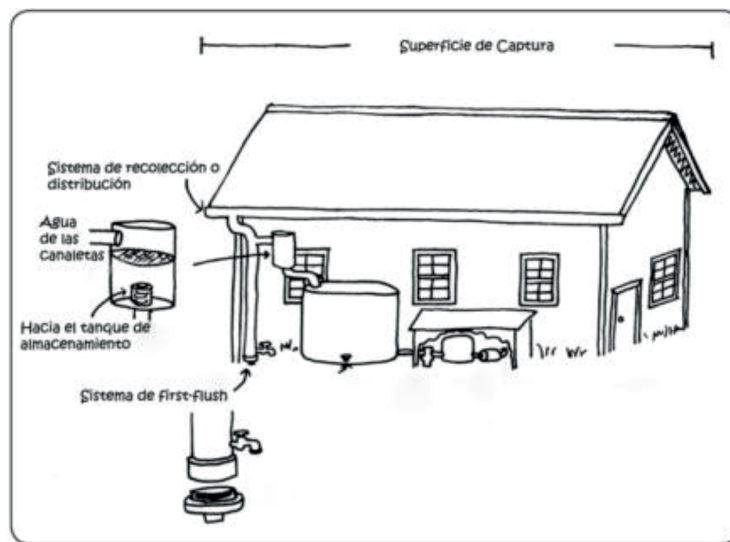
El sistema de conducción se compone por el conjunto de canaletas o tuberías de diversas formas y materiales que conducen el agua del área de captación hacia el sistema de almacenamiento. Dichas canaletas se instalan en los bordes bajos

del techo, en donde el agua tiende a escurrir antes de caer al suelo. Es necesario tomar en cuenta que deben ser de un material liviano, resistente y no contaminante (Reséndiz, 2012).

Es recomendable colocar mallas que ayuden a detener la basura, sólidos y hojas para evitar que el sistema se obstruya o se tape (figura 9). Los materiales más comúnmente utilizados son la lámina galvanizada, el aluminio, PVC y otros materiales como madera o bambú. El tamaño de los canales depende del área del techo y de la cantidad de agua de lluvia a ser conducida a través (Abdulla y Al-Shareef, 2009).

Por cuestión de costo, se propone que este tubo central de bajada de la azotea sea de plástico. Comercialmente existen de PVC sanitario reforzado (figura 10); en la medida de lo posible se sugiere utilizar HDPE, por resistir mejor las inclemencias

FIGURA 8. Sistema de Conducción



Fuente: Arroyo-Zambrano, 2010.

CUADRO 4. Ventajas y desventajas de cisternas con geomembranas

Ventajas	Desventajas
<p>Económicas. Evitan la contaminación del agua y previenen la proliferación de microbios. Las reparaciones son fáciles de llevar a cabo y en un tiempo menor. En zonas sísmicas no ocurren desplazamientos debido a que la geomembrana es flexible.</p>	<p>En terrenos arenosos se dificulta la compactación para las paredes de la cisterna.</p>

Fuente: Peraza-Gómez, 2011.

del ambiente, ser más inerte con el agua y no favorecer el crecimiento microbiológico (Chacón *et al.*, 2011).

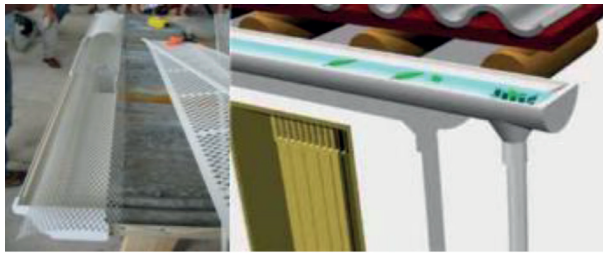


FIGURA 9. Canaleta con Trampa de Sólidos. Fuente: CON-AFOR.

Es importante seleccionar acertadamente el material de las canaletas, porque entre otras características, debe ser liviano, resistente al agua (que no se oxide fácilmente) y que pueda unirse adecuadamente entre sí. Dentro de las canaletas, las de bambú y de madera se puede decir que su ventaja es una construcción más sencilla, pero con la desventaja de que éstas se corrompen fácilmente al estar expuestas a la intemperie; las canaletas de metal son más durables y necesitan de menos mantenimiento; sin embargo, son las más costosas y las canaletas de PVC son las más fáciles de conseguir, son durables y las más económicas (Peraza-Gómez, 2011).

SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DEL AGUA CAPTADA

Las estructuras que van a tener la función de almacenamiento del agua de lluvia por lo general son cisternas o tanques (figura 11), las cuales pueden estar debajo del suelo (enterradas) o sobre éste, pero independientemente de dónde se encuentren, es necesario ponerles un recubrimiento para evitar la contaminación del agua, y también es necesario poner una cubierta hermética que va a ayudar a evitar el crecimiento de algas y la reproducción de mosquitos.



FIGURA 10. Canaletas de PVC. Fuente: Frost, 2011.



FIGURA 11. Almacenamientos para agua captada de lluvia. Fuente: Frost, 2011.

El tanque de almacenamiento es el componente más costoso del sistema de captación de agua de lluvia. El tamaño del tanque de almacenamiento o de la cisterna es determinado por diversas variables: el suministro de agua de lluvia (precipitación local que va de acuerdo con la duración del ciclo de lluvias), la demanda (conforme al número de usuarios y los usos), la duración proyectada de los periodos secos sin lluvia, la superficie del cemento, la estética, las preferencias personales y el presupuesto (Brown, Gerston y Colley, 2005).

Pueden ser los siguientes: contenedores existentes viables de usarse, contenedores óptimos que se construyan o compren, los cuales requieren ser preparados y darles mantenimiento (Adler, Carmona y Bojalil, 2008).

Por ello no es recomendable usar el agua de los depósitos abiertos para el consumo humano, no sin antes haberle aplicado un tratamiento adecuado, y aun en las cisternas o tanques cerrados no es recomendable para el consumo sin un previo tratamiento (Peraza-Gómez, 2011).

También como ventaja de las instalaciones subterráneas, se puede decir que éstas tienen la ventaja de conservar el agua fresca a una temperatura casi constante y por ello las pérdidas por evaporación pueden ser despreciables o incluso nulas (Peraza-Gómez, 2011).

Es el mayor componente del sistema (Sehgal, 2008), el más importante (Li *et al.*, 2004) y el de mayor costo (Abdulla y Al-Shareef, 2009). Existen varios factores a considerar para el tanque de almacenamiento:

FORMA Y UBICACIÓN

Existe una cantidad ilimitada de opciones en cuanto a la forma (cilíndrica, rectangular, cuadrada). La ubicación de los tanques puede ser encima o debajo de la tierra. Las ventajas de hacerlo en la superficie son: la facilidad de detección de grietas y fugas, la extracción del agua por gravedad y/o bombeo, la facilidad de drenarlos para su limpieza y que generalmente cuestan menos que los subterráneos, incluso pueden elevarse para incrementar la presión del agua. Las desventajas son que quitan espacio y que se encuentran sujetas a condiciones ambientales. En cuanto a los tanques subterráneos, éstos pueden ahorrar espacio, pero la extracción de agua es más compleja (Abdulla y Al-Shareef, 2009).

TAMAÑO

El tamaño se determina por factores como el requerimiento de agua diario (IDRC, 1990; Sehgal,

2008; The Lady Bird Johnson Wildflower Center, s/f) y la cantidad de agua de lluvia disponible. La cisterna debe proveer una capacidad adecuada para recibir la cantidad de agua de lluvia requerida para eficientar el sistema de captación pluvial y maximizar así la disponibilidad de agua durante los periodos secos (IDRC, 1990; Sehgal, 2008).

MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Gould y Nissen-Petersen (1999) describen diversas maneras y materiales para construir el depósito de almacenamiento. Algunos ejemplos son tanques superficiales, subterráneos y elevados, de tabique, cemento, ferrocemento, metálicos y plásticos, de diversas formas y tamaños según la necesidad particular.

Deben considerarse los costos de construcción o de compra. Los tanques comerciales generalmente son de materiales plásticos como polipropileno, polietileno de alta densidad, plástico reforzado con fibra de vidrio, acero galvanizado, y aluminio. Sin embargo, los tanques que se fabrican en el lugar como los hechos de concreto (Sehgal, 2008) y de ferrocemento (Dillaha y Zolan, 1985; IDRC, 1990; Sehgal, 2008) son otra alternativa, y también los hay de piedra.

El lugar donde se conservará el agua captada puede ser muy variado y de sus características depende la calidad que mantendrá el líquido previo a su aprovechamiento. Puede ir desde zanjas naturales hasta tanques especiales. Algunos ejemplos de contenedores superficiales o subterráneos son:

- Cemento o ferrocemento: cisternas, jarras o jollas.
- Metálicos: botes, tinacos o cisternas de lámina de acero.

CUADRO 5. Clasificación de filtros

Por velocidad de filtrado	Según el medio filtrado	Según el flujo	Según la carga
Rápidos (240-360m ³ /m ² /día)	Arenas: cuarzo, sílice, zeolita, antracita, etc. Gravas: cuarzo, tezontle, etc. Gravillas: cuarzo, tezontle, carbón activado, etc.	Ascendente	Gravedad
Lentos (0.1-2.5m ³ /m ² /día)		Descendente	Presión
		Flujo mixto	

Fuente: García, 2012.

- Plásticos: botes, tinacos o cisternas de HDPE (García, 2012).

CISTERNAS PREFABRICADAS

Este tipo de cisterna generalmente es de medidas estándares, se encuentran hasta de 10,000 L o 10 m³ (figura 12).

Sus principales características son:

- Fácil manejo;
- Instalación a nivel subterráneo o superficial;
- Garantía de funcionalidad;
- Se compran con todo el equipo de conexiones incluido;
- Mejor limpieza en el proceso de instalación;
- Instalación sencilla;
- Peso ligero.



FIGURA 12. Cisternas Prefabricadas de polietileno de la marca ROTOPLAS. Fuente: Adler *et al.*, 2008.

Entre sus desventajas destaca que la radiación solar puede producirle daños (Arroyo Arroyo, 2013).

CISTERNAS DE CONCRETO HECHAS EN OBRA

Estas cisternas son de concreto armado, se pueden hacer de la medida requerida y se construyen en obra (figura 13). Sus principales características son:

- Requieren una determinada resistencia del concreto para que puedan resistir la presión del agua;
- Su proceso de obra es tardado por las características del tipo de construcción, ya que se debe pasar por varios pasos como la excavación, el armado, la cimbra, el vaciado del

concreto, la descimbra, las instalaciones y la impermeabilización;

- El proceso de instalación es muy sucio;
- Requiere mantenimiento constante;
- No tiene una garantía establecida por determinado tiempo;
- Se puede hacer de la medida que se requiera sin que sobre o falte capacidad (Reséndiz, 2012).



FIGURA 13. Cisterna concreto hecha en obra. Fuente: Aguel Dal Cil, 2010.



FIGURA 14. Fabricación de cisterna de ferrocemento. Fuente: Pedroza *et al.*, 2014.

TANQUES O CISTERNAS DE FERROCEMENTO

Este tipo de cisternas son de rápida construcción, los materiales son fácilmente adquiribles y los costos pueden llegar a variar. En seguida se

muestran las ventajas y desventajas. Lo primero que se hace es colocar una malla electrosoldada y se procede al aplanado mediante una mezcla de arena y cemento (figura 14) (Reséndiz, 2012).

CISTERNAS REVESTIDAS CON CUBIERTA FLOTANTE DE GEOMEMBRANA DE PVC, POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD O POLIPROPILENO REFORZADO

Este tipo de cisternas llevan un recubrimiento de impermeabilizante de plástico, y están hechas a base de productos geosintéticos como la geomembrana, que es excelente como impermeabilizante, ya que delimita a fluidos y partículas, evita filtraciones, fugas y contaminación del agua almacenada. Por otra parte, se encuentran la geomembrana de PVC, el polietileno de alta densidad y el polipropileno reforzado, con la ventaja de ser de fácil instalación, fácil colocación, elástico, de gran tiempo de vida y elongación del 200% (figura 15) (Peraza-Gómez, 2011).



FIGURA 15. Cisternas con Geomembranas. Fuente: Peraza-Gómez, 2011.

CISTERNAS DE MADERA

Este tipo de cisternas son construidas principalmente con secoya, también pueden construirse con pino, cedro y ciprés (figura 16) (Peraza-Gómez, 2011; Reséndiz, 2012).



FIGURA 16. Cisternas de Madera en Texas. Fuente: The Texas Manual on Rainwater Harvesting.



FIGURA 17. Cisterna de acero galvanizado. Fuente: The Texas Manual on Rainwater Harvesting.

CISTERNAS DE METAL

El material empleado por lo general para la construcción de este tipo de cisternas es el acero galvanizado (figura 17), el cual es resistente a la oxidación pero no a la corrosión, es el mayor-

TABLA 1. Ventajas y desventajas de las cisternas de ferrocemento Fuente: (Peraza-Gómez, 2011)

Ventajas	Desventajas
Bajo costo. Uso reducido de materiales. No se necesita molde. Puede ser fabricado por personas de la localidad en poco tiempo. Fácil de reparar.	El agua se calienta con facilidad. La obra no puede ser interrumpida pues las capas subsecuentes del aplanado no se adhieren suficientemente entre sí, y esto puede ocasionar pérdidas de agua por filtración. No son recomendadas en zonas sísmicas ya que pueden fracturarse

TABLA 2. Ventajas y Desventajas de cisternas con Geomembranas. Fuente: (Peraza-Gómez, 2011)

Ventajas	Desventajas
Económica Evita la contaminación del agua y previene la proliferación de microbios. Las reparaciones son fáciles de llevar a cabo y en un tiempo menor. En zonas sísmicas no ocurren desplazamientos debido a que la geomembrana es flexible.	En terrenos arenosos se dificulta la compactación para las paredes de la cisterna.

mente empleado para el almacenamiento de agua de lluvia, pero también puede existir en los tanques nuevos un exceso de zinc, lo que provocaría que se vea afectado el sabor del agua; por ello es recomendable un prelavado antes de empezar a usarlos (Peraza-Gómez, 2011).

FILTRACIÓN DE AGUA DE LLUVIA

La filtración es un proceso que consiste básicamente en separar un sólido del líquido, haciéndolo pasar a través de un medio poroso mediante un medio filtrante, es decir un filtro, que permite el paso del líquido a través de él y a su vez impide el paso de los sólidos, reteniéndolos (Peraza-Gómez, 2011; Reséndiz, 2012).

FILTROS PARA HOJAS Y OTROS SÓLIDOS DE GRAN TAMAÑO

Se encargan de retirar elementos de gran tamaño que puede arrastrar la lluvia (Figura 18) (García, 2012).

Otros componentes:

Según Gould y Nissen Petersen (1999) y Mechell *et al.* (2010), respectivamente, algunos componentes complementarios que repercuten directamente en la calidad del agua son los siguientes:

INTERCEPTORES O SEPARADORES DE PRIMERA LLUVIA

Su objetivo es apartar la primera agua que escurre y arrastra una mayor concentración de contaminantes de la atmósfera y partículas de la superficie de captación. Hay separadores de lluvia manuales y automáticos (figura 17) (García, 2012).

Cabe mencionar que con el desecho del *first flush* (primer flujo) la calidad del agua puede aumentar de manera significativa (ya que separa la mayor parte de la suciedad, escombros y desechos) (Zhu *et al.*, 2004; Meera y Mansoor Ahammed, 2006; Abdulla y Al-Shareef, 2009). De igual manera, un mantenimiento regular de los tanques de almacenamiento optimiza mucho la calidad del agua (se debe limpiar el tanque anualmente) (Abdulla y Al-Shareef, 2009).

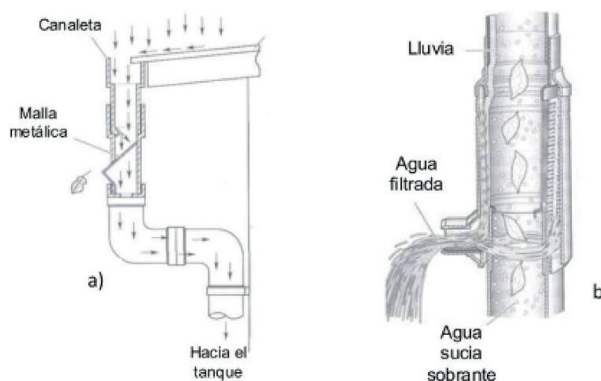


FIGURA 18. Filtro para hojas por caída vertical y centrifugado. Fuente: García, 2012.

TLALOQUE

El Tlaloque, el primer producto mexicano en su tipo, separa la parte más sucia de cada lluvia para que no entre a la cisterna. Se vacía automáticamente por la manguera de drenado (figura 20). El tlaloque permite conectar superficies de hasta 140 m² y elegir cuántos litros de cada lluvia se van a separar. Su capacidad total es de 210 litros.

- a. Puede ajustar el volumen que se quiere separar. Esto significa que no se tiene que separar la misma cantidad de agua en una casa chica

que en una grande, haciendo más eficiente la captación.

- b. Autolimpiable. El drenado del tloaque asegura que se vacía completamente antes de cada lluvia, mejorando su limpieza.
- c. Integra desvío a drenaje. El desvío a drenaje es esencial para un sistema de captación. Con la llave de desvío se drenan automáticamente las primeras lluvias de cada temporada, por ser las más sucias.
- d. Se puede conectar el tloaque a una cisterna alta sin tener que elevarlo. Ajustando el respiradero del tloaque se puede dirigir el agua a cisternas elevadas.
- e. Drena en automático. El tloaque se autodrena para asegurar su funcionamiento en cada lluvia.
- f. Es estético y fácil de instalar (Isla Urbana).



FIGURA 19. Separador de primeras aguas. Fuente: García, 2012.

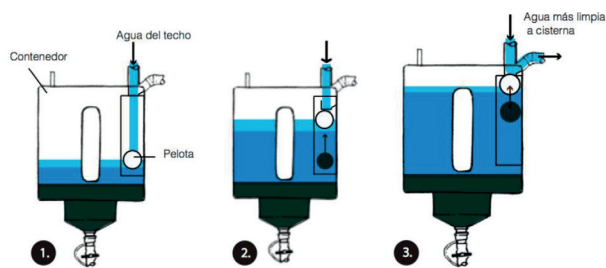


FIGURA 20. Tloaque. En los primeros minutos de lluvia cae sobre el techo, limpiándolo.

El agua entra al tloaque. (1) El contenedor se va llenando y la pelota flotante se mueve hacia la apertura. (2) Cuando el tloaque se llena, la pelota flota y sirve como tapón. El agua limpia se conduce a la cisterna. (3) Fuente: Isla Urbana.

SEDIMENTADORES, DESARENADORES Y CLARIFICADORES

Su objetivo es retirar sólidos que pueden sedimentar antes del almacenamiento. Este tratamiento ayuda a hacer más eficiente el filtrado y reducir el mantenimiento general de los tratamientos posteriores (figura 21) (García, 2012).

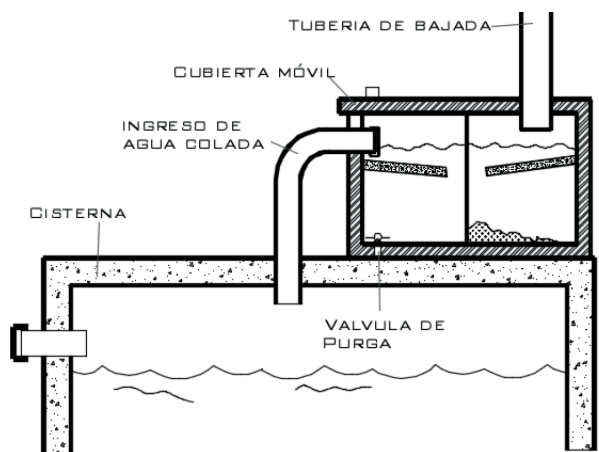


FIGURA 21. Desarenador para agua de lluvia. Fuente: Elaboración propia.

- *Dispositivos para desinfección.* Ayudan a eliminar microorganismos y potabilizan el agua colectada. Algunos ejemplos son: cloradores, lámparas de luz ultravioleta y dosificadores de plata coloidal (García, 2012).
- *Dispositivos de automatización.* Se trata de equipo que ayuda a complementar el sistema en la parte operativa. Se incluyen la bomba o equipo para trasladar el líquido por presión, el controlador y los sensores de nivel que automatizan esta labor, sensores de temperatura, pH, etcétera (García, 2012).
- *Desvío al drenaje.* Además de ayudar a elevar de manera radical la calidad del agua de lluvia, el desvío al drenaje es un componente necesario en cualquier sistema de captación y aprovechamiento pluvial porque permite la opción de que la lluvia entre al sistema o se dirija a otro lado, como un pozo de absorción, un tanque de almacenamiento o simplemente al drenaje (García, 2012).
- *Filtros.* Ayudan a retener sólidos suspendidos y otros que no fueron retenidos en las etapas anteriores. También pueden reducir la

contaminación microbiológica. Por ejemplo, existen filtros rápidos, lentos, por gravedad y por presión. En el cuadro 5 se presenta una modificación a la clasificación de filtros de Pürschel (García, 2012).

CAPTACIÓN PLUVIAL EN ZONAS ÁRIDAS

A continuación se sintetizan algunos de los trabajos que se han realizado sobre el tema, que se consideran importantes o representativos; éstos se han organizado a nivel internacional, regional y regional-nacional.

NIVEL INTERNACIONAL

En países como la República Popular de China se ha ido resolviendo el problema de abastecimiento de agua a cinco millones de personas con la aplicación de estas tecnologías. En Japón, Corea, Alemania, Australia y Singapur el agua de lluvia se potabiliza, lo que se traduce en un ahorro estimado del 15% del total que se utiliza. En Bangladesh se ha reducido la intoxicación por arsénico que se encuentra en el subsuelo con la utilización de sistemas de captación de agua de lluvia para uso doméstico. En el norte de Tailandia se han construido en los últimos años 10 millones de cisternas, utilizando los conocimientos de alfarería de comunidades rurales. En el noreste del Brasil, la región más afectada por la escasez de agua, el Programa del “Millón de Cisternas” ha demostrado que es una opción viable para pequeños poblados. En las Islas Vírgenes, Islas Caicos y Turcos, entre otros, existen marcos legales y normativos que obligan a la captación de agua de lluvia de los techos (Anaya Garduño, 2008).

En varios países del África del este, en particular en Kenia, con crecientes cambios climáticos y retroceso de nieves perpetuas, con un déficit creciente de agua urbana y variabilidad de temporales, las lluvias captadas en los techos o por escorrentía alimentan acuíferos que nutren los pozos y aljibes de las viviendas, especialmente en sectores periurbanos y rurales. La práctica actual de captar agua de lluvia se hace de forma poco tecnificada y sin incentivos. Las asociaciones locales y nacionales de Gestores de Agua Lluvia (Kenya Rainwater Association) han avanzado en el posicionamiento del tema en el ámbito político, de forma que ya existen programas rurales con sistemas tecnificados, especialmente para atender necesidades de seguridad alimentaria y producción de alimentos.

NIVEL REGIONAL

CAPTACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA. OPCIONES TÉCNICAS PARA LA AGRICULTURA FAMILIAR EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (FAO, 2013)

El problema de la escasez de agua bajo la perspectiva del calentamiento global tiende a intensificarse en aquellas regiones en las que ya se presenta un déficit importante, ya sea por la reducción de los niveles de precipitación o por el aumento de los niveles de evaporación y transpiración. Las zonas húmedas y subhúmedas podrían verse afectadas si este problema se extiende y se agudiza.

Lo anterior determina que el tema del agua y su manejo eficiente debe ser una prioridad para la población rural de América Latina y el Caribe, principalmente en aquellas zonas donde las llu-

TABLA 3. Clasificación de filtros

Por velocidad de filtrado	Según el medio filtrado	Según el flujo	Según la carga
Rápidos (240-360m ³ /m ² /día)	Arenas: cuarzo, sílice, zeolita, antracita, etc. Gravas: cuarzo, tezontle, etc.	Ascendente	Gravedad
Lentos (0.1-2.5m ³ /m ² /día)	Gravillas: cuarzo, tezontle, carbón activado, etc.	Descendente	Presión
		Flujo mixto	

Fuente: (García, 2012)

vías son escasas para cubrir las necesidades de forma integral.

La llegada del cambio climático se traduce en un aumento de las temperaturas medias terrestres y se agudizan los problemas de escasez de agua en muchas regiones del mundo (IPCC, 2007).

A continuación se enumeran los posibles cambios en el ciclo hidrológico causados por el cambio climático:

1. Disminución de la precipitación total anual.
2. Disminución del número de eventos de lluvia (distribución más errática).
3. Aumento de la energía de las precipitaciones (lluvias más intensas), con posible agravamiento de los problemas (crecidas, inundaciones y erosión de las tierras).
4. Aceleración de la escorrentía por disminución de la precipitación sólida (nieve).
5. Aumento de la evapotranspiración, lo que incrementaría la aridez de la zona. Reducción en la recarga de las napas, con la consiguiente caída de sus niveles.
6. Mayor arrastre de sedimentos (erosión de suelos). Aumento de la contaminación por menor capacidad de dilución de efluentes y riles (residuos industriales líquidos) (FAO, 2013).

MANUAL DE CAPTACIÓN Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA DE LLUVIA. EXPERIENCIAS EN AMÉRICA LATINA. SERIE: ZONAS ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS. PNUMA/FAO AMÉRICA LATINA (FAO, 2000)

En septiembre de 1994 se organizó un “Taller sobre Técnicas de Captación o Cosecha de Lluvia para la Agricultura, Ganadería y Producción Forestal en Zonas Semiáridas” en Petrolina, Brasil, por parte de la Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe en colaboración con el Centro de Actividades de Combate a la Desertificación del PNUMA. Expertos de Brasil, Guatemala, Chile, México, Perú y Argentina, con experiencia en el tema de captación o cosecha de agua de lluvia participaron en dicho Taller.

Lluvias escasas y de frecuencia irregular son características de zonas áridas y semiáridas. La precipitación intensa que se produce específicamente

en zonas tropicales ocasiona grandes escorrentías eventuales que causan inundaciones y erosión sobre las tierras que se encuentran casi desprovistas de vegetación que logre atenuar estos efectos. Las sequías ocurridas recientemente en diversas partes del mundo han destacado los riesgos que se presentan tanto para los seres humanos como para animales, específicamente en las zonas rurales.

La captación de agua de lluvia se considera en esta publicación como la recolección o cosecha de la escorrentía superficial para propósitos de producción agropecuaria y forestal. La práctica eficiente de la captación de agua de lluvia disminuye los riesgos de erosión al disminuir la escorrentía libre sobre las tierras.

Como temas importantes para investigar en el futuro y para considerar en la implementación de las técnicas de captación de agua de lluvia, se mencionan (FAO, 2000):

- Homologar la terminología y la técnica en el diseño de los sistemas de captación de agua;
- Establecer bancos de datos regionales y nacionales de información sobre sistemas de captación de agua en general, así como sobre clima, hidrología, geomorfología, uso de la tierra, etc., para fortalecer las instituciones relacionadas;
- Implementar sistemas de captación de agua de lluvia basados en las experiencias y técnicas locales.
- Integrar sistemas de captación de agua de lluvia dentro del paquete de soluciones para contrarrestar problemas de medio ambiente, sequía y sobrepoblación y desabasto.
- Dar atención a los aspectos sociales (adopción, participación y empoderamiento), económicos (costos y beneficios) y ambientales en la planificación, implementación, desarrollo y en el monitoreo de los sistemas de captación de agua de lluvia.

NIVEL REGIONAL-NACIONAL

SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA (SCALL) Y BIOPRODUCTIVIDAD EN COMUNIDADES

MARGINADAS DE ZONAS ÁRIDAS (PEDROZA ET AL., 2014)

En 1997 se creó el Grupo Interdisciplinario de Vinculación (Grinvin) de la URUZA- UACH, con el principal objetivo de incentivar el desarrollo integral de comunidades marginadas en zonas áridas, utilizando como base de acción el sistema de captación de agua de lluvia y, con éste, generar un sistema de producción familiar que garantice en comunidades marginadas la seguridad alimentaria (Pedroza y Ruiz, 1998).

El sistema de captación de agua de lluvia formó parte del proyecto desarrollo integral en zonas áridas financiado en 1998 por la Fundación W. W. K. Kellogg- Míchigan (Ruiz *et al.*, 2006) y posteriormente por medio de Fondos Mixtos del Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología del Estado de Durango en 2008, teniendo en ambos casos como área de influencia del proyecto al Bolsón de Mapimí, que es la parte norte y árida del estado de Durango. Más recientemente (2013) se ha estado replicando la experiencia en comunidades rurales de alta marginación en el municipio de Mazapil, Zacatecas, con apoyo financiero de la empresa GoldCorp a través del Gobierno de Zacatecas (Grinvin, 2012).

El sistema de captación de agua de lluvia en techos es el más eficiente en cuanto a captación de agua para uso doméstico; se diseñaron y construyeron reservorios de agua captadores y/o almacenadores de agua.

Se han estado construyendo cisternas de ferrocemento de 8,000 litros de capacidad en las comunidades rurales de los municipios de Mapimí y alrededores del estado de Durango, así como del municipio de Mazapil, Zacatecas, y teniendo en consideración que: una familia promedio está integrada por tres a cinco personas. Las necesidades de agua son aproximadamente entre 1,000 y 2,000 litros/persona/año. Entre 50 y 70 m² oscila el área de captación de los techos. La precipitación promedio anual es de 350 mm para la región de Mazapil, Zacatecas y 250 mm para la región de Mapimí, Durango. Se construyen moldes (metálicos, de cartón, de triplay u otro material) de ma-

teriales reutilizados para reducir costos y que se usarán en varias cisternas (Pedroza *et al.*, 2014).

En conclusión, las zonas áridas requieren de un programa más consolidado que les permita captar y almacenar el agua de lluvia, para que a partir de estas reservas se disponga del vital líquido durante los periodos sequía crítica.

- El proceso de diseño y construcción debe ser mediante un programa de inducción y capacitación que facilite e induzca la participación comunitaria para generar empoderamiento en la población hacia soluciones alternativas y sustentables a su problemática.
- La captación de agua de lluvia es una alternativa ante la escasez del vital líquido para fines domésticos y productivos a nivel familiar, que además permite una seguridad alimentaria básica.
- El SCAPT es un módulo de apoyo en la capacitación a productores sobre una cultura eficiente y sostenible en la captación del agua de lluvia.
- La cisterna de ferrocemento es una alternativa real y práctica para la seguridad hídrica y agroalimentaria para las familias en comunidades rurales marginadas de las zonas áridas.

SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA PARA USO DOMÉSTICO EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE. AGENCIA DE COOPERACIÓN TÉCNICA IICA-MÉXICO (ANAYA, 1998)

Se mencionan algunos de los sistemas de captación de agua de lluvia empleados en zonas áridas y semiáridas:

1. Estanques o presas de tierra.
2. Papalotes o molinos de viento.
3. Bombas recíprocas de pistón.
4. Pozos adomados y equipos con bomba.
5. Transporte de agua en camiones cisterna.
6. Manantiales entubados o canalizados.
7. Trampas de agua de lluvia.
8. Techos cuenca.
9. Aljibes.
10. Ollas de agua.
11. Plantas desaladoras.
12. Plantas solares.

13. Sistemas de compartimentos.

Se han detectado 13 formas o sistemas que los habitantes de estas regiones han utilizado como fuentes de agua de consumo. Sin embargo, el estanque o presa de tierra, que es el más rudimentario y menos higiénico de todos, sigue siendo la fuente más utilizada y la más segura.

Acerca de la situación en el medio rural ejidal semidesértico de México, la asesoría y apoyo internacional para la realización de proyectos en este medio no ha tenido el éxito esperado. Tal como lo es en el caso específico de varios sistemas de compartimientos construidos en el ejido Tanque de Menchaca del municipio de Cuatro Ciénegas, Coahuila. Y en una huerta de pistacho y vid, con bordos cuenca, que con una superficie de 20 ha se construyó en San Francisco del Barril, del mismo municipio y estado.

ANÁLISIS DEL BENEFICIO-COSTO EN LA CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA EN EL CAIS-URUZA-UACH, MÉXICO (RUIZ, J., ET AL., 2006)

Se identificaron, cuantificaron y compararon costos y beneficios económicos y sociales de la captación y almacenamiento de aguas de lluvia en techos de tierra y de concreto, para contribuir al crecimiento regional sustentable, reduciendo así la extracción de agua del subsuelo.

La investigación se llevó a cabo en la URUZA-UACH, Bermejillo, Durango, México, región que cuenta con 250 mm de precipitación anual. La metodología considera que: se identificaron y cuantificaron los costos y beneficios a mayo de 2006; se calcularon el valor presente neto (VPN) y la tasa interna de rentabilidad (TIR) y se evaluaron y compararon alternativas.

Al encontrarse los indicadores positivos, se encontró que social y ecológicamente la captación de agua de lluvia se justifica: en techos de tierra: TIR = 0.936% y VPN 0.09% = \$86.45 y en techos de concreto: TIR = 1.92% y VPN (0.09%) = \$1,781.68. Financieramente no se considera el impacto a la sociedad y al medio ambiente, la captación de agua de lluvia en techos de tierra no es atractiva: TIR = -4.01% y VPN 0.09% = -\$1,731.52,

tampoco lo es para los techos de concreto: TIR = -3.4% y VPN (.09%) = -\$1,797.77).

Para implementar la captación de agua de lluvia, ya sea en techos de tierra o de concreto, se requiere el apoyo permanente ya sea institucional o gubernamental en aspectos financieros, técnicos y de capacitación.

Nota: para más información sobre los trabajos anteriormente expuestos, se recomienda consultar los documentos de los autores originales.

NORMATIVIDAD

La Comisión Nacional del Agua (Conagua, 2017) tiene una serie de normas que están relacionadas con la captación de aguas pluviales, como la NOM-011-CONAGUA-2015 sobre la conservación del recurso del agua, NOM-015-CONAGUA 2007 que es sobre la infiltración artificial de agua a los acuíferos. Éstas tienen la finalidad de mantener el recurso y la recarga de los acuíferos para este fin (Comisión Nacional del Agua, 2016).

También la Conagua (2014) tiene un Programa Nacional para Captación de Agua de Lluvia y Ecotecnias en Zonas Rurales (Procaptar) en el que cuenta con los siguientes documentos:

- *Lineamientos técnicos:* sistema de captación de agua de lluvia con fines de abasto de agua potable a nivel vivienda.
- *Lineamientos técnicos:* sistema de tratamiento de aguas residuales a nivel vivienda en zona rural.
- Localidades factibles de recibir subsidio de Procaptar para 2016.
- Localidades con lluvias mayores a 1,500 mm que pueden ser factibles de aplicar sistemas de captación de agua de lluvia.
- Localidades con lluvias menores a 1,500 mm que pueden ser factibles de aplicar sistemas de captación de agua de lluvia (A).
- Localidades con lluvias menores a 1,500 mm que pueden ser factibles de aplicar sistemas de captación de agua de lluvia (B).

- Localidades con lluvias menores a 1,500 mm que pueden ser factibles de aplicar sistemas de captación de agua de lluvia (C).

En la *Ley de Aguas del Distrito Federal* (2003) menciona en sus artículos el aprovechamiento de la captación del agua de lluvia para la recarga de los mantos acuíferos, así como también la promoción de la captación de este recurso en zonas urbanas y rurales para el uso del mismo.

En la NMX-AA-164-SCF1-2013 uno de los parámetros para la sustentabilidad es la captación de agua de lluvia; en el apéndice informativo 9 expone el método para el cálculo del agua de lluvia susceptible a captar (Secretaría de Economía, 2013).

CONCLUSIONES

Como se expuso en diferentes partes del presente trabajo, más del 50% del territorio nacional es considerado zona árida o semiárida, siendo la más representativa la denominada el desierto chihuahuense, por lo que en este aspecto es necesario realizar investigaciones enfocadas en este desierto, las cuales servirán para generar información que puede ser aplicada y replicada en el mismo.

También se pudo constatar que existe información suficiente sobre los sistemas pasivos y activos de captación, así como las diferentes estrategias que componen cada uno, así como en algunos casos las ventajas y desventajas de su utilización. De igual forma fueron abordados conceptos necesarios para el entendimiento y desarrollo del tema.

También puede identificarse cómo a nivel internacional ya se pone en práctica la utilización de esta tecnología como una forma de solución factible al problema de escasez de agua y para otros, solventando la problemática de la contaminación del agua, como el hidroarcanicismo, como ocurre en Bangladesh.

A nivel regional la FAO evidencia la necesidad de la captación de este recurso teniendo en cuenta

los efectos que pueden provocar en este sentido el calentamiento global y el cambio climático, enumerando los posibles cambios a los ciclos hidrológicos. También ya existe un manual de captación para zonas áridas y semiáridas de América Latina desarrollado por especialistas de Brasil, Guatemala, Chile, México, Perú y Argentina.

México no es la excepción en lo que se refiere a la captación de agua de lluvia para la utilización en zonas agrícolas, rurales y urbanas. Ya existen algunos estudios sobre la captación de agua de lluvia para el desierto chihuahuense en donde este tipo de captación es una opción viable para atacar el problema de escasez que sufren comunidades rurales, marginadas y otras en las que el acceso al agua sólo puede ser por medio de la lluvia. Estos estudios se han realizado como proyecto específico para una comunidad o analizando el costo-beneficio, en donde hasta ahora la captación de agua de lluvia se perfila como una solución sustentable al uso eficiente del agua, como es el caso de los municipios de Bermejillo y Mapimí, Durango, y el municipio de Mazapil, Zacatecas.

Para captar agua de lluvia para uso doméstico lo más conveniente es implementar un sistema de captación en techos, para lo cual es importante tener en cuenta que el área de la captación del techo es directamente proporcional a la cantidad de agua que se captará. Por lo que entre mayor sea la o las superficies de captación, mayor será la cantidad de agua de lluvia captada. Y también es importante tener presente que esta superficie destinada para captación debe recibir mantenimiento y limpieza para mejorar la calidad del agua captada.

En cuanto al sistema de tratamiento, éste depende del uso final que se le dará al agua; así, para poder obtener agua de consumo humano se requiere de tratamiento más complejo, en comparación con el agua que se puede usar para regar el jardín o para el uso sanitario, que no requieren de calidad alguna.

Se considera importante evidenciar que en lo que se refiere a la captación de agua de lluvia en zonas áridas y semiáridas, aún queda campo de

investigación y experimentación, sobre todo en cuanto a la captación con fines domésticos, como estrategia de uso sustentable en la vivienda de estas zonas que presentan déficit y escasez de agua. Ya que en algunos casos ésta puede representar un medio de acceso al vital líquido, como también ser una solución sostenible como una estrategia para el uso eficiente del agua o a problemas de hidroarcanicismo.

Dada la situación del cambio climático, los periodos de sequía y lluvias erráticas serán aún más críticos, por lo que es importante tomar en cuenta que implementar la estrategia de la captación de agua de lluvia representa una estrategia de resiliencia no sólo para la agricultura, como ya se hace, sino también para abastecer las necesidades de las viviendas en zonas áridas y semiáridas.

Es importante continuar realizando estudios sobre la captación de agua de lluvia y la viabilidad económica, ecológica y social de la misma, así como la difusión de esta información al público en general para incentivar, viabilizar e implementar con éxito la captación de agua de lluvia en zonas áridas y semiáridas y pueda ser considerada como una fuente asequible y segura para suplir las necesidades de este recurso.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdulla, F. A., y Al-Shareef, A. W. (2009). Roof rainwater harvesting systems for household water supply in Jordan. *Desalination*, 243(1-3): 195-207. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2008.05.013>
- Active Water Harvesting. (2013). Recuperado en mayo 16 de 2018, de: [https://wrrc.arizona.edu/sites/wrrc.arizona.edu/files/Quick Resource-Active WH %28final%29.pdf](https://wrrc.arizona.edu/sites/wrrc.arizona.edu/files/Quick%20Resource-Active%20WH%20final%29.pdf)
- Adler, I., Carmona, G., y Bojalil, J. A. (2008). *Manual de captación de aguas de lluvia para centros urbanos*.
- Aguel Dal Cil. (2010). *Manual de construcción de cisternas para el agua*. <http://ecotec.unam.mx/Ecotec/wp-content/uploads/ManualDeConstruccion.pdf>. Consulta: 23/05/2018.
- Anaya Garduño, D. M. (2008). *Objetivos y logros del Centro Internacional de Demostración y Capacitación en Aprovechamiento del Agua de Lluvia Cidecalli*, pp. 4-7.
- Anaya, M., y Trejo, J. (1998). *Sistema de captación de agua de lluvia para uso doméstico en América Latina y el Caribe*. México.
- Arias, J. (1979). *Cartilla núm. 2: Sistema de captación y almacenamiento del agua pluvial*. México: SAHOP-Dirección General de Ecología Urbana.
- Arroyo Arroyo, J. (2013). *Captación y aprovechamiento de agua pluvial en vivienda urbana de la Ciudad de México*. México: UNAM.
- Arroyo-Zambrano, T. (2010). *Colección de agua pluvial como medida para el aprovechamiento sustentable de la energía*. México: UNAM.
- Brown, C., Gerston, J., y Colley, S. (2005). *Manual of Rainwater Harvesting or Collection*. Austin, Texas.
- CEPIS/OPS. (2003). *Especificaciones técnicas. Captación de agua de lluvia para consumo humano*. Lima, Perú.
- . (2004). *Guía de diseño para captación del agua de lluvia*. Lima, Perú.
- Chacón-Nava, J., López-Mejía, E., y Mendoza-Herrera, S. (2011). *CAP dispositivo cosechador de aguas pluviales*. Tesis de Licenciatura en Diseño Industrial. México: UNAM-Facultad de Arquitectura.
- Chiu, Y., Liaw, C., y Chen, L. (2009). Optimizing Rainwater Harvesting Systems as an Innovative Approach to Saving Energy in Hilly Communities. *Renewable Energy*, núm. 34, pp. 492-498.
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (2012). *Atlas del agua en México 2012*. <http://doi.org/ISBN:978-607-8246-29-8>.
- . (2014). Programa Nacional Hídrico 2014-2018. *Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018 del Gobierno de la República*, p. 139. <https://doi.org/10.1017/cbo9781107415324.004>
- . (2015). *Atlas del agua en México*. <https://doi.org/ISBN:978-607-8246-29-8>.
- . (2016). *Normas Oficiales Mexicanas (NOM)*. México: Comisión Nacional del Agua. <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/normas-oficiales-mexicanas-nom-83264>
- . (2017). *Programa Nacional para Captación de Agua de Lluvia y Ecotecnias en Zonas Rurales (Procaptar)*. <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/programa-nacional-para-captacion-de-agua-de-lluvia-y-ecotecnias-en-zonas-rurales-procaptar>

- Conafor. (2012). *Sistema de captación, almacenamiento y purificación de agua de lluvia*. <http://www.conafor.gob.mx/biblioteca/captacion%20de%20agua%20de%20lluvia%20y%20biofiltro.pdf>
- Dillaha, T. A., y Zolan, W. J. (1985). Rainwater Catchment Water Quality in Micronesia. *Water Research*, 19(6): 741-746.
- FAO. (2000). *Manual de captación y aprovechamiento del agua de lluvia: Experiencias en América Latina*. Serie Zonas Áridas y Semiáridas. Santiago de Chile.
- . (2013). *Captación y almacenamiento de agua de lluvia. Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe*. Recuperado de: <http://www.fao.org/docrep/019/i3247s/i3247s.pdf>
- Fernández-Badillo, L. (2013). *Patrones de distribución de las lagartijas y las serpientes en los desiertos mexicanos*.
- Frost, A. (2011). *Antecedentes de la captación de agua de lluvia*. Recuperado de: http://www.agua.unam.mx/assets/pdfs/eventos/aguadel-luvia11_1_albertofrost.pdf
- García Velazquez, J. H. (2012). *Sistema de captación y aprovechamiento pluvial para un ecobarrio de la Ciudad de México 2012*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gleason, A. (2005). *Manual de aprovechamiento de aguas pluviales en centros urbanos*. México: Universidad de Guadalajara-Centro Universitario de Arte, Arquitectura y Diseño.
- Gobierno del Distrito Federal. (2003). Ley de Aguas del Distrito Federal. *Gaceta Oficial del Distrito Federal*, núm. 57. <http://www.aldf.gob.mx/archivo-doc/ac48ef930701568a2cbd52e7d29e.pdf>
- Gould, J., y Nissen-Petersen, E. (1999). *Rainwater Catchment Systems for Domestic Supply: Design, Construction and Implementation*. Estados Unidos: Action Publishing, p. 33.
- Grinvin. (2012). *Proyecto de desarrollo integral en comunidades marginadas del municipio de Mazapil, Zacatecas*. Bermejillo, Durango: UACH-Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas.
- IDRC. (1990). Sistema para recolección de agua de lluvia. *El IDRC Informa*, 18(4): 20-21. Canadá. Disponible en: <https://idl-bnc-idrc.dspacedirect.org/handle/10625/25094>. Fecha de consulta: 21/05/2018.
- IMTA. (2003). *Aspectos relevantes de la política del agua en México, en el marco de desarrollo sustentable*. México, DF.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2007). Abstract for Policymakers. En: Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor, y H. L. Miller (eds.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, Reino Unido/Nueva York: Cambridge University Press.
- Isla Urbana. (s/f). *Separador de primeras lluvias*. Ciudad de México.
- . (s/f). Recuperado de: <http://islaurbana.mx/wp-content/uploads/2017/05/ficha-tecnica-tlaloque.pdf>
- Kaufman, D. G., y Franz, C. M. (2000). *Biosphere 2000: Protecting our Global Environment*. Nueva York: Harper Collins College Publisher, p. 12.
- Kenya Rain Water Association. (s/f). Recuperado de: <http://www.kenyarainwater.org/>. Fecha acceso: 23/05/2018.
- Kinkade-Levario, H. (2007). *Design for Water*. Estados Unidos: New Society Publishers, p. 39.
- Li, X., Xie, Z., y Yan, X. (2004). Runoff Characteristics of Artificial Catchment Materials for Rainwater Harvesting in the Semiarid Regions of China. *Agricultural Water Management*, núm. 65, pp. 211-224.
- Loredo, C., Libro, O., y Num, T. (2005). *Prácticas para la conservación del suelo y agua en zonas áridas y semiáridas*, p. 187. <https://doi.org/10.1016/j.cirne.2005.05.002>
- Martinson, B., y Thomas, T. (2005). Quantifying the first-flush phenomenon. *12th International Rainwater Catchment Systems Conference*, nov. 2005, Nueva Delhi, India.
- Mechell, J., Kniffen, B., Lesikar, B., Kingman, D., Jaber, F., Alexander, R., y Clayton, B. (2010). *Rainwater Harvesting: System Planning*. Texas AgriLife Extension.
- Meera, V., y Mansoor Ahammed, M. (2006). Water Quality of Rooftop Rainwater Harvesting Systems: A Review. *Journal of Water Supply: Research and Technology-AQUA*, núm. XX.
- Millán, D. (2001). El agua en México. Un problema de distribución. *Reforma*, domingo 11 de marzo, p. 4a.

- Ojeda Solís, A. (2003). *Agua y vida: Para saciar la sed de desarrollo*. México: Universidad de Guadalajara.
- Pacheco, M. (2008). *Avances en la gestión integral del agua lluvia (GIALL): Contribuciones al consumo sostenible del agua, el caso de "Lluviatl" en México*. Recuperado de: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/7060/pacheco.pdf>
- Pedroza, A. S., Chávez J., A. R., Trejo, R. C., y Ruiz, J. T. (2014). Sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL) y bioproductividad en comunidades. *ResearchGate*, núm. 25, noviembre.
- Pedroza, A. S., Ruiz, T. J., y Alaniz, F. I. (Ed.). (1998). *Desarrollo rural sustentable. Experiencias, enfoques y perspectivas*. Gómez Palacio, Durango: Hería Impresores.
- Peraza-Gómez, V. (2011). *Sistema de captación de agua pluvial dentro de la ESIME Culhuacan*. Tesis de Ingeniería Mecánica. Instituto Politécnico Nacional. <https://doi.org/>
- Reséndiz Hernández, R. (2012). *Universidad Nacional Autónoma de México*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ruiz, J., Trejo, R., Pedroza, A., y Vargas, A. (2006) Análisis del beneficio-costo en la captación agua de lluvia en el CAIS-URUZA-UACH, México. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, V(2): 173-178. México: Universidad Autónoma Chapingo Durango.
- Szakly, E., Alexopoulos, A., y Leotsinidis, M. (2007). Rainwater Harvesting, Quality Assessment and Utilization in Kefalonia Island, Greece. *Water Research*, núm. 41, pp. 2039-2047.
- Secretaría de Economía. (2013). Norma Mexicana NMX-AA-164-SCFI-2013 Edificación Sustentable: Criterios y requerimientos ambientales mínimos. *Diario Oficial de la Federación*, núm. 158. http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5312875&fecha=04/09/2013
- Sehgal, J. D. (2008). Roof-top Harvesting of Rainwater —A sustainable Water Resource in S. E. Asia. *4th International Conference on Sustainable Water Environment: Innovative Technologies and Energy Efficient Solution*. Singapur, 17-19 de noviembre.
- Song, J., Han, M., Kim, T., y Song, J. (2010). Rainwater Harvesting as a Sustainable Water Supply Option in Banda Aceh. *Desalination*, núm. 251, pp. 233-240.
- Texas Water Development Board. (2005). *The Texas Manual of Rainwater Harvesting*. Austin, Texas. Recuperado de: http://www.twdb.texas.gov/publications/brochures/conservation/doc/RainwaterHarvestingManual_3rdedition.pdf
- The Lady Bird Johnson Wildflower Center. (s/f). *Rainwater Harvesting*. Estados Unidos: The University of Texas at Austin.
- Treviño Arjona, B., y Cázares Rivera, E. (1999). Contaminación del agua. En: Cházaro L., S. (Coord.), *Uso sustentable del agua en México. Reto de nuestro tiempo*. México, pp. 135-158.
- Ulacia, R. B. (2014). Sistemas de captación de agua de lluvia. *Impluvium, Periódico Digital de Divulgación de La Red Del Agua UNAM*, núm. 1, p. 41.
- Zhu, K., Zhang, L., Hart, W., Liu, M., y Chen, H. (2004). Quality Issues in Harvested Rainwater in Arid and Semi-arid Loess Plateau of Northern China. *Journal of Arid Environments*, núm. 57, pp. 487-505.