

# Tlamati Sabiduría



## Sistemas de captación de agua de lluvia: Una alternativa viable para la escasez de agua

Blanca Itzany Rivera-Vázquez<sup>1</sup>  
Edith R. Salcedo-Sánchez<sup>2\*</sup>  
Juan Manuel Esquivel-Martínez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Maestría en Recursos Naturales y Ecología. Facultad de Ecología Marina, Universidad Autónoma de Guerrero. Av. Gran Vía Tropical 20, Fraccionamiento Las Playas, 39390, Acapulco, Guerrero, México

<sup>2\*</sup> CONACYT – UAGro. Escuela Superior de Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de Guerrero. Ex-hacienda de San Juan Bautista s/n, 40323, Taxco el Viejo, Guerrero, México

\*Autor de correspondencia

[ersalcedo@conacyt.mx](mailto:ersalcedo@conacyt.mx)

[edithsalcedos@gmail.com](mailto:edithsalcedos@gmail.com)

### Resumen

La urbanización, el aumento poblacional, el desarrollo industrial, el cambio climático y la contaminación han provocado diferentes cambios en la disponibilidad de los recursos hídricos, una de las consecuencias más tangibles son las sequías extremas y la escasez. En diferentes partes del mundo, la población no cuenta con el agua necesaria para mantener un nivel de vida aceptable, no solo la disponibilidad del agua puede reducir la calidad de vida, sino también la mala calidad del agua y su saneamiento irregular. Ante la escasez de agua a nivel mundial, se han buscado alternativas de abastecimiento de este líquido agua que aseguren la sustentabilidad del recurso. Los sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL) se han consolidado como una fuente alterna de abastecimiento que puede hacer frente a la problemática de escasez del agua, reducen más del 40% del consumo humano de agua en un hogar. Los SCALL que se han empleado en diferentes épocas y lugares del mundo son una alternativa poderosa, de fácil acceso y bajo costo, nulo consumo energético y, lo más importante, que su utilidad no solo se limita al uso o consumo humano sino que constituyen también una fuente de abastecimiento para el uso pecuario y agrícola en zonas rurales, además de ser muy útil en ciudades con falta de fuentes de suministro o de acceso restringido.

**Palabras clave:** Escasez de agua, lluvia, SCALL

### Como citar el artículo:

Rivera-Vázquez, B.I., Salcedo-Sánchez, E.R., Esquivel-Martínez, J.M. (2022). Sistemas de captación de agua de lluvia: Una alternativa viable para la escasez de agua. *Tlamati Sabiduría*, 13, 82-99.

## Abstract

Urbanization, population growth, industrial development, climate change and pollution have caused different changes in the availability of water resources, some of the most tangible consequences are extreme droughts and scarcity. In different parts of the world, the population does not have the enough water to maintain an acceptable standard of living. Not only does availability reduce the quality of life, but also poor water quality and irregular sanitation seriously affect the health status of the population. In the face of water scarcity worldwide, water supply alternatives have been sought to ensure the sustainability of the resource. Rainwater harvesting systems have been consolidated as an alternative source of supply that can address the problem of water scarcity, reducing more than 40% of the water consumption in a household. The SCALL have been used in different times and places around the world and are a powerful alternative, easily accessible and cost-effective, zero energy consumption and most importantly, their usefulness is not only limited to human use or consumption but also constitute a source of supply for livestock and agricultural use in rural areas, as well as useful in cities with a lack of or restricted access to supply sources.

**Keywords:** Water scarcity, rainfall, SCALL

## Introducción

El agua es uno de los recursos naturales más importantes para los seres vivos y un factor clave para el desarrollo sostenible de la población (Shadeed *et al.*, 2019). Actualmente, la urbanización, el aumento poblacional, el cambio climático y la contaminación han provocado escasez de agua en muchas partes del mundo (Yannopoulos *et al.*, 2019). En los últimos años, varios países como Israel, Líbano, Irán, Emiratos Árabes Unidos, India, Arabia Saudita y México han enfrentado graves problemas relacionados con la escasez de agua y este problema se agravará en las próximas tres décadas (Lucio *et al.*, 2020; Semaan *et al.*, 2020; Chunyang *et al.*, 2021). Alrededor de 700 millones de personas en el mundo sufren escasez y se estima que la demanda del agua para uso doméstico e industrial aumentará entre un 50% y un 80% durante las próximas décadas (Garrick *et al.*, 2019). Por lo tanto, es crucial que la gestión del agua explore nuevas fuentes de abastecimiento que sean seguras y sostenibles, principalmente en aquellos lugares en donde los sistemas de abastecimiento son deficientes o inexistentes (Rajasekhar *et al.*, 2020).

Una alternativa viable y segura de acceso a este elemento líquido, es la captación de agua de lluvia (Musayev *et al.*, 2018; Tellman *et al.*, 2019; Zang *et al.*, 2021). La captación de agua de lluvia se considera una fuente alterna de abastecimiento en

lugares donde ocurre media y alta precipitación (500 mm o más al año). Además, se considera que pueden proporcionar agua segura, accesible y asequible para beber, para el uso doméstico y para la industria. Estos sistemas antiguos han resurgido para aumentar la resiliencia de las sociedades frente a los problemas de acceso al agua en zonas urbanas o rurales (Barbosa *et al.*, 2019; Sayl *et al.*, 2020; Khanal *et al.*, 2020; Rajasekhar *et al.*, 2020; Quinn *et al.*, 2020).

Los sistemas de captación de agua de lluvia permiten coleccionar, conducir y almacenar en diferentes espacios y/o áreas habilitadas para este fin (Agnieszka *et al.*, 2019; Torres, 2019; Quinn *et al.*, 2020). Estos sistemas comúnmente llamados SCALL son utilizados intensivamente en muchas zonas como resultado de la necesidad de cubrir la demanda de agua (Freni *et al.*, 2019; Abdulla, 2020; Zabidi *et al.*, 2020). Los SCALL son una alternativa de bajo costo y son considerados sistemas amigables con el medio ambiente porque el consumo de energía eléctrica es nulo o muy bajo. Además, el agua captada puede almacenarse por largos periodos de tiempo y utilizarse en cualquier época del año (Staddon *et al.*, 2018; Semaan *et al.*, 2020). La estructura los SCALL varía conforme a las condiciones climáticas del lugar, la demanda de los consumidores y la calidad del agua de lluvia (Kucukkaya *et al.*, 2020).

Considerando la actual problemática de la escasez del agua como base para el desarrollo sostenible para las generaciones actuales y futuras, en el presente trabajo se propone un análisis general y uso potencial de los SCALL. Se incluyen los aspectos relevantes asociados a la problemática del agua, historia, utilización y relevancia mundial, tipos e impacto en distintas áreas, ventajas y desventajas, y por último el análisis de costo-beneficio para encontrar las bases en futuros estudios relacionados con la captación de agua de lluvia.

## **Materiales y métodos**

Se realizó una búsqueda exhaustiva de investigaciones sobre la problemática mundial del agua, información general y casos donde se aplican los SCALL. A partir del análisis detallado de la información existente de los SCALL se presentan los fundamentos, aplicabilidad y utilización en el mundo. Además, se describen las ventajas, desventajas y un análisis de costo-beneficio.

## **Resultados**

### *Problemática del agua a nivel mundial y en México*

La escasez de agua afecta a más del 40% de la población mundial y se estima que una de cada tres personas no tiene acceso a agua potable en el mundo (UNESCO, 2018). En África, dos de cada tres habitantes (300 millones de personas) no tienen acceso a agua potable; mientras que en América Latina y el Caribe, 106 millones de personas no cuentan con agua suficiente y saneamiento adecuado. Entre las principales causas de la escasez se encuentra la contaminación de cuerpos de agua, sequías debido al cambio climático y el uso descontrolado del agua tanto a gran escala como a pequeña escala (casas) (ACNUR, 2019) ya que el crecimiento de la población y el desarrollo económico están impulsando la creciente demanda de agua en todo el mundo. La escasez de agua a nivel mundial es un problema que produce consecuencias tales como hambre, pérdida de cosechas, desaparición de especies de flora y fauna, conflictos y enfermedades gastrointestinales, algunas de ellas mortales, afectando a la salud de la población.

Como promedio, los niños menores de 5 años tienen 20 veces más probabilidades de morir a causa de enfermedades diarreicas relacionadas con el agua, saneamiento e higiene, mientras que los niños menores de 15 años tienen 3 veces más probabilidades de morir por estas causas (UNICEF, 2019). La falta de agua es una de las principales problemáticas a nivel mundial, además de que su uso se ha multiplicado por seis en los últimos 100 años y sigue aumentando a un ritmo constante del 1% (ONU, 2020) (Figura 1).

México es uno de los 25 países del mundo que enfrenta un mayor estrés hídrico, conforme el Instituto de Recursos Mundiales (WRI, 2019). Su nivel de estrés hídrico es alto, lo que significa que cada año se extrae alrededor del 40% del agua disponible para los distintos usos (ONU, 2020). Diferentes zonas del país se enfrentan a la falta de agua y a la sequía, y se prevé que esta tendencia se agudice en los siguientes años. CONAGUA (2022) reportó que, a marzo del presente año, la prevalencia de la sequía llegó a un nivel de 68.9%, el área con sequía de moderada a excepcional fue de 30.4% a nivel nacional, 7.3% mayor que lo cuantificado en años anteriores (Arreguín *et al.*, 2020). La escasez del agua en México está relacionada con el cambio climático y la sequía que ha generado carencia en muchas partes del país; la mala distribución del recurso que provoca el acceso inequitativo, la contaminación de las fuentes de agua superficiales y subterráneas por las diferentes actividades antropogénicas que limitan su uso por la mala calidad, y sobre todo, la falta de gestión y manejo inadecuado de los recursos hídricos son algunos de los muchos factores que influyen en la carencia de agua (Arreguín *et al.*, 2020).

Los cambios en la disponibilidad del agua serán muy variables en cada región (Figura 2). En términos de agua dulce, se prevé que se reduzca el agua renovable superficial y subterránea (disponibilidad), lo que genera mayor demanda entre usuarios. Los efectos del cambio climático se acentuarán en las zonas con rápidos procesos de urbanización, sin dejar de lado los impactos en el medio rural por la disponibilidad del agua (CONAGUA, 2018).

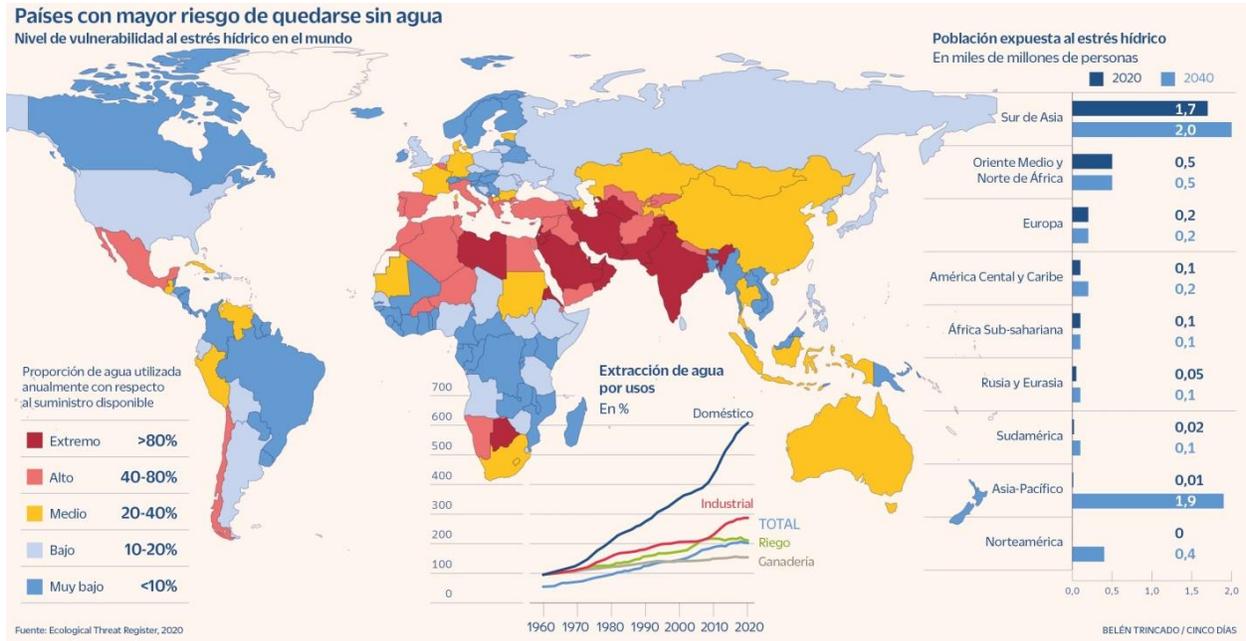


Figura 1. Estrés hídrico en el mundo (tomado de: Institute for Economics and Peace, 2020).

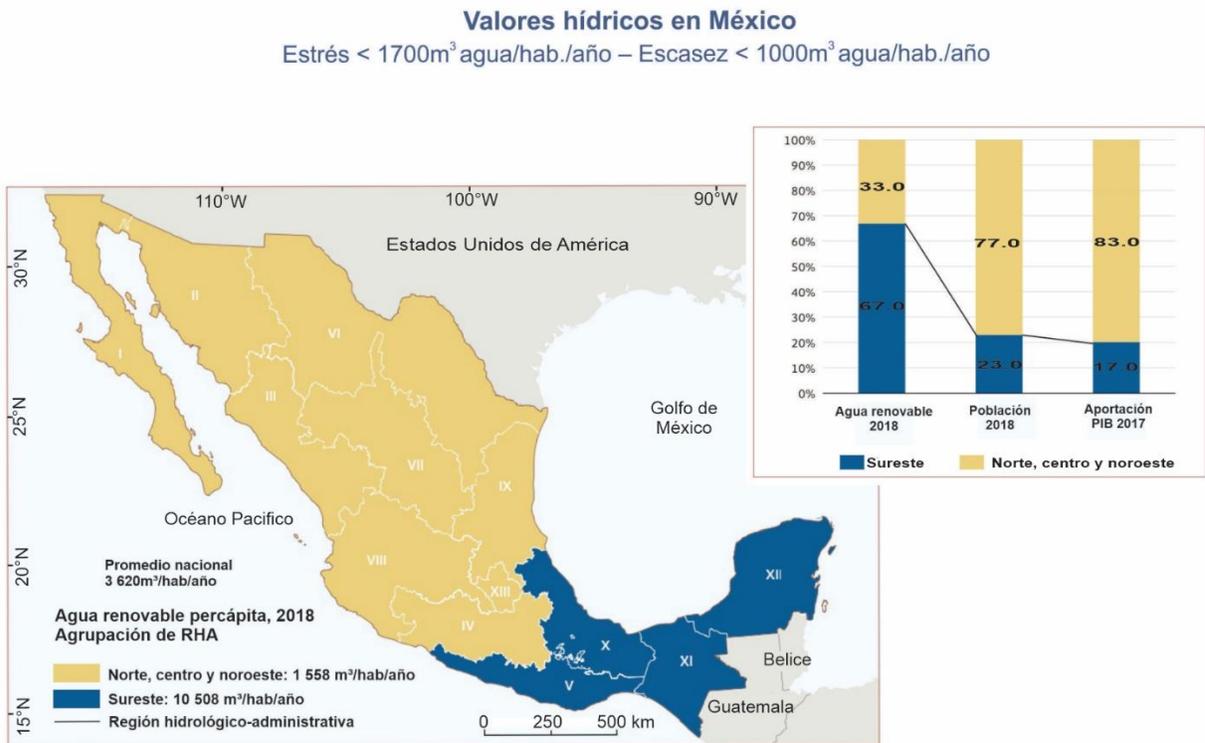


Figura 2. Disponibilidad del agua por regiones en México (tomado de: Conagua, 2019).

### *Antecedentes del desarrollo histórico de los SCALL*

El ser humano ha aprovechado el agua de lluvia como su principal fuente de abastecimiento desde tiempos muy antiguos. Los hallazgos arqueológicos en diferentes partes del mundo han demostrado que desde la antigüedad las personas satisfacían sus necesidades de agua de uso doméstico, agricultura o ganadería recolectando y almacenando agua de lluvia en cavidades en el suelo. Se piensa que el agua de lluvia fue la principal fuente de agua para usos potables y no potables, por lo que su recolección fue de suma importancia para la supervivencia de antiguas civilizaciones (Yannopoulos *et al.*, 2019). Aunque no se sabe con exactitud el origen de los SCALL, se considera que estas prácticas provienen de las primeras civilizaciones del medio oriente, puesto que se han encontrado sistemas que tienen más de cuatro mil años de antigüedad, como son los sistemas encontrados en el Desierto de Negev, en Israel y Jordania (Figura 3).

En lo que respecta a América Latina y el Caribe, se tienen registros de que desde el siglo X A.C. se practicaba la recolección de agua de lluvia para diferentes usos (Suárez *et al.*, 2006), donde la recolección del agua proveniente de los techos se almacenaba en cisternas, jagüeyes y aljibes (Torres, 2019). Por ejemplo, el imperio maya recolectaba agua de lluvia a través de cisternas excavadas en el subsuelo llamadas “Chultunes” (Figura 4), que tenían un diámetro de 5 m y se



Figura 3. Sistema de captación de agua de lluvia en Yemen (tomado de Jiménez, 2017).

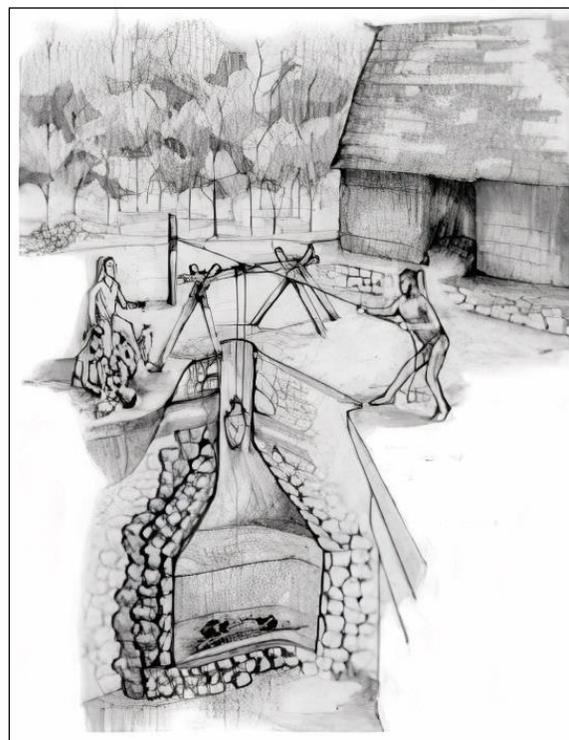


Figura 4. Chultún Maya (tomado de Torres, 2019).

se revestían con yeso para impermeabilizarlas. Además, se empleaba un sistema de depósitos, canales y diques para administrar el agua de lluvia para el periodo de estiaje. En Campeche, los pobladores precolombinos de esta ciudad, construyeron un canal de casi 50 m de ancho y de 1 m de profundidad para aprovechar el agua de lluvia en los cultivos y el consumo humano (Ballén *et al.*, 2006).

A partir del siglo XIX y XX, con el crecimiento de las ciudades se solucionó el suministro de agua a la población por medio de la acumulación de agua superficial en presas de almacenamiento o mediante pozos, norias y manantiales (agua subterránea) para luego ser distribuida por una red centralizada de suministro a las poblaciones. Actualmente, el crecimiento acelerado de la población mundial está ejerciendo presión sobre la disponibilidad del agua, y como fuente alternativa existe el interés por implementar sistemas de captación del agua de lluvia a nivel rural y urbano.

### *Utilización de los SCALL*

La implementación de los SCALL se han extendido rápidamente por todo el mundo (Freni y Liuzzo, 2019; Abdulla, 2020; Zabidi *et al.*, 2020), debido a que las características del agua de lluvia la hacen utilizable para diferentes usos. Así, en las últimas décadas en diferentes regiones del planeta se han realizado algunas prácticas, como se muestra a continuación:

#### *África*

En los países africanos, los sistemas de recolección de agua de lluvia se están utilizando con mayor frecuencia. Sin embargo, a pesar de la rápida expansión de estos sistemas, el progreso es lento debido a los siguientes factores: (a) la escasez de precipitaciones y su carácter estacional, (b) el pequeño número y tamaño de los techos impermeables, (c) el alto costo de construcción de sistemas de captación en relación con los ingresos típicos de los hogares, (d) la falta de cemento y arena pura en algunas partes de África, y (e) la falta de agua suficiente para la industria de la construcción, lo que supone una carga para el costo total. Sin embargo, los SCALL se están expandiendo cada vez más en África con trabajos en Botswana, Malí, Malawi, Sudáfrica, Namibia, Zimbabue, Tanzania, entre los más relevantes (Yannopoluos *et al.*, 2019).

#### *Asia*

Los SCALL en el continente asiático se usan principalmente para complementar los sistemas convencionales para fines de agua no potable, como riego, lavado de ropa y descarga de inodoros (Yannopoulos *et al.*, 2019).

##### *a) China*

El creciente interés por los SCALL se inició en la década de 1980 debido a las sequías generalizadas de esa década, que fueron seguidas por una grave escasez de agua potable y malas cosechas. La práctica y la utilización de los SCALL se aplican principalmente en áreas con los siguientes tipos de escasez de agua: (a) en áreas con escasez de agua como Gansu y el centro de Ningxia; (b) en áreas con déficit hídrico estacional, como Fujian, Guizhou y otras áreas montañosas; (c) en áreas con déficit hídrico, con dificultad de explotación (zonas montañosas del

suroeste del país); (d) en áreas con escasez de agua y agua de mala calidad, por ejemplo, agua salobre, agua con fluoruro y agua con alto contenido de arsénico (Yannopoluos *et al.*, 2019).

##### *b) Singapur*

Singapur tiene un terreno limitado y donde la mayoría de la gente vive en edificios de gran altura, la recolección de agua de lluvia en los techos es una práctica generalizada. El agua recolectada se mantiene en cisternas de techo separadas para usos no potables. El aeropuerto de Changi tiene un gran sistema de recolección de agua de lluvia de sus pistas y las áreas verdes circundantes tienen dos depósitos. El agua se utiliza principalmente para simulacros de extinción de incendios y descarga de inodoros (UNEP, 2013).

##### *c) Filipinas*

El Congreso de Filipinas aprobó una ley en 1989 que obligaba a cada una de las 42 000 aldeas del país a construir colectores de agua de lluvia o estanques principalmente para uso acuícola, así como para minimizar el riesgo de inundaciones, para proporcionar agua a las zonas ribereñas con vegetación y pequeños parques, y para recargar las aguas subterráneas muy agotadas (Oposa, 2009).

##### *d) Tailandia*

Tailandia tiene el volumen per cápita de agua dulce más bajo de Asia, la recolección de agua de lluvia ofrece una importante alternativa de suministro. Las "tinajas de lluvia" recipientes de hasta 3 000 litros que recogen agua de los techos siempre han sido parte de su cultura. En las zonas rurales del noreste de Tailandia, "una casa no era una casa a menos que tuviera una enorme jarra de agua de lluvia" (Tigno, 2007).

##### *e) Japón*

Japón es uno de los países desarrollados de Asia que tiene un fuerte intercambio internacional de experiencias en el uso de SCALL. En el año 2015 entró en vigor una ley en la cual se establece que los municipios están obligados a utilizar el agua de lluvia, el gobierno japonés sobre la base de la ley anterior, aprobó el uso de los SCALL en edificios de nueva construcción por parte del

gobierno estatal o agencias administrativas incorporadas. Actualmente, hay aproximadamente 2 800 sistemas de recolección de agua de lluvia a gran escala (Yannopoulos *et al.*, 2019).

#### *f) Bangladesh*

Desde 1977, se han instalado cerca de 1 000 SCALL por Organizaciones No Gubernamentales (ONG's), utilizando tanques de concreto reforzado y de mampostería (Kisakye y Bruggen, 2018).

#### *g) India*

La recolección de agua de lluvia se practica desde hace más de 4 000 años. Es básicamente un proceso simple de acumulación y almacenamiento de agua de lluvia. Los SCALL desde la antigüedad se han aplicado como suministro de agua potable, agua para riego y agua para la ganadería. Algunas de las metodologías más familiares de recolección y gestión de agua de lluvia urbana son: recolección de escorrentía superficial, recolección de agua de lluvia en azoteas y pozos de recarga (NK realtors, 2019).

#### *h) Australia*

En las ciudades australianas los SCALL más populares son los urbanos, se utilizan para complementar el sistema principal de agua, mientras que muchas comunidades rurales y periurbanas dependen de estos sistemas. El 30% de los australianos rurales usan SCALL, mientras que el 7% usa SCALL en las ciudades capitales. Alrededor del 13% de todos los hogares australianos utilizan sistemas SCALL como fuente principal de agua potable (Coombes, 2012).

Las autoridades locales de toda Australia alientan el uso de sistemas de captación en áreas urbanas para complementar el suministro principal y gestionar la escorrentía de aguas pluviales urbanas. Por esta razón, en el estado australiano se han adoptado una amplia gama de políticas, incluidos subsidios y subvenciones, para proporcionar la instalación de depósitos de agua de lluvia en viviendas. Estos incentivos varían de un estado a otro, dependiendo del tamaño del depósito de agua y el propósito de usar el agua recolectada (Yannopoulos *et al.*, 2019).

### *América*

#### *a) Canadá*

La mayoría de los SCALL son en áreas rurales, donde no hay acceso a sistemas centrales de abastecimiento público de agua. En las ciudades, la mayoría de los casos se relacionan con edificios que han sido certificados según uno de los sistemas de calificación de edificios verdes, en el que la reutilización del agua de lluvia y la reducción de escurrimiento fueron tomados en cuenta (CMHC, 2013).

#### *b) Estados Unidos*

Desde 2004, se ha estimado que alrededor de 100 000 SCALL residenciales estaban en uso en este país. Algunos estados consideran la recolección de agua de lluvia como una práctica para proteger los recursos hídricos, así como para incrementar el volumen disponible de agua para uso potable. Sin embargo, a pesar de que el uso principal del agua de lluvia recolectada es para el riego de jardines, inodoros, etc., hay un gran número de sistemas que también sirven para usos en interiores (TWDB, 2005).

En varios países de América Latina (Argentina, Brasil, Costa Rica, Chile, México y Perú) se aplica la práctica de SCALL de techos para consumo doméstico, mientras que en las zonas semiáridas de Argentina, Brasil y Venezuela, para la recolección de escorrentía se utilizan caminos con zanjas de drenaje y cunetas en las calles, desde donde se transfiere el agua a las áreas cultivadas para el riego (Yannopoulos *et al.*, 2019).

#### *c) México*

La práctica de SCALL se aplica en varios estados del país, como el Estado de México, Guanajuato, Querétaro, Michoacán, Morelos, Zacatecas, San Luis Potosí y otros. En las zonas rurales del país predomina el uso de SCALL, mientras que en las zonas urbanas se utiliza principalmente para saneamiento, riego y limpieza. El uso potable se acepta en algunas escuelas primarias principalmente en el Estado de México, Ciudad de México y Jalisco (Fuentes *et al.*, 2018).

Varias organizaciones ONGs e instituciones académicas y gubernamentales se han interesado en el desarrollo y puesta en marcha de los

SCALL, entre estas se encuentra Isla Urbana, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), Instituto Politécnico Nacional (IPN), Centro Internacional de Demostración y Capacitación en Aprovechamiento del Agua de Lluvia (CIDECALLI) y Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (Isla Urbana, 2021; CONAGUA, 2016; IMTA, 2009, 2012; Herrera, 2010; CIDECALLI, 2008).

1. Isla Urbana: se ha dedicado a diseñar e instalar SCALL, enfocando sus esfuerzos en comunidades de bajos recursos. Desde su inicio hasta junio de 2019, se han instalado un aproximado de 12 700 SCALL principalmente en la CDMX.

2. El IMTA ha adaptado tecnología SCALL en comunidades rurales para la captación y potabilización de aguas pluviales para uso y consumo humano.

3. El IPN ha realizado investigación con el fin de conocer el estado del arte de los SCALL en el mundo y particularmente en México, destacando sus ventajas y considerando también sus limitaciones (Herrera, 2010).

4. El CIDECALLI ha diseñado y construido cinco diferentes modelos de SCALL para consumo humano y uso doméstico.

5. La CONAGUA ha desarrollado el Programa Nacional para Captación de Agua de Lluvia y Ecotecnias en Zonas Rurales (PROCAPTAR) para proporcionar agua a poblaciones rurales, principalmente, aunque también se ha implementado en zonas urbanas.

Además, la implementación de los SCALL se ha promovido en la legislación mexicana a través del Artículo 17 tercero de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), el cual establece que “las dependencias de la administración pública Federal, el Poder Legislativo Federal y el Poder Judicial de la Federación deben instalar en los inmuebles a su cargo sistemas de captación de agua, debiendo atender a los requerimientos de la zona geográfica en que se encuentren y la posibilidad física, técnica y financiera que resulte conveniente para

cada caso” (DOF, 2013), y actualmente en distintas universidades del país se sigue trabajando en la implementación y diseño de los SCALL, un ejemplo de esto es la Universidad Autónoma de Guerrero, donde se está desarrollando una metodología por donde se implementan los Sistemas de Información Geográfica en conjunto con métodos multicriterio para poder identificar sitios potenciales para la instalación de SCALL y maximizar los recursos de las zonas potenciales.

*SCALL: Tipos y aplicaciones, terminología y conceptos*

Una clasificación de los métodos para la captación de agua de lluvia, la cual está basada en la forma en que el agua escurre, cómo se almacena y el uso que se le otorga, es: Sistemas para uso humano, sistemas para uso industrial, Sistemas para uso agrícola y ganadero y recarga de mantos acuíferos en zonas urbanas. A continuación, se describen:

1. Sistemas para uso humano: Sistemas que aprovechan el escurrimiento superficial captado a través de tejados o superficies terrestres para ser almacenado luego en diversos tipos de tanques o cisternas y utilizarse para uso doméstico o de consumo humano (Lucio *et al.*, 2020) (Figura 5a y 5b).

2. Sistemas para uso industrial: La implementación de sistemas de captación en el sector industrial permite aprovechar el agua para procesos que no requieren una mayor calidad del agua, teniendo beneficios como la reducción en la extracción de agua de acuíferos (Isla Urbana, 2018) (Figura 6).

3. Sistemas para uso agrícola y ganadero: Los sistemas para uso agrícola y ganadero, denominados ollas de captación, son depresiones en el terreno para lograr un espacio de control y que el agua proveniente de escurrimientos superficiales no se infiltre y se almacene. Esto se logra generando una barrera impermeable mediante geomembranas (Figura 7). Las ollas de captación también son conocidas como ollas de agua, trampas de agua, bordos de agua o jagüeyes, cajas



Figura 5. a) SCALL con almacenamiento en tanques; b) SCALL con almacenamiento en depósitos o albijes (tomado de Isla Urbana, 2019; INTA, 2013).



Figura 6. Sistema de captación de agua de lluvia para uso industrial (tomado de Isla Urbana, 2018).



Figura 7. Olla de captación de agua para productores de Zacatlán, Pue (tomado de FCEA, 2019).

de agua, aljibes. Los usos de estas ollas de captación son muy variados, como almacenar y administrar agua de lluvia con fines pecuarios, agrícolas y ganaderos (Torres, 2019). En el proceso de construcción se utiliza maquinaria pesada a fin de realizar los movimientos de tierra necesarios para limpiar el terreno, y un análisis topográfico es necesario para dar el trazo y alineamiento del terreno.

4. Recarga de mantos acuíferos en zonas urbanas: Este tipo de SCALL tiene por objetivo la regulación y almacenamiento de agua en un acuífero, asegurando una gestión racional del potencial hidráulico de cualquier cuenca hidrológica o sistema de explotación. Se da a través de la infiltración natural en suelos permeables, cunetas verdes, estanques de retención, entre otros. La recarga de mantos acuíferos también se da a través de escurrimientos pluviales, esto representa una importante estrategia para la gestión integral del agua en las diferentes cuencas de México, porque permite almacenar el agua sin pérdidas por evaporación, disminuir las tasas de sobre-explotación y generalmente mejorar la calidad de las aguas recargadas (AMSCALL, 2012).

La infiltración del agua de lluvia depende de distintos factores como son el tipo de suelo, el coeficiente de escurrimiento y de infiltración, así como de la precipitación del lugar. Por lo cual, antes de infiltrar se requieren hacer estudios previos de las condiciones del lugar. Además, es fundamental determinar si se puede hacer infiltración a través de pozos superficiales o profundos (Figura 8).

#### *Tipos de SCALL más utilizados en el mundo*

En la tabla 1 se resume la clasificación de los SCALL conforme al país y tipo de sistema.



Figura 8. Esquema de infiltración a través de pozo profundo (tomado de AMSCALL, 2012).

TIPOS DE SISTEMAS MÁS UTILIZADOS EN EL MUNDO			
Lugar	Tipo de sistema	Usos	Beneficios
Europa (Alemania, Dinamarca, Polonia, Hungría y Suiza).	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sistema de uso humano (recolección en techos de viviendas en zonas urbanas).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lavado de ropa</li> <li>Descarga de escusados</li> <li>Riego de jardines</li> <li>Limpieza de superficies</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Prevención de inundaciones</li> <li>Evita la saturación de drenajes</li> </ul>
Asia (China, India, Japón y Bangladesh).	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sistema de uso humano (recolección en techos de viviendas en zonas urbanas).</li> <li>Sistema para uso agrícola y ganadero (ollas de agua).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Riego de jardines y cultivos</li> <li>Abastecimiento de agua a ganado</li> <li>Extinción de incendios</li> <li>Limpieza de superficies y baños</li> <li>Consumo humano</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ayudan a aumentar las reservas de agua</li> <li>No impactan negativamente al medio ambiente</li> </ul>
Australia	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sistema de uso humano (recolección en techos de viviendas en zonas urbanas y rurales).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Consumo humano</li> <li>Lavado de ropa</li> <li>Descarga de escusados</li> <li>Limpieza de superficies</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>En las nuevas construcciones es obligatorio instalar un SCALL lo que ha representado la reducción del 40% en el uso del agua de suministro público.</li> </ul>
África (Kenia y Zimbabue).	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sistema para uso agrícola y ganadero (ollas de agua).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Limpieza de superficies</li> <li>Descarga de escusados</li> <li>Riego de cultivos</li> <li>Abastecimiento de agua a ganado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aumento en la producción de vegetales.</li> <li>Incremento en el ingreso monetario de las familias, ya que su principal actividad es la agricultura.</li> </ul>

Tabla 1. Clasificación de los SCALL conforme al lugar y tipo (Yannopoulos *et al.*, 2019; Kisakye *et al.*, 2018; Zhu *et al.*, 2015).

### Tipos de SCALL más utilizados en México

El Colegio de Postgraduados de la Universidad Autónoma Chapingo (CIDECALLI) ha hecho una revisión y clasificación de los sistemas más utilizados en México y se presentan a continuación (CIDECALLI, 2008):

#### COLPOS 1. Cisterna para uso doméstico:

- Capacidad de dotar a una familia de 4 personas.
- Consumo per cápita de 100 litros diarios durante todo el año.
- Área de captación 120 m<sup>2</sup>.
- Precipitación pluvial anual 610 mm.
- Tanque de almacenaje 73 m<sup>3</sup>.

#### COLPOS 2. Estanque para peces de ornato y comestibles en sistemas de producción libre y de jaulas flotantes.

- Capacidad de 70 m<sup>3</sup>.
- Un uso alternativo del agua es en el cultivo de hortalizas en huerto familiar.

#### COLPOS 3. Cisterna para planta purificadora de agua de lluvia:

- Abastecimiento del agua de lluvia purificada a nivel comunitario.
- Capacidad de la cisterna: 1 980 m<sup>3</sup>.
- Beneficia a 2 300 personas.

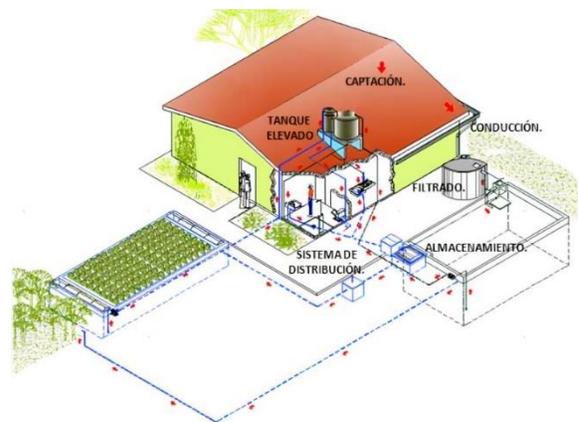


Figura 9. Sistema de captación Colpos 1 (tomado de CIDECALLI, 2008).

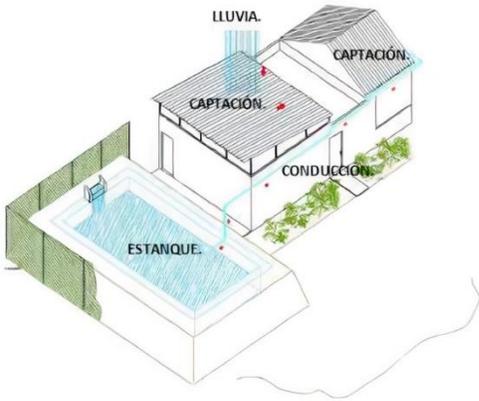


Figura 10. Sistema de captación Colpos 2 (tomado de CIDECALLI, 2008).

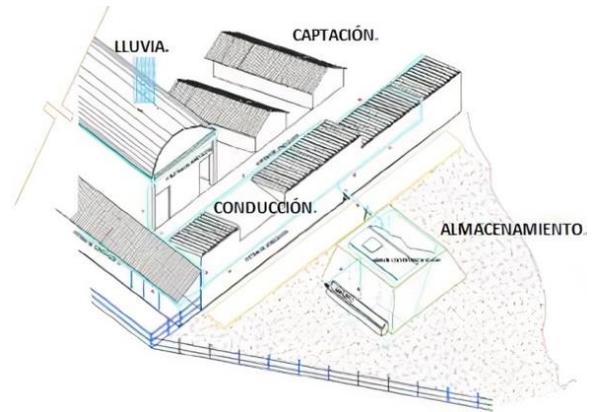


Figura 12. Sistema de captación Colpos 4 (tomado de CIDECALLI, 2008).

COLPOS 4. Abrevadero para pequeñas explotaciones ganaderas:

- Modelo capaz de servir una ganadería o granja familiar.
- Proporciona agua con una dotación de 50 litros por cabeza animal por día.
- Capacidad: 500 m<sup>3</sup>.

COLPOS 5. Cisterna para riego en invernaderos:

- Capacidad de 2 000 m<sup>3</sup>
- El agua de lluvia captada por la cubierta es almacenada y conservada en condiciones adecuadas para el riego de cultivos bajo el sistema hidropónico.

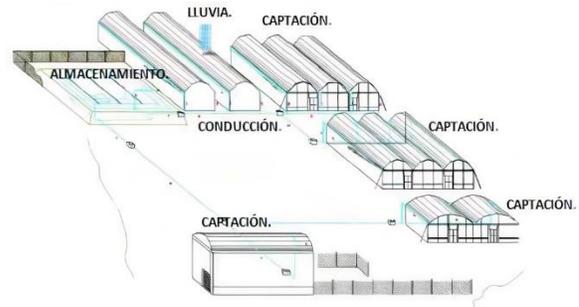


Figura 13. Sistema de captación Colpos 5 (tomado de CIDECALLI, 2008).

### Conceptos y componentes de un SCALL

Un SCALL utiliza un conjunto de componentes y accesorios que sirven para realizar la recolección, almacenamiento y tratamiento del agua de lluvia (Figura 14). La recolección en viviendas supone utilizar el espacio de los tejados y cubiertas de una edificación o alguna estructura específica para captar el agua que se precipita. Esta agua será canalizada, almacenada y filtrada en un depósito para su posterior uso cuando sea necesario (Ortiz *et al.*, 2020).

Los sistemas de captación de agua constan de los siguientes elementos (Figura 15) (Tellman, 2019):

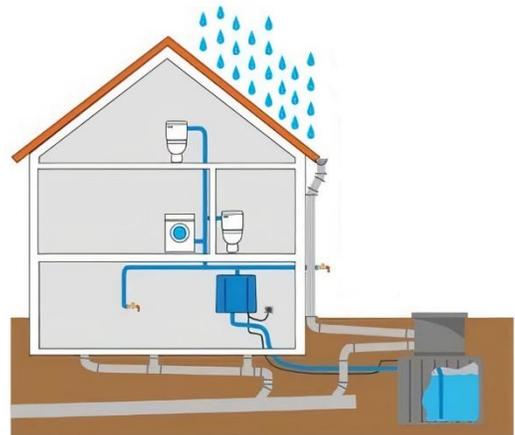
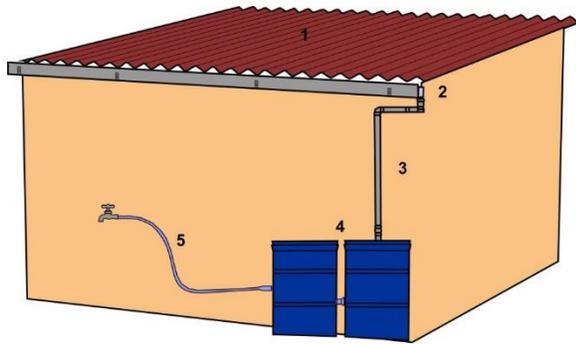


Figura 14. Sistema de captación de agua de lluvia urbano (tomado de Ecohabitar, 2017)



- 1.- Captación (techo).
- 2.- Recolección (canaletas).
- 3.- Conducción (bajantes).
- 4.- Almacenamiento (tambos, botes, cisternas, etc).
- 5.- Distribución (tuberías).

Figura 15. Componentes de un sistema de captación de agua de lluvia.

**Captación:** cae en los techos y escurre el agua de lluvia que se desea aprovechar, los techos no deben contener ningún impermeabilizante que pueda aportar sustancias tóxicas y deben ser de materiales que minimicen la contaminación del agua al entrar en contacto con ellos, por ejemplo, concreto, lámina galvanizada, etc., pues una superficie sucia o fabricada con materiales que desprendan algún elemento tóxico o suciedad resultará en una mala calidad del agua cosechada (SEDEMA, 2020). Para instalar un SCALL, se debe de tomar en cuenta el siguiente análisis (CONAGUA, 2016):

Recopilar la información pluviométrica de la zona de por lo menos 15 años anteriores para obtener la precipitación promedio anual, considerando que los SCALL son más efectivos con niveles de precipitación suficientes (500 mm o más al año). La precipitación promedio anual se calcula de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$p = \sum_{i=1}^n \frac{(Pi)}{n}$$

Donde:

p: Precipitación promedio anual con distribución mensual, en mm.

Pi: Precipitación en el año “i” en mm

n: número de años.

Después se obtiene el volumen anual promedio de captación (VA) con una distribución mensual; para esto se tiene que definir el área de influencia

de las instalaciones de captación (superficie de captación en su proyección horizontal). Este volumen se obtiene con la siguiente expresión:

$$VA = \frac{p * A * Ke}{1000}$$

Donde:

VA: Volumen promedio de captación anual con distribución mensual, en m<sup>3</sup>.

p: Precipitación promedio anual con distribución mensual, en mm.

A: Área de la proyección horizontal de las instalaciones de captación, en m<sup>2</sup>.

Ke: Coeficiente de escurrimiento de acuerdo al material de las superficies de captación (Tabla 2).

**Recolección-conducción:** para la conducción del agua se colocan canaletas en la parte inferior del plano inclinado, donde recolectan el agua del techo y, por una tubería, la conducen hacia la estructura de almacenamiento, generalmente estanques o cisternas (Ortiz *et al.*, 2020; SEDEMA, 2020).

**Almacenamiento:** se puede realizar en cisternas, tanques de plástico, tambos o cualquier tipo de contenedor seguro para guardar agua. En el almacenamiento de líquidos, es esencial que no contenga elementos tóxicos, que sea opaco y que no permita la entrada de insectos y otros animales (SEDEMA, 2020). Estos sistemas requieren ser habilitados y tener un protocolo de mantenimiento durante la vida útil del sistema (Tellman, 2019).

Material o tipo de construcción	Ke
Cubiertas metálicas o plásticas (PVC, Polietileno)	0.95
Techos impermeabilizantes o cubiertos con materiales duros (ej. Tejas)	0.9
Concreto hidráulico	0.9
Lámina metálica corrugada	0.8

Tabla 2. Coeficientes de escurrimiento por tipo de material (CONAGUA, 2016).

**Recolección-conducción:** para la conducción del agua se colocan canaletas en la parte inferior del plano inclinado, donde recolectan el agua del techo y, por una tubería, la conducen hacia la estructura de almacenamiento, generalmente estanques o cisternas (Ortiz *et al.*, 2020; SEDEMA, 2020).

**Almacenamiento:** se puede realizar en cisternas, tanques de plástico, tambos o cualquier tipo de contenedor seguro para guardar agua. En el almacenamiento de líquidos, es esencial que no contenga elementos tóxicos, que sea opaco y que no permita la entrada de insectos y otros animales (SEDEMA, 2020). Estos sistemas requieren ser habilitados y tener un protocolo de mantenimiento durante la vida útil del sistema (Tellman, 2019).

Una vez que se obtuvo el volumen promedio de captación anual, se obtiene la demanda de agua anual con distribución mensual de la vivienda (DA), de acuerdo con el uso asignado al recurso (excusados, aseo personal, preparación de alimentos, etc.) (CONAGUA, 2016).

$$DA = \frac{Ca * Ov * Dm}{1000}$$

Donde:

DA: Demanda de agua mensual de la vivienda, en m<sup>3</sup>/mes

Ca: Consumo de agua, en l/hab/día

Ov: Ocupación de la vivienda, hab/vivienda

Dm: Días del mes, días

Obteniendo estos valores se calcula el volumen de almacenamiento.

$$Almn = Almn-1 + VA - DA$$

Donde:

Almn: Volumen de almacenamiento mensual en el tanque, en m<sup>3</sup>

Almn-1: Volumen de almacenamiento en el tanque del mes anterior, en m<sup>3</sup>

VA: Volumen de captación mensual, en m<sup>3</sup>

DA: Demanda de agua mensual de la vivienda, en m<sup>3</sup>.

**Tratamiento:** La integración de filtros es importante especialmente en zonas urbanas. El propósito de los filtros es eliminar sedimentos

finos, sustancias químicas disueltas en el agua, y otros elementos contaminantes que le den algún color, olor o sabor al agua. Hay diversos tipos de filtros para distintos tipos de contaminantes. En muchos casos, un simple filtro contra sedimentos es suficiente para lograr la calidad de agua deseada. Los SCALL deben considerar algún método de desinfección del agua y el proceso se puede realizar dentro de la cisterna, en el punto de uso o en un lugar intermedio (un tinaco en el techo, por ejemplo) (Cabañas, 2020; SEDEMA, 2020).

**Distribución:** En el proceso de distribución de agua de lluvia, significa que el agua estará lista para ser utilizada, solo con abrir la llave o a donde se vaya a depositar para la actividad que se desee realizar. En algunos casos, especialmente en medios rurales, un SCALL se diseñará de forma que no requiera electricidad y la extracción del agua sea por gravedad o bombeo manual. En zonas urbanas, sin embargo, la mayoría de los SCALL pueden integrar una bomba para sacar el agua y llevarla al punto de uso (Hernández, 2015; SEDEMA, 2020).

**Calidad del agua:** el agua captada debe contar con cierta calidad y está directamente relacionado con el uso que se le quiere proporcionar. Para el caso de los sistemas de uso doméstico es recomendable la verificación de la calidad a través de la realización de pruebas de laboratorio, de tal forma que los parámetros físico-químicos y microbiológicos cumplan con la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021.

*Ventajas y desventajas de los sistemas de captación de agua de lluvia*

La captación de agua de lluvia es una excelente alternativa ante la inminente escasez de agua a nivel mundial. Es fácil de captar, almacenar y utilizar, además, genera un gran aporte en la gestión del agua. Así, el aprovechamiento del agua de lluvia y su utilización conlleva grandes beneficios para nuestro hogar y nuestro entorno en general, aunque también estos sistemas tienen ciertas limitaciones. La implementación de los SCALL puede impactar en diferentes aspectos de la sociedad, tanto en el ámbito urbano como rural,

tal como se muestra en la siguiente tabla (Tabla 3):

*Análisis de costo - beneficio de los SCALL*

El análisis de costos permite definir la factibilidad de las alternativas planteadas o del proyecto a ser desarrollado, cuyo objetivo es proporcionar una medida de los costos en que se incurre en la realización de un proyecto, dando la oportunidad de seleccionar la alternativa más

beneficiosa para su concreción, y estimar adecuadamente los recursos económicos necesarios en el plazo de realización del mismo (Ruiz *et al.*, 2006).

Uno de los beneficios de los SCALL es el ahorro económico que se pueda tener al disminuir la compra o pago del agua que se consume en la vivienda. Para esto, es importante revisar las condiciones del techo, los espacios en la vivienda y el presupuesto con el que se cuente. A fin de

COSTOS DE LOS SCALL EN MÉXICO			
Dependencia	Usos	Características	Precio
Isla Urbana	Limpieza y riego	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistema sencillo sin filtros adicionales</li> <li>• Filtro de hojas y separador de primeras lluvias</li> <li>• Área del techo de 20 a 40 m<sup>2</sup></li> <li>• No incluye tanque de almacenamiento</li> </ul>	2 600 MXN*
Isla Urbana	Doméstico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tren de filtrado</li> <li>• Filtro de hojas y separador de primeras lluvias</li> <li>• Área del techo de 40 a 120 m<sup>2</sup></li> <li>• No incluye tanque de almacenamiento</li> </ul>	7 550 MXN*
Isla Urbana	Doméstico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tren de filtrado</li> <li>• Filtro de hojas y separador de primeras lluvias</li> <li>• Área del techo de 40 a 120 m<sup>2</sup></li> <li>• Incluye tanque de almacenamiento o cisterna</li> </ul>	17 550 MXN*
CIDECALLI	Doméstico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Área de captación 120 m<sup>2</sup></li> <li>• Tanque de almacenaje de 73 m<sup>3</sup></li> </ul>	3 900 USD
CIDECALLI	Pecuario y agrícola	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad de 70 m<sup>3</sup></li> </ul>	1 900 USD
CIDECALLI	Planta purificadora	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cisterna a nivel comunitario</li> <li>• Capacidad de almacenamiento de 1 980 m<sup>3</sup></li> </ul>	Inversión por persona 40-50 USD
CIDECALLI	Ganadero	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad de 500 m<sup>3</sup></li> </ul>	4 100 USD
CIDECALLI	Riego en invernaderos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad de 2 000 m<sup>3</sup></li> </ul>	18 300 USD
Ciclo 720	Limpieza y riego	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Filtro de hojas y separador de primeras lluvias</li> <li>• No incluye tanque de almacenamiento</li> </ul>	3 000 MXN*
Ciclo 720	Doméstico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Filtro de hojas y separador de primeras lluvias</li> <li>• Pastillas de cloro</li> <li>• No incluye tanque de almacenamiento</li> </ul>	6 500 MXN*
Ciclo 720	Doméstico y consumo humano	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tren de filtrado</li> <li>• Filtro de hojas y separador de primeras lluvias</li> <li>• No incluye tanque de almacenamiento</li> </ul>	10 500 MXN*

\*No incluye costos de herramientas ni mano de obra.

Tabla 4. Costos de los SCALL en México (Isla Urbana, 2018; CIDECALLI 2008; Ciclo 720, 2017).

hacer esta valoración de costos y la viabilidad de instalar un SCALL se debe tener en cuenta lo siguiente: Características de la superficie de captación para obtener la calidad de agua deseada, pendiente del techo, bajadas pluviales, espacio para un tanque o cisterna, mano de obra para la instalación, mantenimiento del sistema y precipitación del lugar (SEDEMA, 2020).

Cabe mencionar que el SCALL puede ser muy sencillo o muy complejo, dependiendo del uso que se le va a dar al agua captada, en razón de que para esto interviene la calidad del agua captada y su uso para realizar las actividades donde intervenga la precipitación retenida, por lo tanto, es recomendable realizar un análisis de agua previo en la zona donde se implementará el sistema y de esa manera verificar que el líquido cumpla con las propiedades necesarias para su uso y de acuerdo con los límites permisibles establecidos por la NOM-127- SSA1-2021.

En México, asociaciones como Isla Urbana, CIDECALLI y Ciclo 720 han desarrollado y construido SCALL en diferentes partes del país para diferentes usos y adaptándose a las necesidades y presupuestos de cada familia (Tabla 4). De acuerdo con proveedores de sistemas de captación de pluvial de PVC, se tiene que la vida útil es de aproximadamente 30 años (Salinas *et al.*, 2016).

Los lugares donde la instalación de SCALL es apta, pueden abastecer de agua a los habitantes que carecen del servicio de agua entubada en su hogar o que el agua es escasa, representando un ahorro económico y recuperando su inversión de instalación de corto a mediano plazo según el potencial de captación y almacenamiento.

## Conclusiones

Bajo el escenario actual en materia de agua, es necesario adoptar nuevas alternativas para el abastecimiento que optimicen su trato como recurso y que sean de bajo costo, fáciles de implementar para su uso eficiente y responsable del agua desde su captación hasta su devolución al medio.

Los sistemas de captación de agua de lluvia han sido utilizados desde la antigüedad y en diversas

partes del mundo como Europa, América, Asia y África, sobre todo en las regiones con problemas de escasez y en localidades de acceso restringido. Existe una gran variedad y tipos de SCALL, cada uno ofrece mayores ventajas que desventajas. Constituyen una solución complementaria que podría ayudar a combatir la escasez de agua en poblaciones rurales o grandes edificaciones con acceso restringido.

Los SCALL son una alternativa práctica, económica y eficiente, fácil de construir, y lo más importante, tienen buena aceptación por parte de la población en contraste con otros tipos de sistemas. La implementación de los SCALL ha cobrado relevancia e importancia, desde el desarrollo de los primeros sistemas de captación de agua de lluvia de tipo artesanal a sistemas desarrollados, factibles y ajustables a las condiciones físicas y climáticas del entorno y a la economía de la población.

Actualmente, varios países han desarrollado leyes para la implementación de los SCALL, sin embargo, se tienen que seguir haciendo esfuerzos para su implementación en los sectores públicos, privados y viviendas en general. Por lo que es importante que los tomadores de decisiones consideren el establecimiento de nuevas normas y leyes que sigan beneficiando a la población y generando una cultura de ahorro y aprovechamiento del agua pluvial.

## Agradecimientos

Este trabajo quiere agradecer al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca académica para el estudio de posgrado de la alumna Blanca Itzany Rivera Vázquez.

## Referencias

- Abdulla, F. (2020). Rainwater harvesting in Jordan: Potential water saving, optimal tank sizing and economic analysis. *Urban Water Journal*, 17, 446-456.
- ACNUR. (2019). Escasez de agua en el mundo: causas y consecuencias. Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Refugiados.

- [https://eacnur.org/blog/escasez-agua-en-el-mundo-tc\\_alt45664n\\_o\\_pstn\\_o\\_pst/](https://eacnur.org/blog/escasez-agua-en-el-mundo-tc_alt45664n_o_pstn_o_pst/).
- Acosta, S., Quiroa, A., Villanueva, J. (2018). Captación de agua de lluvia: tipos, componentes y antecedentes en zonas áridas de México, como estrategia de uso sustentable del agua. *Vivienda y Comunidades Sustentables*, (3), 63–86.
- Agnieszka, S., Martina, Z. (2019). An Analysis of the Effectiveness of Two Rainwater Harvesting Systems Located in Central Eastern Europe. *Water Journal*, 11, 458.
- AMSCALL. (2012). Aprovechamiento y reutilización del agua de lluvia. <https://hidropluviales.com/2020/06/16/reutilizacion-del-agua-de-lluvia/>
- Arreguín, F., Saavedra, J., Rodríguez, J. (2020). State level water security indices in Mexico. *Sustainable Earth* 3, 9.
- Barbosa, T., Costa, A., Borges, E. (2019). Life cycle assessment of rainwater harvesting systems for Brazilian semi-arid households. *Water and Environment Journal*, 34, 10-11.
- Ballén, A., Galarza, A., Ortiz, O. (2006). Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia. Seminario Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de Agua, Joao Pessoa, Brasil.
- Cabañas, L. (2020). Propuesta para la planeación de un sistema urbano de captación de agua pluvial como alternativa de abastecimiento para la ciudad de Aguascalientes. Centro de Ciencias del Diseño y de la Construcción.
- Chunyang, He, Zhifeng, L., Jianguo, W., Xinhao, P., Zihang, F., Jingwei, L., Brett, B. (2021). Future global urban water scarcity and potential solutions. *Nature Communications*, 12, 4667.
- Ciclo 720. (2019). Ciclo 720, los sistemas de captación de agua más eficientes, son Mexicanos. <https://www.consejocea.com/single-post/2018/03/19/ciclo-720los-sistemas-de-captaci%C3%B3n-de-agua-m%C3%A1s-eficientes-son-mexicanos>.
- CIDECALLI. (2008). Centro Internacional de Demostración y Capacitación en Aprovechamiento del Agua de Lluvia. Colegio de Posgraduados, México. <http://www.colpos.mx/ircsa/cidecall/>
- CMHC. (2013). *Collecting and Using Rainwater at Home: A Guide for Homeowners*. Canadá Mortgage and Housing Corporation.
- CONAGUA. (2016). Lineamientos técnicos: Sistema de Captación de Agua de Lluvia con fines de abasto de agua potable a nivel vivienda. Gobierno de México.
- CONAGUA. (2018). Estadísticas del Agua en México. Gobierno de México.
- CONAGUA. (2019). Estadísticas del Agua en México. Gobierno de México.
- CONAGUA (2022). Monitor de sequía de México. Gobierno de México.
- Coombes, P. (2012). Effectiveness of rainwater harvesting for management of the urban water cycle in South East Queensland. [https://www.researchgate.net/publication/270280200\\_Effectiveness\\_of\\_rainwater\\_harvesting\\_for\\_management\\_of\\_the\\_urban\\_water\\_cycle\\_in\\_South\\_East\\_Queensland](https://www.researchgate.net/publication/270280200_Effectiveness_of_rainwater_harvesting_for_management_of_the_urban_water_cycle_in_South_East_Queensland)
- DOF (2013). Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Diario Oficial de la Federación.
- Ecohabitar. (2017). Aprovechamiento de agua de lluvia. <https://ecohabitar.org/aprovechamiento-de-agua-de-lluvia/>
- FCEA. (2019). Inauguran olla de captación de agua para productores de Zacatlán. Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental, A.C. <https://agua.org.mx/puebla-inauguran-olla-de-captacion-de-agua-para-productores-de-zacatlan-municipios/>
- Freni, G., Liuzzo, L. (2019). Effectiveness of Rainwater Harvesting Systems for Flood Reduction in Residential Urban Areas. *Water Journal*, 11, 1389.
- Fuentes, M., Ortiz, J., Arias, L. (2018). Roof Rainwater Harvesting in Central Mexico: Uses, Benefits, and Factors of Adoption. *Water*, 10, 116.
- Garrick, D., Stefano, L., Turley, L., Aguilar, I., Souza, R., Schreiner, B., Svensson, J., Wight, C. (2019). Rural water for thirsty cities: a systematic review of water reallocation from rural to urban regions. *Environmental Research Letters*, 14, 3003.
- Hernández, S., Garrido, F., Hernández, J. (2015). Captación, almacenamiento y distribución de

- agua pluvial en las instalaciones del ITSSNP. Instituto Tecnológico Superior de la Sierra Norte de Puebla.
- Herrera, L. (2010). Estudio de alternativas para el uso sustentable del agua lluvia. Tesis de maestría, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, Unidad Zacatenco, Instituto Politécnico Nacional, 179 p.
- Institute for Economics and Peace. (2020). Ecological Threat Register 2020: Understanding Ecological Threats, Resilience and Peace, Sydney, 95p.
- IMTA (2009). La casa ecológica. [http://atl.org.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=890:la-casa-ecologica&catid=133:aboratorio&Itemid=598](http://atl.org.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=890:la-casa-ecologica&catid=133:aboratorio&Itemid=598)
- IMTA (2012). Sistemas de captación y almacenamiento de agua de lluvia en vivienda y comunidad rural, Pátzcuaro, Michoacán. [http://atl.org.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=5703:sistemas-de-captacion-y-almacenamiento-de-agua-de-lluvia-en-vivienda-y-comunidad-rural-patzcuaro-michoacan&catid=171:proyectos-imta&Itemid=863](http://atl.org.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=5703:sistemas-de-captacion-y-almacenamiento-de-agua-de-lluvia-en-vivienda-y-comunidad-rural-patzcuaro-michoacan&catid=171:proyectos-imta&Itemid=863).
- INTA (2013). Tecnología apropiada de filtrado del agua de lluvia en aljibes, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. <https://inta.gob.ar/noticias/tecnologia-apropiada-de-filtrado-del-agua-de-lluvia-en-aljibes>
- Isla Urbana. (2018). Así funciona el sistema de agua de lluvia para abastecer a un hogar en México hasta por seis meses. <https://www.xataka.com.mx/ecologia-y-naturaleza/isla-urbana-asi-funciona-sistema-agua-lluvia-para-abastecer-hogar-seis-meses>
- Isla Urbana. (2019). Reporte anual de Isla Urbana. <https://islaurbana.org/wp-content/uploads/2019/12/REPORTE-ANUAL-2019-web.pdf>
- Isla Urbana. (2021). Historia de Isla Urbana. <https://islaurbana.org/historia/>
- Jiménez, V. (2017). Estudio de factibilidad técnico económica de la captación y tratamiento de agua de lluvia en zona urbana. Tesis de maestría, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), 109p.
- Khanal, G., Thapa, A., Devkota, N., Paudel, U. (2020). A review on harvesting and harnessing rainwater: an alternative strategy to cope with drinking water scarcity. *Water Supply*, 20, 2951-2963.
- Kisakye, V., Bruggen, B. (2018). Effects of climate change on water savings and water security from rainwater harvesting systems. *Resources, Conservation and Recycling*, 138, 49-63.
- TWDB. (2005). The Texas Manual on Rainwater Harvesting. Texas Water Development Board.
- Kucukkaya, E., Kelesoglu, A., Gunaydin, H., Kilic, G., Unver, U. (2020). Design of a passive rainwater harvesting system with green building approach. *International Journal of Sustainable*, 40, 175-187.
- Lucio, C., Silva, C. M., Sousa, V. (2020). A scale-adaptive method for urban rainwater harvesting simulation. *Environmental Science and Pollution Research International*, 27, 4557-4570.
- Musayev, S., Burgess, E., Mellor, J. (2018). A global performance assessment of rainwater harvesting under climate change. *Resources, Conservation & Recycling*, 132, 62-70.
- NK realtors. (2019). [www.nkrealtors.com/blog/rainwater-harvesting-in-indian-cities/#:~:text=In%20India%2C%20rainwater%20harvesting%20has,irrigation%2C%20and%20water%20for%20livestock](http://www.nkrealtors.com/blog/rainwater-harvesting-in-indian-cities/#:~:text=In%20India%2C%20rainwater%20harvesting%20has,irrigation%2C%20and%20water%20for%20livestock).
- ONU. (2020). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2020. Organización de las Naciones Unidas.
- Ortiz, D., Gómez, J., Anaya, G., y Estrada, A. (2020). Análisis del aprovechamiento del agua de lluvia para uso residencial en Colombia. [https://www.researchgate.net/publication/347514816\\_ANALISIS\\_DEL\\_APROVECHAMIENTO\\_DEL\\_AGUA\\_LLUVIA\\_PARA\\_USO/li nk/5fdfe65092851c13fea956cc/download](https://www.researchgate.net/publication/347514816_ANALISIS_DEL_APROVECHAMIENTO_DEL_AGUA_LLUVIA_PARA_USO/li nk/5fdfe65092851c13fea956cc/download)
- Oposa, T. (2009). Implement rainwater collection law. *Philippine Daily Inquirer*.
- Quinn, R., Melville, P., Butler, D., Stovin, V. (2020). A Critical Evaluation of the Water Supply and Stormwater Management Performance of Retrofittable Domestic

- Rainwater Harvesting Systems. *Water Journal*, 12, 1184.
- Rajasekhar, M., Gadhiraaju, S.R., Kadam, A., Bhagat, V. (2020). Identification of groundwater recharge-based potential rainwater harvesting sites for sustainable development of a semiarid region of southern India using geospatial, AHP, and SCS-CN approach. *Arabian Journal of Geosciences*, 13, 24.
- Ruiz, J., Calzada, R., Vargas, A., Pedroza, A. (2006). Análisis del beneficio-costo en la captación agua de lluvia en el Cais-Uruza-Uach, México. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 2, 173-178.
- Salinas, C., Vera, A., Cavazos, R. (2016). Evaluación de un sistema de captación de agua de lluvia en la zona metropolitana de Monterrey, para su aprovechamiento como medio alternativo. *Ingeniería*, 20,1-13.
- Sayl, K., Adham, A., Ritsema, C. (2020). A GIS-Based Multicriteria Analysis in Modeling Optimum Sites for Rainwater Harvesting. *Hydrology Journal*, 7, 51.
- SEDEMA. (2020). Manual para instalar un sistema de captación pluvial en tu vivienda. Secretaría del Medio Ambiente.
- Semaan, M., Garvin, M., Ramakrishnan, N., Pearce, A. (2020). Optimal sizing of rainwater harvesting systems for domestic water usages: A systematic literature review. *Resources, Conservation & Recycling*: 10, 6, 100033.
- Shadeed, S., Judeh, T., Almasri, M. (2019). Developing GIS-based water poverty and rainwater harvesting suitability maps for domestic use in the Dead Sea region (West Bank, Palestine). *Hydrology and Earth System Sciences*, 23, 1581-1592.
- Staddon, C., Rogers, J., Warriner, C., Ward, S., Powell, W. (2018). Why doesn't every family practice rainwater harvesting? Factors that affect the decision to adopt rainwater harvesting as a household water security strategy in central Uganda. *Water International*, 43, 1114-1135.
- Suárez, J., García, M., Mosquera, R. (2006). Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia. [https://www.researchgate.net/publication/230887848\\_Historia\\_de\\_los\\_sistemas\\_de\\_aprovechamiento\\_de\\_agua\\_lluvia](https://www.researchgate.net/publication/230887848_Historia_de_los_sistemas_de_aprovechamiento_de_agua_lluvia)
- Tigno, C. 2007. Thailand: Promoting Rainwater Harvesting, Preserving Rain Water Jar Culture.
- Tellman, E., Serrano, F., Flores, I. (2019). Captación de lluvia en la CDMX: Un análisis de las desigualdades espaciales. *Isla Urbana*, 9-17.
- Torres, H. (2019). La captación del agua de lluvia como solución en el pasado y el presente. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 40, 125-139.
- UNESCO (2018). Abordar la escasez y la calidad del agua. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.
- UNEP (2013). Environment Programme Examples of Rainwater Harvesting and Utilisation Around the World.
- UNICEF. (2019). El agua bajo fuego. Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia. <https://www.unicef.org/colombia/media/1121/file/El-agua-bajo-fuego.pdf>
- WRI (2019). 17 Countries, Home to One-Quarter of the World's Population, Face Extremely High Water Stress. <https://www.wri.org/insights/17-countries-home-one-quarter-worlds-population-face-extremely-high-water-stress>.
- Yannopoulos S, Giannopoulou I, Kaiafa-Saropoulou M. (2019). Investigation of the Current Situation and Prospects for the Development of Rainwater Harvesting as a Tool to Confront Water Scarcity Worldwide. *Water*, 11, 2168.
- Zabidi, H., Goh, H., Chang, CK., Chan N., Zakaria, N. (2020). A Review of Roof and Pond Rainwater Harvesting Systems for Water Security: The Design, Performance and Way Forward. *Water Journal*, 12, 3163.
- Zang, J., Kumar, M., Werner, D. (2021). Real-world sustainability analysis of an innovative decentralized water system with rainwater harvesting and wastewater reclamation. *Journal of Environmental Management*, 280, 4797.
- Zhu, Q., Gould, J., Li, Y., Chengxiang, M. (2018). *Rainwater Harvesting for Agriculture and Water Supply*. Springer.