DOI: 10.24850/j-tyca-2026-04-08

Artículos

Calidad del agua de lluvia captada en zonas rural y urbana para riego en huertos familiares

Quality of rainwater harvesting from rural and urban areas for home garden irrigation

Claudio Lobato-de la Cruz[1], ORCID: https://orcid.org/0009-0007-6451-6398

Irma Díaz-Aguilar[2], ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9803-8231

Arturo Galvis-Spinola[3], ORCID: https://orcid.org/0009-0001-3112-3674

Jesús Pérez-Moreno[4], ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5216-8313

Mercedes Aurelia Jiménez-Velázquez[5], ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3440-8720

Sergio Miguel López-Ramírez[6], ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5067-4746

[1]Colegio de Postgraduados, Posgrado en Edafología, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México, lobato71@hotmail.com

[2]Colegio de Postgraduados, Posgrado en Edafología, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México, idiaz@colpos.mx

[3]Colegio de Postgraduados, Posgrado en Edafología, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México, galvispinola@gmail.com

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

[4]Colegio de Postgraduados, Posgrado en Edafología, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México, jperezm@colpos.mx

[5]Colegio de Postgraduados, Posgrado Estudios del Desarrollo Rural, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México, mercedesaureliajv@gmail.com

[6]Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, Ciudad de México, México, sergiomiguel009@gmail.com

Autora para correspondencia: Irma Díaz-Aguilar, idiaz@colpos.mx

Resumen

Los sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL) son una alternativa para abastecer de agua a zonas rurales y urbanas. Sin embargo, son limitados los estudios que evalúan su calidad para riego en huertos familiares. Este estudio analizó la calidad del agua de lluvia recolectada de SCALL de una zona rural (Almoloya, Hidalgo) y una urbana (Iztapalapa, CDMX), para riego de huertos familiares. Se evaluó la conductividad eléctrica (CE), la relación de adsorción de sodio (RAS), el pH y la concentración de iones específicos. Se colectaron nueve muestras por cada zona con un muestreo al azar. Se comparó la calidad del agua de lluvia por zona (rural y urbana) y tipo de techo (lámina y concreto) con la prueba *t* de *Student*. La zona rural presentó CE (0.19 dS m^{-1}) y RAS sin restricción, pH de 8.0 ligeramente-alcalino y sus techos de lámina captaron agua de lluvia de mejor calidad. En contraste, la zona urbana presentó CE (1.29 dS m^{-1}), RAS (6.13), pH (7.95) y concentraciones de Na^+, Cl^- y HCO_3^-, con grados de restricción leve-moderado. En general,

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

el agua de lluvia de los SCALL de la zona rural y urbana es viable para riego en huertos familiares. Sin embargo, los techos de concreto y la cloración para la desinfección del agua disminuyen la calidad para riego, por lo que se recomienda implementar prácticas de manejo para evitar daños al suelo y plantas, e incluir la RAS en los análisis de calidad de agua por la alta concentración de Na^+.

Palabras clave: lluvia, abastecimiento de agua, calidad del agua, riego, horticultura, zona rural, zona urbana, México.

Abstract

Rainwater harvesting systems (RWHS) are an alternative for supplying water to rural and urban areas. However, studies evaluating rainwater quality for irrigation in home gardens remain limited. This study assessed the quality of rainwater collected from RWHS in a rural area (Almoloya, Hidalgo) and an urban area (Iztapalapa, Mexico City) for home garden irrigation. Parameters evaluated included electrical conductivity (EC), sodium adsorption ratio (SAR), pH, and the concentration of specific ions. Nine samples were collected for each site using random sampling. Rainwater quality by area (rural and urban), and roof type (corrugated galvanized metal sheet and concrete) were compared using a t-test. The rural area presented EC (0.19 dS m^{-1}) and SAR without restrictions, a slightly alkaline pH (8.0) and its corrugated galvanized metal roofs captured rainwater of better quality. The urban area showed EC (1.29 dS m^{-1}), SAR (6.13), pH (7.95), and concentrations of Na^+, Cl^-, and HCO_3^-, with mild to moderate restrictions for irrigation use. Overall, rainwater collected from rural and urban RWHS is suitable for irrigation in home gardens. However, concrete roofs and chlorination for disinfection

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

reduced the quality of harvested rainwater for irrigation in the urban area. Management practices should be implemented to prevent damage to soil and plants, and the inclusion of SAR in irrigation water quality analysis is recommended due to elevated Na^+ concentration.

Keywords: rain, water supply, water quality, irrigation, horticulture, rural areas, urban areas, Mexico.

Recibido: 30/06/2025

Aceptado: 27/10/2025

Publicado *ahead of print*: 06/11/2025

Versión final: 01/07/2026

Introducción

La recolección de agua de lluvia es una práctica muy antigua para el suministro de agua, donde esta última es limitada, y se refiere al proceso de interceptar y almacenar el agua pluvial para su posterior uso. Dicha práctica es muy utilizada como la principal fuente accesible para millones de personas en los países en vías de desarrollo, principalmente en zonas rurales y recientemente en zonas urbanas, donde el acceso a fuentes de aguas limpias y seguras es limitado (Torres-Hugues, 2019; Lepcha *et al*., 2024; Ssekyanzi *et al*., 2024). El interés por esta práctica se ha generalizado en todo el mundo, incluso en los países desarrollados, donde las regulaciones y las leyes fomentan cada vez más la recolección y la utilización del agua de lluvia. En países como China, Brasil, Australia e India se ha reglamentado la captación de agua de lluvia en la planificación

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

de las nuevas viviendas y de las ciudades futuras (García-Ávila *et al*., 2023; Ssekyanzi *et al*., 2024).

Los sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL) describen a los sistemas modernos de recolección de agua de lluvia con instalaciones diseñadas específicamente para interceptar, recolectar y almacenar el agua de lluvia para su posterior uso (Raimondi *et al*., 2023). Estos sistemas incluyen el área de captación (como techos), sistema de recolección y conducción (canaletas y tuberías), filtro para eliminación de impurezas, sistema de eliminación de las primeras lluvias, y tanque o cisterna de almacenamiento (Téllez-Quintanar *et al*., 2022).

La creciente demanda de recursos hídricos, sumada a factores como la sequía, la contaminación y el agotamiento de ríos, pozos, presas, así como el abatimiento de acuíferos, ha impulsado el interés en el estudio de los SCALL a nivel mundial. A partir del año 2004 se reporta un aumento significativo de estudios tanto en zonas rurales y urbanas, en particular en países como EUA, China e India (Raimondi *et al*., 2023). Sin embargo, existen limitaciones y desventajas que impiden su implementación, como la necesidad de una inversión inicial alta, disponibilidad de espacio, distribución temporal de la precipitación y garantizar la calidad del agua para su uso (Téllez-Quintanar *et al*., 2022).

El uso de agua de lluvia captada en techos para riego en la producción local de alimentos en huertos familiares está ganando cada vez más relevancia tanto en zonas rurales como urbanas debido a que esta actividad se enmarca a la perfección en los enfoques de gestión sostenible del recurso agua, seguridad alimentaria, gestión ambiental y resiliencia comunitaria (Sanyé-Mengual *et al*., 2016).

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 17(4), 309-363. DOI: 10.24850/j-tyca-2026-04-08

En África, la captación de agua de lluvia se utiliza para mejorar la resiliencia de las comunidades rurales frente a las sequías y reduce la dependencia de fuentes de agua poco seguras, lo cual tiene un impacto positivo en el desarrollo agrícola y la salud de la población (Boelee *et al*., 2013; Dile *et al*., 2013). Por otra parte, Lupia *et al.* (2017) han señalado que los SCALL pueden abastecer total o parcialmente con riego a un huerto familiar; por ejemplo, en Roma, Italia, el 33 % de los huertos de cultivos mixtos de la ciudad serían autosuficientes con agua de lluvia de los SCALL, con una alta eficiencia de riego; mientras que el resto podrían satisfacer hasta en un 44 % las necesidades hídricas de los huertos, reduciendo de forma significativa el uso del agua potable.

En el contexto de la seguridad alimentaria, Huang y Chang (2021) indicaron que si el 30 % de la superficie de los techos (56 602 m^2) de los edificios de hormigón de la ciudad de Taipei, China, pudieran utilizarse como huertos agrícolas, por ejemplo, los rendimientos anuales de hojas de batata dulce (*Ipomoea batatas L.*) incrementarían 436 %, utilizando solo 5.9 $m^3\ m^{-2}$ de agua, 3.8 $m^3\ m^{-2}$ de agua de lluvia captada y 2.1 $m^3\ m^{-2}$ de agua del grifo, para producir 9.3 kg m^{-2} de la hortaliza de hoja; esto demuestra que la agricultura urbana puede reducir el consumo de agua mediante la utilización del agua de lluvia.

En México, la Comisión Nacional del Agua (Conagua), en 2016, implementó el Programa Nacional para Captación de Agua de Lluvia y Ecotecnias en Zonas Rurales (Procaptar), por lo que se instalaron SCALL en viviendas de distintas zonas rurales de México para abastecerlas de agua (Conagua, 2016). En Ciudad de México (CDMX) se ha incrementado la demanda de agua y la sobreexplotación del acuífero en la Zona

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 17(4), 309-363. DOI: 10.24850/j-tyca-2026-04-08

Metropolitana CDMX debido a la expansión de la mancha urbana y pérdida de agua por fugas en el sistema de distribución (UNAM, 2017).

Por tal razón, se instalaron 62 700 SCALL en viviendas urbanas con el Programa "Cosecha de Lluvia" desde 2019 hasta 2023 (Sedema, 2024), donde el 68 % de los beneficiarios con SCALL usan el agua para regar plantas y el 26.2 % de estos la utilizan para huertos familiares (Sedema, 2023). Fernández *et al.* (2023) mencionan que en los pocos huertos urbanos en la CDMX, el riego se hace de manera empírica y se emplea principalmente agua potable; además, estos autores calcularon que se puede captar en un huerto urbano una cantidad de agua de lluvia entre 0.26 y 0.52 $m^3\ m^{-2}$ $año^{-1}$; esta cantidad podría suplir los requerimientos de riego para lechuga (*Lactuca sativa*) de 0.13 a 0.39 $m^3\ m^{-2}$ o tomate cherry (*Solanum lycopersicum*) de 0.15 a 0.57 $m^3\ m^{-2}$ para un ciclo completo.

El agua de lluvia, por lo general, es de alta calidad hasta antes de entrar en contacto con una superficie o un sistema de recolección (Rahman *et al*., 2014; Zdeb *et al*., 2020; García-Ávila *et al*., 2023). Estudios previos han indicado que la calidad del agua de los SCALL no siempre cumple con los límites establecidos en los estándares para uso potable (Livhuwani *et al*., 2025) debido a diversos factores que afectan de modo significativo la calidad del agua, como son el uso del suelo cercano; el tipo de material de los techos de captación; la calidad del aire; la duración de la temporada seca; la intensidad de la lluvia; el tipo de sistema de filtración; las condiciones de los tanques o cisternas de almacenamiento, especialmente si no están protegidos (Campisano *et al*., 2017; Ímaz-Gispert *et al*., 2018; Rangel-González & Domínguez-Sánchez, 2018; Zdeb *et al*., 2020; Beirne *et al*., 2021).

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 17(4), 309-363. DOI: 10.24850/j-tyca-2026-04-08

Por otro lado, el tipo de análisis de calidad del agua de los SCALL depende del uso previsto que se le dará al agua captada, por lo general, los estudios de calidad se enfocan en su aptitud para uso como agua potable tanto en zonas rurales (Igbinosa & Aighewi, 2017; Zdeb *et al*., 2018) como en zonas urbanas (Ímaz-Gispert *et al*., 2018; Rangel-González & Domínguez-Sánchez, 2018; Haque & Rinkey, 2019; Emmanuel *et al*., 2021), donde se analizan diversos parámetros físicos, químicos y biológicos. Sin embargo, los parámetros evaluados aún no están estandarizados, y varían según las normativas y leyes de cada país. Con base en lo reportado en varios estudios, se ha observado que algunos parámetros son consistentes al evaluar la calidad del agua de lluvia como son pH, CE, y contenido de los iones sulfatos (SO_4^{-2}) y cloruros (Cl^-) (Zdeb *et al*., 2018; Haque & Rinkey, 2019; Emmanuel *et al*., 2021). Por el contrario, la calidad del agua de los SCALL destinada a usos no potables o domésticos —como el lavado de pisos, ropa, vehículos y retretes— no se analiza de forma rutinaria (Rahman *et al*., 2014).

A pesar del creciente interés en el aprovechamiento del agua de lluvia para el riego en huertos familiares, existe una notable falta de estudios que evalúen su calidad para dicho uso, especialmente cuando es captada desde techos en zonas rurales y urbanas (Amos *et al*., 2018). En este contexto, en la literatura se reporta la guía del análisis del agua de lluvia para riego agrícola de Ayers y Westcot (1994), para evaluar la calidad del agua de lluvia para riego de los SCALL, utilizando parámetros clave, como son el pH, conductividad eléctrica (CE) y relación de absorción de sodio (RAS) (Cuellar-Carrasco *et al*., 2015; Emmanuel *et al*., 2021), además de la concentración de iones calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), potasio (K^+), hierro (Fe^{2+}), boro (B^{3+}), cobre (Cu^{2+}), zinc (Zn^{2+}), nitrato (NO_3^-) y sulfato (SO_4^{-2}), que son nutrimentos esenciales para las

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 17(4), 309-363. DOI: 10.24850/j-tyca-2026-04-08

plantas; además se incluyen sodio (Na^+), cloruro (Cl^-), carbonato (CO_3^{2-}) y bicarbonato (HCO_3^-), y algunos elementos traza debido a que afectan las funciones de las plantas, y propiedades de los suelos o sustratos (García, 2012; Ingram, 2014).

Es importante considerar que no hay criterios ni rangos establecidos para evaluar el agua de lluvia para riego de los SCALL, y estos no pueden estandarizarse a uno solo debido a que la composición del agua de lluvia depende de varios factores, como las condiciones climáticas (principalmente el microclima local), contaminación atmosférica, tipo de cuenca, diferencia del uso del suelo en un área rural y urbana, y materiales de construcción de los SCALL (Mendez *et al*., 2011; García, 2012; Zdeb *et al*., 2020).

El tipo de material del techo de captación modifica de forma significativa los parámetros de calidad del agua recolectada (Livhuwani *et al*., 2025). Se ha reportado que el agua de lluvia, antes de escurrir en los techos, tiene un valor de pH ligeramente ácido cercano a 5.6 (Baird & Cann, 2014) y con el contacto con el material de los techos el pH tiende a incrementar (Emmanuel *et al*., 2021). También se ha reportado la variación de diversos iones disueltos cuando se utiliza un tipo de material en particular para los techos, como son los de tejados de aluminio, asbesto, láminas de zinc de Camerún, materiales corrugados y tejas Harvey (Emmanuel *et al*., 2021; Nicholas & Ukoha, 2023). Sin embargo, aún no está ampliamente documentado el análisis de la calidad de agua lluvia para riego en SCALL ni los cambios en la calidad cuando el agua de lluvia entra en contacto con los materiales con que están construidos los SCALL, así como la pertinencia del uso del agua de lluvia de los SCALL para riego en huertos familiares de áreas rurales y urbanas.

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 17(4), 309-363. DOI: 10.24850/j-tyca-2026-04-08

Por lo anterior, este estudio tiene como objetivo comparar la calidad del agua de lluvia captada en sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL) en una zona rural (ejido Almoloya, estado de Hidalgo) y una zona urbana (Iztapalapa, CDMX), y analizar los niveles del pH, CE, RAS y la concentración de iones disueltos que puedan restringir su uso para riego en huertos familiares.

Materiales y métodos

Sitios de muestreo

Los sitios de muestreo de la zona rural se localizan en el ejido Almoloya, perteneciente al municipio de Almoloya, Hidalgo, ubicado en las coordenadas geográficas de latitud norte 19° 43’ 16.34” y longitud oeste 98° 22’ 30.45”, y a una elevación de 2 727 m.s.n.m. (Figura 1).

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 17(4), 309-363. DOI: 10.24850/j-tyca-2026-04-08

Tecnología y Ciencias del Agua
OPEN ACCESS
Check for updates

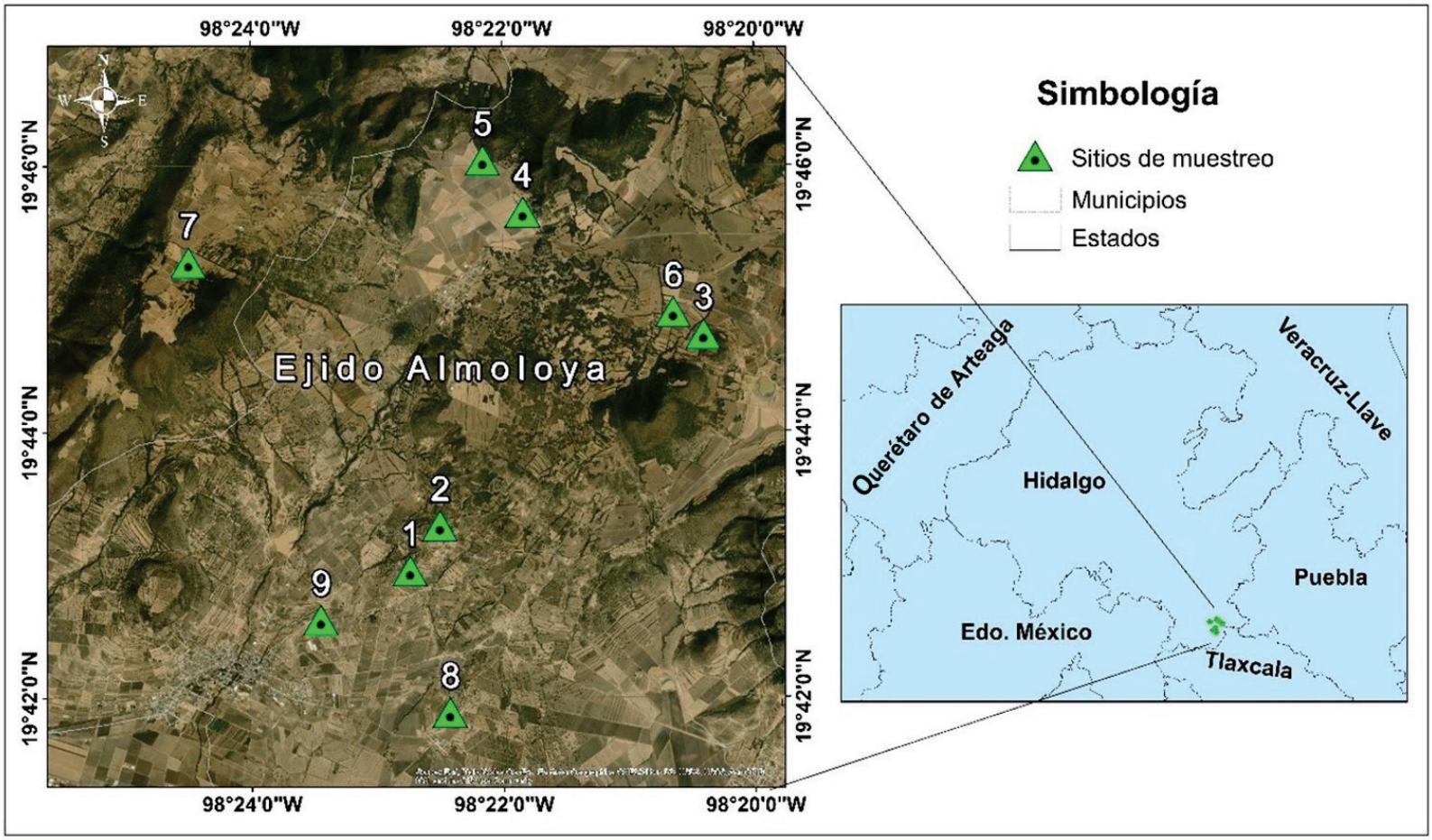

Figura 1. Localización de sitios de muestreo de agua de lluvia en la zona rural, ejido Almoloya, Almoloya, Hidalgo.

El clima es semiseco templado (BS1hw) debido a las escasas lluvias; su vegetación es semidesértica (INEGI, 2010; Sánchez-Rojas & Bravo-Cadena, 2021). Las temperaturas promedio anuales oscilan entre 12 y 15 °C, con mínimas invernales de 0 °C y ocasionalmente con fuertes heladas. En verano, las temperaturas alcanzan los 25 °C en las horas más cálidas del día. La precipitación anual promedio es de 656 mm (GEH, 2011), y la temporada de lluvias se concentra en junio y septiembre.

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 17(4), 309-363. DOI: 10.24850/j-tyca-2026-04-08

El ejido Almoloya tiene un uso de suelo predominantemente agrícola, con áreas dedicadas principalmente al cultivo de cebada, haba y maíz; además, presenta una vegetación semidesértica, con áreas forestales con pino, oyamel, cedro rojo, algunas coníferas latifoliadas y predominio de pastizales que se destinan al pastoreo de ganado ovino (GEH, 2011).

Los sitios de muestreo de agua de lluvia de la zona urbana se ubican en la colonia San Miguel Teotongo, en la alcaldía Iztapalapa de la CDMX, en las coordenadas geográficas de latitud norte 19° 20’ 25.18” y longitud oeste 98° 59’ 05.85”, y a una elevación de 2 356 m.s.n.m. (Figura 2). El clima es semiseco templado (BS1k), predominantemente seco (INEGI, 1992; Delegación Iztapalapa, 2011). La temperatura media oscila entre 15 y 17 °C. En invierno, las temperaturas descienden hasta 5 °C y en verano alcanzan máximas de 27 °C; la precipitación anual promedio es de 679 mm (SMN, 2024), con la mayoría de las lluvias concentradas entre junio y septiembre (Figura 3). El suelo es principalmente montañoso, afectado por excesiva erosión (Delegación Iztapalapa, 2011).

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 17(4), 309-363. DOI: 10.24850/j-tyca-2026-04-08

Tecnología y Ciencias del Agua
OPEN ACCESS
Check for updates

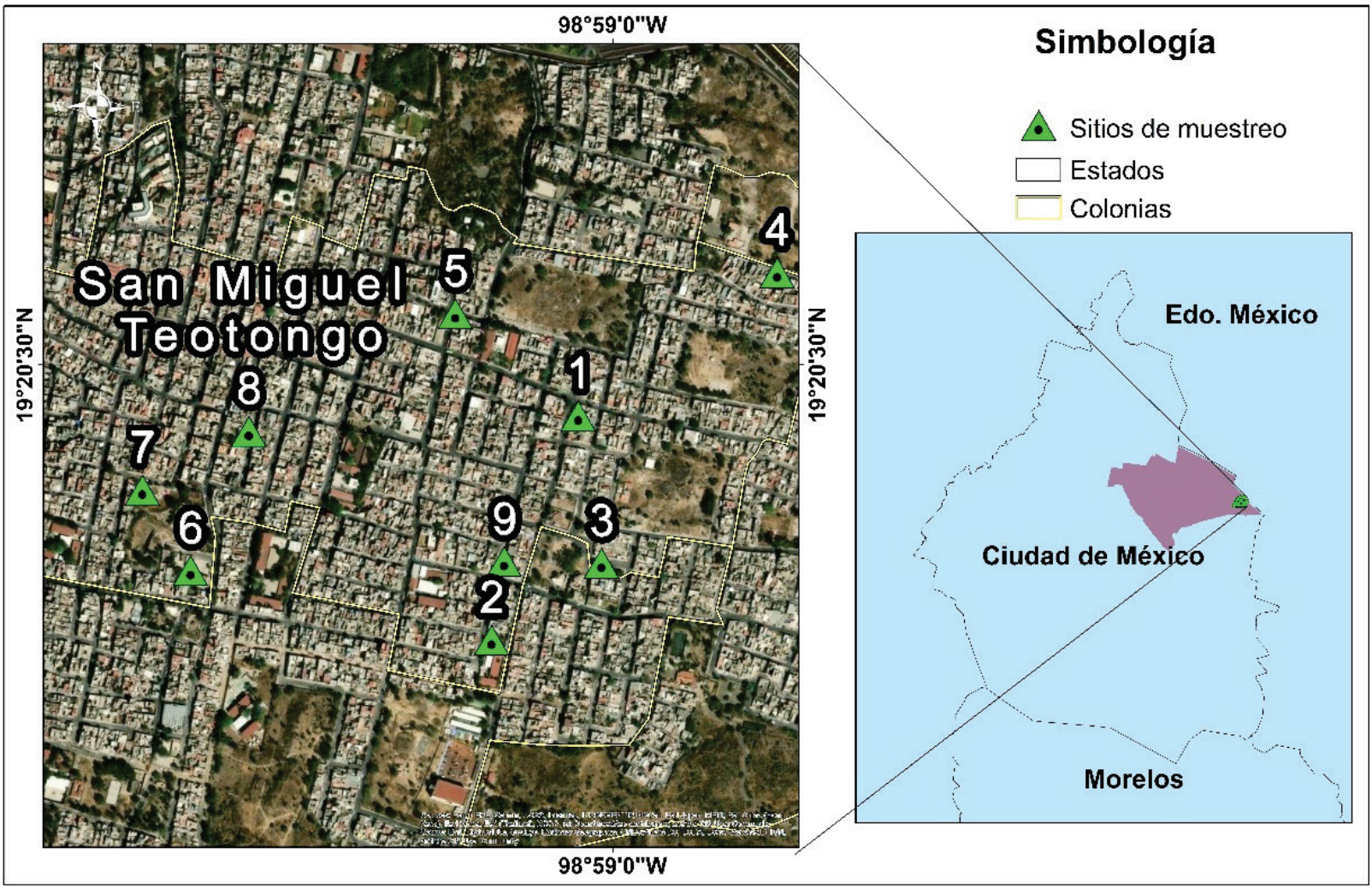

Figura 2. Localización de sitios de muestreo de agua de lluvia en la zona urbana, San Miguel Teotongo, Iztapalapa, CDMX.

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 17(4), 309-363. DOI: 10.24850/j-tyca-2026-04-08

Tecnología y Ciencias del Agua
OPEN ACCESS
Check for updates

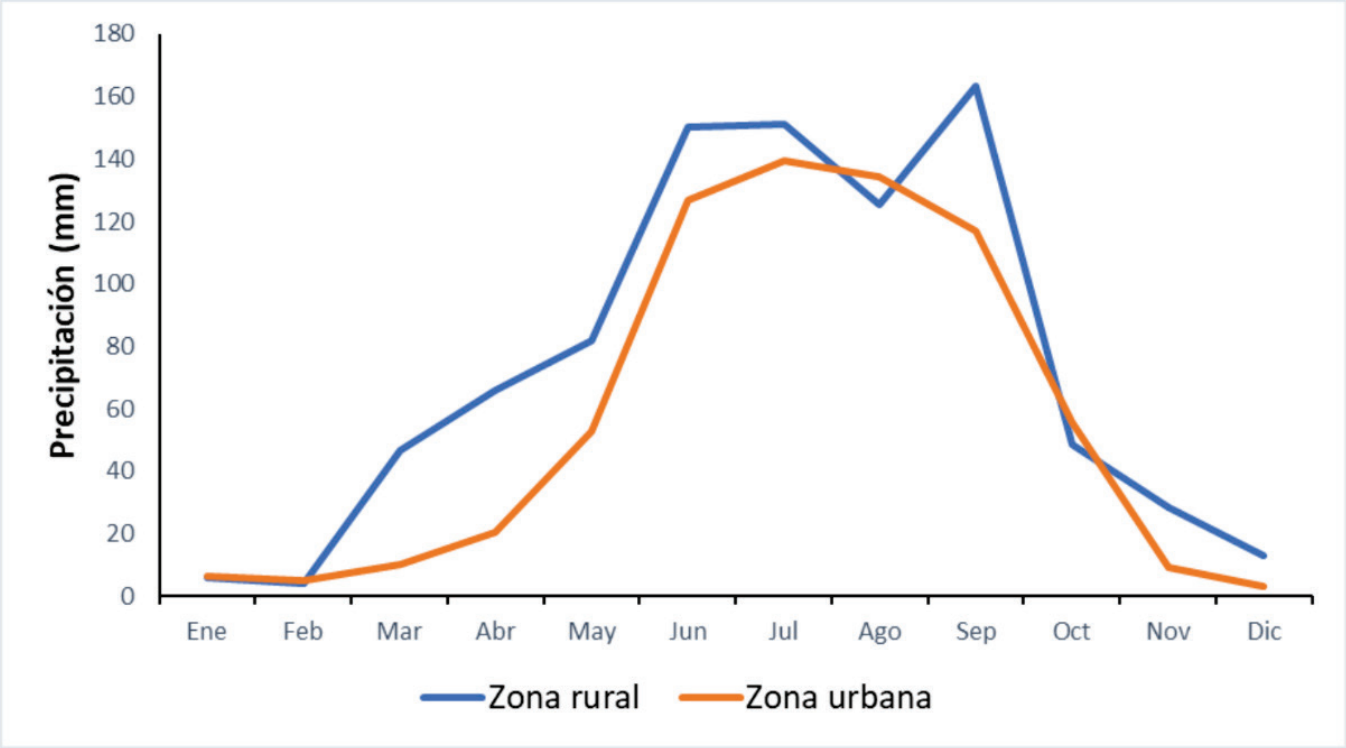

Figura 3. Distribución mensual de la precipitación de la zona rural (ejido Almoloya, Hidalgo) y zona urbana (Iztapalapa, CDMX); datos de las estaciones climatológicas 13168 y 9036 (SMN, 2024).

La colonia San Miguel Teotongo es una zona urbana con un uso de suelo principalmente habitacional. Esta área está densamente poblada, con asentamiento humano continuo, con zonas comerciales pequeñas, escuelas y servicios básicos. La expansión urbana ha transformado el uso de suelo a lo largo de los años, impactando en la disminución de la vegetación y aumentando la impermeabilización del terreno debido a las calles pavimentadas y construcciones de concreto (DOF, 1992).

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 17(4), 309-363. DOI: 10.24850/j-tyca-2026-04-08

Tecnología y Ciencias del Agua

OPEN ACCESS

Check for updates

Descripción de los sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL)

En las zonas rural y urbana estudiadas, las viviendas tienen un sistema de captación de agua de lluvia (SCALL) instalado por la Conagua en 2014 y por el Gobierno de la CDMX en 2021, respectivamente. En ambos sistemas, el área de recolección de agua de lluvia son los techos, además cuentan con un sistema de conducción, filtración, almacenamiento y distribución del agua de lluvia captada, utilizada principalmente para uso doméstico.

Los SCALL de las zonas rurales y urbanas presentan variaciones en los materiales empleados en su construcción y en los sistemas que los componen (Figura 4).

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y Ciencias del Agua
OPEN ACCESS
Check for updates

Figura 4. SCALL de la zona rural (A) y urbana (B): 1) techo de captación; 2) sistema de conducción; 3) filtro (y sistema de cloración en la zona urbana); 4) cisterna o tanque de almacenamiento, y 5) sistema de distribución.

En la zona rural, ocho techos de captación son de lámina galvanizada y uno de concreto, mientras que en la zona urbana siete de los techos son de concreto y dos de lámina galvanizada; en ambas zonas el material de conducción corresponde a tuberías de plástico tipo PVC (Figura 4A2 y B2). Sin embargo, existen diferencias en los sistemas de filtrado y almacenamiento. En la zona rural, el sistema de filtrado se compone de un filtro de gravas y se almacena el agua de lluvia en una cisterna de ferrocemento de 12 000 l (Figura 4A3 y A4). En la zona urbana

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

se emplea un filtro de mallas con separador de primeras aguas y un sistema de cloración de paso, donde se colocan pastillas de hipoclorito de sodio (Figura 4B3) y se utilizan tinacos de plástico de 2 500 l para el almacenamiento del agua de lluvia (Figura 4B4). Los sistemas de distribución en ambos contextos (rural y urbano) están diseñados para facilitar el acceso al agua de lluvia almacenada desde puntos de consumo doméstico. En la zona rural, el sistema de distribución consiste en una bomba manual de mecate o cuerda conectada a la cisterna de ferrocemento que permite extraer el agua hacia la pileta (Figura 4A5); en la zona urbana, los sistemas de distribución están conectados mediante una bomba eléctrica desde los tinacos plásticos hacia lavaderos, sanitarios o puntos específicos dentro de la vivienda (Figura 4B5).

Colecta de muestras de agua de lluvia

Se recolectaron nueve muestras de agua de lluvia en la zona rural y nueve en la zona urbana, el muestreo fue al azar. Los sitios donde se ubican los SCALL se indican en la Figura 1 y Figura 2. Las muestras fueron tomadas en el periodo de lluvias bien establecido para garantizar que los SCALL tuvieran agua de lluvia de la temporada y evitar el agua de las primeras lluvias que por lo general arrastra materiales y contaminantes del área de captación. Se tomaron muestras puntuales en este estudio debido a que representan las condiciones específicas de la calidad del agua de lluvia al momento de la recolección, lo que permite comparar los diferentes parámetros de los análisis de laboratorio de la calidad de agua de lluvia para riego de los SCALL en dos zonas contrastantes. En la zona urbana (Iztapalapa, CDMX), el muestreo se realizó el 18 de julio de 2023 y en la

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 17(4), 309-363. DOI: 10.24850/j-tyca-2026-04-08

zona rural (ejido de Almoloya, Hidalgo) se llevó a cabo el 19 de julio de 2023.

Se utilizaron botellas de plástico nuevas y limpias con capacidad de un litro para recolectar el agua de lluvia en cada cisterna o tanque de almacenamiento; se tomó una muestra de agua de lluvia almacenada por cada SCALL, utilizando los lineamientos de la Norma Mexicana NMX-AA-003-1980 para muestrear descargas de aguas residuales (Secofi, 1980). Antes de tomar cada muestra, la botella se enjuagó dos veces con la misma agua almacenada para evitar contaminación cruzada por partículas que pudieran estar contenidas en las botellas y garantizar la representatividad de la muestra. En la zona rural, las muestras de agua de lluvia se colectaron con una cubeta y un lazo debido a que las cisternas tienen dos metros de profundidad. En la zona urbana, las muestras se tomaron directamente de los tinacos. Las muestras recolectadas se colocaron de inmediato en una hielera con refrigerantes de gel para preservar las muestras y minimizar posibles alteraciones en las propiedades del agua de lluvia por las altas temperatura del ambiente. Esta metodología garantizó la obtención de muestras representativas que conservaron las características del agua de lluvia almacenada de los SCALL.

Análisis de laboratorio y criterios para evaluar la calidad de agua de lluvia

Para evaluar la calidad del agua de lluvia de los SCALL y el grado de restricción de uso para riego en huertos familiares en la zona urbana y rural, se analizó la calidad del agua de lluvia de acuerdo con los

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 17(4), 309-363. DOI: 10.24850/j-tyca-2026-04-08

parámetros recomendados por Ayers y Westcot (1994), García (2012) y Castellanos (2000) (Tabla 1) en el laboratorio de Fertilidad de Suelos, S. A. de R. L. (FERTILAB), en Celaya, Guanajuato. Además, se tomaron en consideración los límites máximos permisibles para uso agrícola establecidos en la Ley Federal de Derechos en Materia de Aguas Nacionales y sus Bienes Públicos Inherentes (LFD, 2024), normativa oficial en México que regula la calidad del agua para distintos usos.

Tabla 1. Criterios utilizados para evaluar calidad de agua de lluvia de los sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL) para uso en riego de huertos familiares.

Parámetro	**Unidad**	**Grado de restricción de uso**			**Fuente**	**Máximos permisibles para uso agrícola (LFD, 2024)**
		Ninguno	**Leve a moderado**	**Severo**		
Conductividad eléctrica (CE)	dS m^{-1}	< 0.7	0.7-3	> 3	Ayers y Westcot (1994)	---
pH*	---	< 7	7-8	> 8	García (2012)	6.0-9.0
Relación de adsorción de sodio (RAS)	---	<3	3-6	> 6	Castellanos (2000)**	---
Sodio (Na^+)†	mg l^{-1}	< 460	---	---	Ayers y Westcot (1994)	---
Cloruros (Cl^-)†	mg l^{-1}	< 142	142-355	> 355	Ayers y Westcot (1994)	150
Boro (B^{3+})	mg l^{-1}	< 0.7	0.7-3	> 3	Ayers y Westcot (1994)	0.7-3.0
Bicarbonatos (HCO_3^-) †	mg l^{-1}	< 92	92-519	> 519	Ayers y Westcot (1994)	---

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 17(4), 309-363. DOI: 10.24850/j-tyca-2026-04-08

Parámetro	Unidad	Grado de restricción de uso			Fuente	Máximos permisibles para uso agrícola (LFD, 2024)
		Ninguno	Leve a moderado	Severo		
Carbonatos (CO_3^{2-})	mg l^{-1}	Sin restricciones			Ayers y Westcot (1994)	Sin restricciones
Nitratos (NO_3^-)	mg l^{-1}	< 5	5-30	> 30	Ayers y Westcot (1994)	Sin restricciones
Calcio (Ca^{2+})	mg l^{-1}	< 400	---	---	Ayers y Westcot (1994)	Sin restricciones
Magnesio (Mg^{2+})†	mg l^{-1}	< 61	---	---	Ayers y Westcot (1994)	Sin restricciones
Sulfatos (SO_4^{2-})†	mg l^{-1}	< 961	---	---	Ayers y Westcot (1994)	250
Hierro (Fe^{2+})	mg l^{-1}	< 5	---	---	Ayers y Westcot (1994)	5
Manganeso (Mn^{2+})	mg l^{-1}	<1	0.1-1.5	> 1.5	García (2012)	0.2
Cobre (Cu^{2+})	mg l^{-1}	< 0.2	---	---	Ayers y Westcot (1994)	0.2
Zinc (Zn^{2+})	mg l^{-1}	< 2	---	---	Ayers y Westcot (1994)	2
Potasio (K^+)	mg l^{-1}	< 2	---	---	Ayers y Westcot (1994)	Sin restricciones

*Ayers y Westcot (1994) reportan un rango normal de 6.5 a 8.4.
**3 a 6 se considera un agua sódica y un RAS > 9 es un agua con problemas severos de sodio.
†Estos valores se transformaron de me l^{-1} a mg l^{-1}.

Los parámetros que se analizaron del agua de lluvia de los SCALL fueron CE, pH y RAS: la CE para detectar posibles problemas de la reducción de la disponibilidad de agua del suelo para las plantas; el pH

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 17(4), 309-363. DOI: 10.24850/j-tyca-2026-04-08

del agua de riego pude influir en cambios del pH del suelo, y el riego con un agua con altos valores de RAS deterioran la calidad física y química de los suelos. Las concentraciones de diferentes iones se analizaron para evaluar si se encuentran en niveles permisibles y si tales contenidos podrían influenciar en el valor de otros parámetros de la calidad del agua. Los altos contenidos de carbonatos (CO_3^{2-}) y bicarbonatos (HCO_3^-) indicarían un riesgo potencial de alcalinización e incrementos del pH.

También se evaluó el riesgo de toxicidad por altas concentraciones de sodio, cloro y boro. El Na^+ afecta la estructura del suelo al desplazar al calcio y magnesio, disminuye la infiltración del agua y dificulta la absorción de agua por las plantas. El Cl^- produce necrosis en las hojas, caída de flores y frutos, y reduce el rendimiento de las plantas. El B^{3+}, aunque esencial para las plantas, en pequeñas cantidades es tóxico, por causar daños en tejido vegetal y afectar el crecimiento de las plantas. Además, se evaluó la concentración de los iones nitrato (NO_3^-), potasio (K^+), sulfato (SO_4^{2-}), hierro (Fe^{2+}), manganeso (Mn^{2+}), cobre (Cu^{2+}) y zinc (Zn^{2+}) por ser nutrimentos esenciales para las plantas.

Tratamientos y diseño experimental

El diseño experimental utilizado en este estudio fue completamente aleatorizado, con el objetivo de comparar la calidad de agua de lluvia almacenada en los SCALL de una zona urbana y otra zona rural. Cada tratamiento tuvo nueve repeticiones, teniéndose un total de 18 unidades experimentales. Además, los datos se agruparon por el tipo de techo (concreto o lámina) del área de captación de agua de lluvia, para analizar si hay un efecto en la calidad del agua de lluvia por el tipo de material. En el análisis estadístico se utilizó la prueba *t* de *Student* (Amat, 2016)

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 17(4), 309-363. DOI: 10.24850/j-tyca-2026-04-08

debido a que se compararon las medias de una variable respuesta de dos tratamientos: por zona (rural y urbana) y tipo de techo (lámina y concreto). Cuando los datos no cumplían con los criterios de distribución normal y homogeneidad de varianzas, se transformaron utilizando el logaritmo natural (ln). Si los datos transformados cumplían con la distribución normal, pero presentaban varianzas desiguales entre grupos, se utilizó la prueba *t* de Welch (Lu & Yuan, 2010), y en los casos donde los datos transformados aún no seguían una distribución normal, se aplicó la prueba no paramétrica de Mann-Whitney U (Amat, 2017). Las pruebas de *t* y de Mann-Whitney U se hicieron utilizando el *software* estadístico *R*, versión 2023.12.1 (R Core Team, 2025).

Resultados

Los resultados de laboratorio de la calidad del agua de lluvia de las muestras recolectadas en los SCALL de la zona rural (Almoloya, Hidalgo) y de la zona urbana (Iztapalapa, CDMX) mostraron diferencias estadísticas significativas entre zonas en nueve de los parámetros, mientras que siete parámetros fueron estadísticamente similares entre las dos zonas (Tabla 2).

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 17(4), 309-363. DOI: 10.24850/j-tyca-2026-04-08

Tecnología y Ciencias del Agua
OPEN ACCESS
Check for updates

Tabla 2. Resultados de la calidad del agua de lluvia colectada en los sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL) en la zona rural (Almoloya, Hidalgo) y la zona urbana (Iztapalapa, CDMX).

Variable	Unidad	Media		*p-Value*
		Zona rural	Zona urbana	
Conductividad eléctrica (CE)	dS m^{-1}	0.19(±0.09) a	1.29(±0.18) b	$p < 0.001$
pH	---	8.00(±0.21) a	7.95(±0.19) a	$p = 0.62$
Relación de adsorción de sodio (RAS)	---	0.34(±0.31) a	6.13(±3.40) b	$p < 0.001$
Calcio (Ca^{2+})	mg l^{-1}	21.09(±7.79) a	15.47(±6.74) a	$p = 0.12$
Magnesio (Mg^{2+})	mg l^{-1}	3.37(±3.51) a	19.25(±13.73) b	$p = 0.01$
Sodio (Na^{+})	mg l^{-1}	7.07(±7.50) a	170.86(±125.26) b	$p < 0.001$
Potasio (K^{+})	mg l^{-1}	7.35(±3.54) a	21.22(±9.82) b	$p < 0.001$
Sulfatos (SO_4^{2-})	mg l^{-1}	1.74(±0.82) a	4.2(±2.62) b	$p = 0.02$
Bicarbonatos (HCO_3^{-})†	mg l^{-1}	89.27(±44.20) a	392.11(±274.90) b	$p = 0.02$
Cloruros (Cl^{-})‡	mg l^{-1}	6.12(±3.91) a	162.39(±106.32) b	$p = 0.02$
Carbonatos (CO_3^{2-})‡	mg l^{-1}	3.37(±6.17) a	3.4(±6.91) a	§
Nitratos (NO_3^{-})	mg l^{-1}	1.87(±0.58) a	2.6(±1.46) a	$p = 0.31$
Boro (B^{3+})	mg l^{-1}	0(±0.00)	0.71(±0.56)	§
Hierro (Fe^{2+})†	mg l^{-1}	0.01(±0.01) a	0.25(±0.30) a	$p = 0.55$
Manganeso (Mn^{2+})‡	mg l^{-1}	0.001 (±0.00) a	0.002(±0.001) b	$p = 0.03$
Cobre (Cu^{2+})‡	mg l^{-1}	0.001 (±0.00) a	0.001 (±0.00) a	$p = 0.37$
Zinc (Zn^{2+})	mg l^{-1}	0.18(±0.36) a	0.03(±0.03) a	$p = 0.12$

Prueba de *t-Student* ($p \leq 0.05$).
†Prueba de *t* de Welch ($p \leq 0.05$).
‡Prueba de Mann-Whitney U ($p \leq 0.05$). Cifras con las mismas letras dentro de una misma columna son estadísticamente iguales. Las cifras entre paréntesis corresponden a la desviación estándar.
§El B^{3+} y los CO_3^{2-} no se analizaron estadísticamente porque no se obtuvieron valores de boro en la zona rural (media cero); para los CO_3^{2-} en la zona rural solo se obtuvieron tres valores y en la zona urbana solo dos valores de las nueve repeticiones.

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 17(4), 309-363. DOI: 10.24850/j-tyca-2026-04-08

El promedio de la CE en la zona urbana (1.29 ± 0.18 dS m^{-1}; p < 0.001) fue significativamente mayor que en la zona rural (0.19 ± 0.09 dS m^{-1}; p < 0.001), lo que indica una mayor concentración de sales disueltas en el agua de lluvia urbana (Figura 5A). De manera similar, la RAS del agua de lluvia de la zona urbana (6.13 ± 3.40; p < 0.001) fue estadísticamente significativa en relación con la registrada en la zona rural (0.34 ± 0.31; p < 0.001). En cuanto al pH, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las aguas de lluvia de la zona rural y la zona urbana (8.0 ± 0.21 y 7.95 ± 0.19, respectivamente, p = 0.62) (Figura 5B); ambas se consideran aguas alcalinas por tener un pH superior a 7.

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 17(4), 309-363. DOI: 10.24850/j-tyca-2026-04-08

Tecnología y Ciencias del Agua
OPEN ACCESS
Check for updates

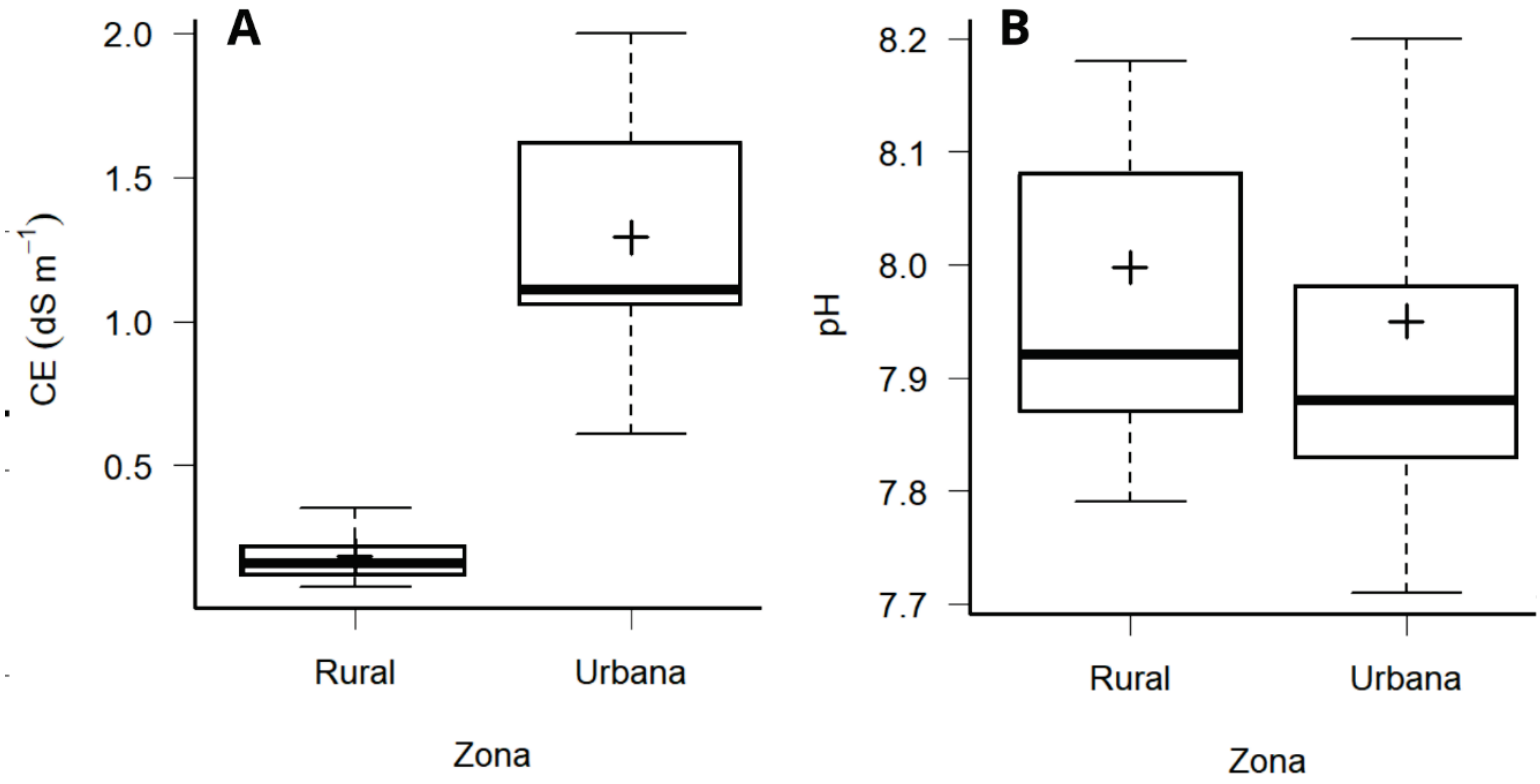

Figura 5. Valores de A) conductividad eléctrica (CE) y B) pH de las muestras de agua de lluvia de los SCALL de la zona rural y urbana. Nota: el signo (+) indica la media de las observaciones.

Los resultados de los contenidos de cationes y aniones en las aguas de lluvia de las zonas rural y urbana mostraron que las concentraciones de Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+}, SO_4^{2-}, HCO_3^{-}, Cl^{-} y Mn^{2+} fueron altamente significativas ($p \leq 0.05$), presentando los valores más altos las concentraciones de estos iones en la zona urbana; sin embargo, los iones Na^{+}, HCO_3^{-} y Cl^{-} alcanzaron las concentraciones más altas, con valores de 170.86 ± 125.3 mg l^{-1}, 392.11 ± 274.9 mg l^{-1} y 162.39 ± 106.3 mg l^{-1}, respectivamente. Por otro lado, no se encontraron diferencias significativas entre los contenidos de los iones Ca^{2+}, NO_3^{-}, Fe^{2+}, Cu^{2+} y

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 17(4), 309-363. DOI: 10.24850/j-tyca-2026-04-08

Zn^{2+} ($p > 0.05$), presentándose en concentraciones muy bajas en ambas aguas de lluvia; en la zona rural no se cuantificó contenido del ion B^{3+} en las muestras y de los CO_3^{2-} solo se obtuvieron tres valores de las nueve repeticiones.

El tipo de material del área de captación de agua de lluvia de los SCALL es una variable que afecta la calidad del agua de lluvia. Para evaluar el efecto por el tipo de material de los techos de captación de agua de lluvia, los resultados de los análisis de las muestras de agua de lluvia recolectadas en los SCALL en las zonas rural y urbana se agruparon por el material del techo (de lámina o concreto), donde se observaron diferencias altamente significativas en varios parámetros (Tabla 3).

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 17(4), 309-363. DOI: 10.24850/j-tyca-2026-04-08

Tabla 3. Resultados de la calidad del agua de lluvia por el tipo de material de los techos de captación de agua de lluvia de los SCALL (lámina o concreto).

Variable	Unidad	Media		*p-Value*
		Techo de lámina	Techo de concreto	
Conductividad eléctrica (CE)	dS m^{-1}	0.35(±0.40) a	1.22(±0.61) b	$p < 0.001$
pH	---	7.92(±0.14) a	8.04(±0.25) a	$p = 0.23$
Relación de adsorción de sodio (RAS)	---	0.46(±0.54) a	6.70(±3.12) b	$p < 0.001$
Calcio (Ca^{2+})	mg l^{-1}	16.39(±7.27) a	20.64(±7.88) a	$p = 0.25$
Magnesio (Mg^{2+})	mg l^{-1}	2.90(±3.42) a	21.83(±12.21) b	$p < 0.001$
Potasio (K^{+})	mg l^{-1}	6.57(±2.09) a	23.93(±7.19) b	$p < 0.001$
Sulfatos (SO_4^{2-})	mg l^{-1}	1.60(±0.7) a	4.68(±2.40) b	$p < 0.001$
Bicarbonatos (HCO_3^{-})	mg l^{-1}	72.24(±39.37) a	451.25(±233.21) b	$p < 0.001$
Carbonatos (CO_3^{2-})	mg l^{-1}	1.20(±2.53) a	6.11(±8.64) a	§
Nitratos (NO_3^{-})	mg l^{-1}	1.70(±0.64) a	2.89(±1.33) b	$p = 0.02$
Boro (B^{3+})	mg l^{-1}	0.00(±0.00)	0.79(±0.53)	§
Hierro (Fe^{2+})†	mg l^{-1}	0.16(±0.46) a	0.10(±0.11) a	$p = 0.21$
Manganeso (Mn^{2+})‡	mg l^{-1}	0.001(±0.00) a	0.002(±0.001) a	$p = 0.17$
Cobre (Cu^{2+})‡	mg l^{-1}	0.001 (±0.00) a	0.001 (±0.00) a	$p = 0.31$
Zinc (Zn^{2+})	mg l^{-1}	0.18(±0.34) a	0.015(±0.018) a	$p = 0.25$

Prueba de *t-Student* ($p \leq 0.05$).

†Prueba de t de Welch ($p \leq 0.05$).

‡Prueba de Mann-Whitney U ($p \leq 0.05$). Cifras con las mismas letras dentro de una misma columna son estadísticamente iguales. Las cifras entre paréntesis corresponden a la desviación estándar.

§El B^{3+} y los CO_3^{2-} no se analizaron estadísticamente porque no se obtuvieron valores de boro en los techos de lámina (media cero); para los CO_3^{2-} en los techos de lámina solo se obtuvieron dos valores y en los techos de concreto solo tres valores de las nueve repeticiones.

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

La CE presenta valores más altos en los techos de concreto (1.22 ± 0.61 dS m^{-1}; $p < 0.001$), en comparación con los techos de lámina (0.35 ± 0.4 dS m^{-1}; $p < 0.001$). Asimismo, la RAS es considerablemente mayor en techos de concreto (6.70 ± 3.12; $p < 0.001$) que en techos de lámina (0.46 ± 0.54; $p < 0.001$); se observa un efecto del material del techo en estos parámetros; el pH no presentó diferencias estadísticas significativas ($p = 0.23$). En cuanto a los iones, se registraron medias de las concentraciones altamente significativas ($p < 0.001$) para Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+}, SO_4^{2-}, HCO_3^{-} y Cl^{-}; mientras que los NO_3^{-} fueron significativos, con un $p = 0.02$, siendo más altos los contenidos de estos iones en los techos de concreto. Por el contrario, no se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) en el pH, Ca^{2+}, Fe^{2+}, Mn^{2+}, Cu^{2+} y Zn^{2+} entre ambos tipos de techos.

Para entender la dinámica de las características del agua de lluvia debido al contacto con los techos o áreas de captación del agua de lluvia en los SCALL, se midió y comparó la CE y pH de diferentes tipos de agua (Figura 6). Se graficaron muestras de agua de lluvia sin tener contacto con el techo en Almoloya, Hidalgo (A); agua destilada 1 del Laboratorio de Hidrociencias del Colegio de Postgraduados (B); agua destilada 2 del Laboratorio de Fertilidad de Suelos y Química Ambiental del Colegio de Postgraduados (C); agua de un charco en el pavimento colectada después de la lluvia (D); agua de la llave del Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados (E); agua de la cisterna de los SCALL de la zona rural (Almoloya, Hidalgo) (F);$_{7}$ y agua del tinaco de los SCALL de la zona urbana (Iztapalapa, CDMX) (G). En la Figura 6 se observa que el agua de lluvia antes de estar en contacto con los techos presenta una CE y pH similar al

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 17(4), 309-363. DOI: 10.24850/j-tyca-2026-04-08

del agua destilada (Figura 6A, B, C) y empiezan a incrementar ligeramente en el agua de lluvia del charco (Figura 6D); aumenta el valor de dichos parámetros en los SCALL en los techos de concreto de la zona urbana (Figura 6G); el agua de la llave presentó valores más altos de CE que el agua de lluvia de la zona rural (Figura 6E y F).

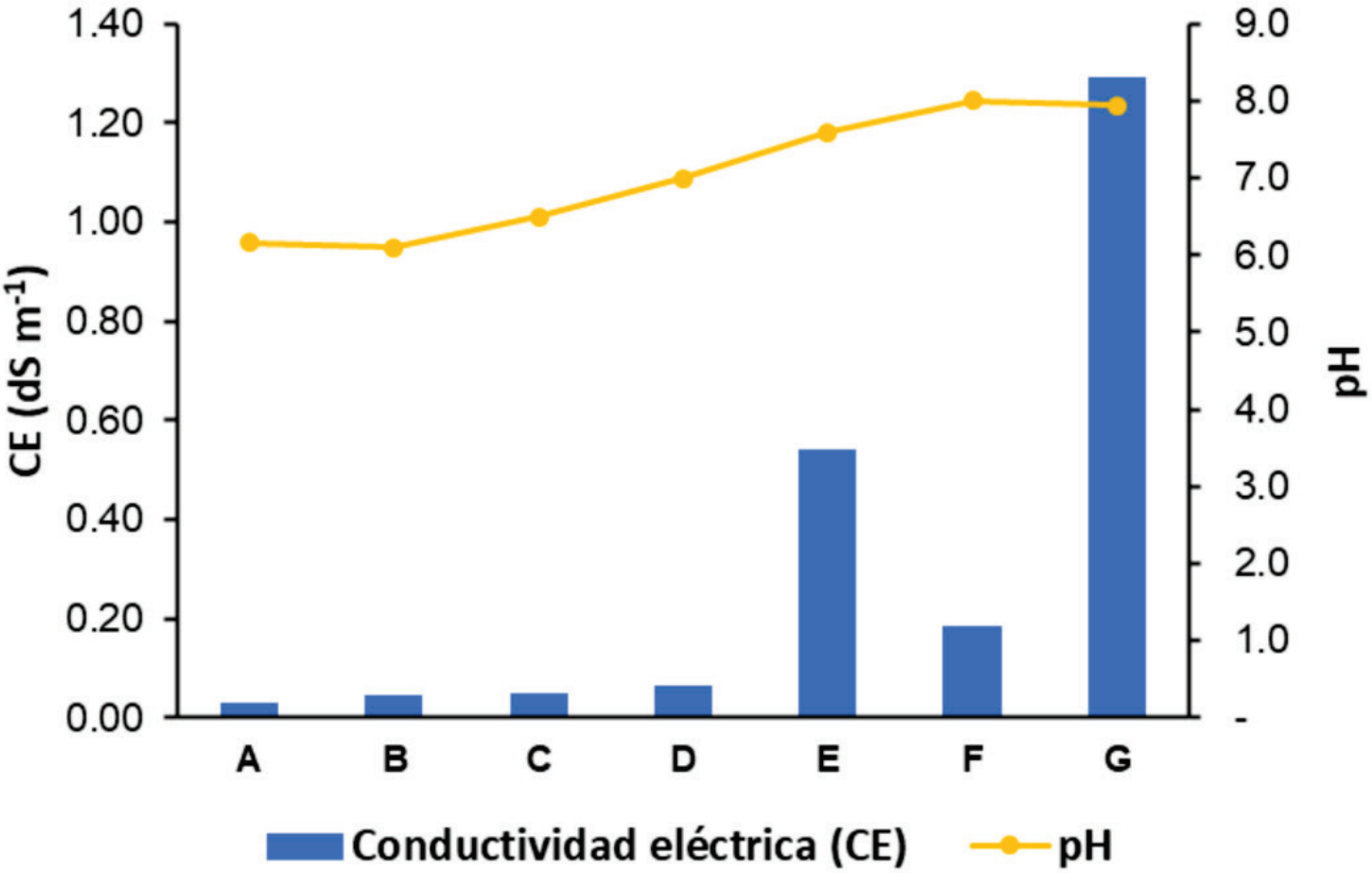

Figura 6. Comparación de los valores de conductividad eléctrica (CE) y pH de diferentes fuentes de agua: A) agua de lluvia; B) agua destilada 1; C) agua destilada 2; D) agua de charco; E) agua de la llave; F) agua del SCALL rural; y G) agua del SCALL urbano.

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 17(4), 309-363. DOI: 10.24850/j-tyca-2026-04-08

Tecnología y Ciencias del Agua

OPEN ACCESS

Check for updates

Grado de restricción del agua lluvia de los SCALL para el uso en riego de huertos familiares

El grado de restricción del uso del agua de lluvia de los SCALL para riego de acuerdo con Ayers y Westcot (1994), Castellanos (2000) y García (2012) muestra que la zona rural (Almoloya, Hidalgo) no presentó grado de restricción para la mayoría de los parámetros, con excepción del pH en el límite del grado de restricción de leve a moderado. Por el contrario, en la zona urbana (Iztapalapa, CDMX) se mostró un grado de restricción de leve a moderado para CE, pH, RAS, Cl^- y HCO_3^-; el pH y RAS están en el límite de este grado de restricción (Tabla 4).

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tabla 4. Grado de restricción del agua de lluvia de los SCALL para riego en huertos de la zona rural y urbana.

Variable	Unidad	Zona rural		Zona urbana	
		Media (desviación estándar)	Grado de restricción	Media (desviación estándar)	Grado de restricción
Conductividad eléctrica (CE)	dS m^{-1}	0.19(±0.09)	ninguno	1.29(±0.18)	lev-mod
pH	---	8(±0.21)*	lev-mod	7.95(±0.19)*	lev-mod
Relación de adsorción de sodio (RAS)	---	0.34(±0.31)	ninguno	6.13(±3.40)*	lev-mod
Calcio (Ca^{2+})	mg l^{-1}	21.09(±7.79)	ninguno	15.47(±6.74)	ninguno
Magnesio (Mg^{2+})	mg l^{-1}	3.37(±3.51)	ninguno	19.25(±13.73)	ninguno
Sodio (Na^{+})	mg l^{-1}	7.07(±7.50)	ninguno	170.86(±125.26)	ninguno
Potasio (K^{+})	mg l^{-1}	7.35(±3.54)	ninguno	21.22(±9.82)	ninguno
Sulfatos (SO_4^{-})	mg l^{-1}	1.74(±0.82)	ninguno	4.2(±2.62)	ninguno
Bicarbonatos (HCO_3^{-})	mg l^{-1}	89.27(±44.20)	ninguno	392.11(±274.9)	lev-mod
Cloruros (Cl^{-})	mg l^{-1}	6.12(±3.91)	ninguno	162.39(±106.32)	lev-mod†
Carbonatos (CO_3^{2-})	mg l^{-1}	3.37(±6.17)	ninguno	3.4(±6.91)	ninguno
Nitratos (NO_3^{-})	mg l^{-1}	1.87(±0.58)	ninguno	2.6(±1.46)	ninguno
Boro (B^{3+})	mg l^{-1}	0(±0)	ninguno	0.71(±0.24)	ninguno
Hierro (Fe^{2+})	mg l^{-1}	0.01(±0.01)	ninguno	0.25(±0.30)	ninguno
Manganeso (Mn^{2+})	mg l^{-1}	0.001 (±0)	ninguno	0.002(±0.001)	ninguno
Cobre (Cu^{2+})	mg l^{-1}	0.001 (±0)	ninguno	0.001(±0)	ninguno
Zinc (Zn^{2+})	mg l^{-1}	0.18(±0.22)	ninguno	0.03(±0.02)	ninguno

Grado de restricción de leve a moderado = lev-mod.

*Con valores en el límite del grado de restricción de leve a moderado; el pH está en el rango permisible para uso agrícola según la Ley Federal de Derechos (LFD, 2024).

† Los cloruros (Cl^{-}) exceden el máximo permisible de la LFD (2024).

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 17(4), 309-363. DOI: 10.24850/j-tyca-2026-04-08

Tecnología y Ciencias del Agua
OPEN ACCESS
Check for updates

Discusión

Conductividad eléctrica

De acuerdo con los rangos del grado de restricción de uso para riego de Ayers y Westcot (1994), la CE del agua de lluvia en la zona rural (0.19 dS m^{-1}) no presenta restricción de uso por tener una CE por debajo de 1 dS m^{-1}, esto indica que es adecuada para el riego de huertos familiares sin el riesgo de incrementar el contenido de sales solubles en el suelo, pudiendo regarse hortalizas, verduras (de tallo y hoja), algunas frutas, hierbas aromáticas y plantas medicinales que se siembran en forma continua durante el año y están adaptadas a las condiciones locales de un área rural; esto pudiera complementar las necesidades de productos frescos que consume una familia (Cano-Contreras, 2015).

Por el contrario, el agua de lluvia de la zona urbana presentó un valor de CE de 1.29 dS m^{-1}, valor máximo 1.99 dS m^{-1}, el cual tiene un grado de restricción de leve a moderado, por encontrarse entre los valores de 0.7 a 3.0 dS m^{-1} (Ayers & Westcot, 1994). Estos resultados indican que se pueden presentar problemas con incrementos en el contenido de sales solubles en el suelo o sustrato a corto o mediano plazo, lo cual dependerá de la frecuencia de riego y el espacio, que es muy reducido en los huertos familiares urbanos. El valor de CE del agua de lluvia de los SCALL en las zonas urbanas se sugiere sea tomado en cuenta, al analizarse los programas de la multifuncionalidad de los huertos familiares urbanos en la CDMX y poder garantizar que se cumpla el objetivo de ser una fuente externa y complementaria de alimentos (Alcántara-Nieves & Larroa-Torres, 2022).

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 17(4), 309-363. DOI: 10.24850/j-tyca-2026-04-08

El valor medio de CE de 1.29 dS m^{-1} de la zona urbana de Iztapalapa difiere de lo mencionado por Haque y Rinkey (2019), quienes reportaron para las zonas urbanas de la ciudad de Dhaka, Bangladesh, la segunda ciudad más contaminada del mundo, valores de CE en un rango de 0.026 a 0.436 dS m^{-1}; por su parte, Emmanuel *et al.* (2021), en Umuahia, Southeastern, Nigeria, reportaron valores entre 0.012 y 0.044 dS m^{-1}, que de acuerdo con las normas de calidad de agua potable de sus países y de la Organización Mundial de la Salud (OMS) no presentan restricción alguna para su uso.

Esto podría indicar que el agua de lluvia de la zona urbana de Iztapalapa presenta una mayor concentración de sales disueltas en comparación con otras áreas urbanas del mundo. Sin embargo, es importante mencionar que el clima, el lugar de recolecta de la muestra de agua lluvia en los SCALL, los sitios de muestreo —rural o urbano— y el material de los SCALL es muy variable, y por tanto se reportan valores de CE muy diferentes entre zonas urbanas. Al respecto, Haque y Rinkey (2019) mencionan que analizaron el agua de lluvia de las muestras recogidas de la escorrentía superficial de los tejados de diferentes lugares de la ciudad y Emmanuel *et al.* (2021) analizaron el agua de lluvia proveniente de los sistemas de captación de agua en los tejados, donde la zona presenta precipitaciones tropicales de alta intensidad (de 1 900 a 2 400 mm), que producen un gran volumen de flujo superficial; por tanto, bajo estas condiciones, no es posible comparar la CE de la zona urbana de Iztapalapa, que tiene una precipitación anual promedio de 679 mm, y no se analizó el agua de lluvia de la escorrentía en los techos.

De forma similar, Rangel-González y Domínguez-Sánchez (2018) reportan CE medias de 0.68 dS m^{-1} (mínimas de 0.11 dS m^{-1} y máximas

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 17(4), 309-363. DOI: 10.24850/j-tyca-2026-04-08

de 6.69 dS m^{-1}) para el agua de lluvia almacenada de 91 SCALL de la CDMX proveniente de unidades habitacionales, casa-habitación, inmuebles públicos y comerciales, lo cual evidencia la variabilidad de dicho parámetro en los diferentes SCALL. Al respecto, Mendez *et al*. (2011) indican que la CE del agua de lluvia de los SCALL puede verse afectada debido al material de los techos, ya que con el paso del tiempo aumenta la liberación media de partículas, lo que incrementa las concentraciones, en comparación con el agua de lluvia que no ha estado en contacto con superficies.

Los principales iones que causan la salinidad (1.29 dS m^{-1}) en el agua de los SCALL de la zona urbana de Iztapalapa son el Na^+ (170.86 ±125.2 mg l^{-1}), Cl^- (162.39 ±106.32 mg l^{-1}) y HCO_3^- (392.11 ±274.90 mg l^{-1}). Al respecto, Mendez *et al*. (2011) señalan que una solución con una concentración alta de Na^+ y Cl^- tendrá una CE más alta. Por lo tanto, las CE más altas (6.69 dS m^{-1}), reportadas por Rangel-González y Domínguez-Sánchez (2018), podrían ser el resultado de las altas concentraciones de sodio (946.50 mg l^{-1}), potasio (810 mg l^{-1}) y cloruros (97.80 mg l^{-1}) provenientes de los depósitos de almacenamiento de los SCALL.

Al comparar los resultados de las muestras de agua de lluvia por tipo de material del techo de captación —concreto o lámina—, la CE presenta valores más altos en techos de concreto (1.22 dS m^{-1}), en comparación con los de lámina (0.35 dS m^{-1}). Estos resultados indican que hay un efecto del material de los techos de captación en la calidad del agua en los SCALL debido a que las superficies de los techos en los asentamientos urbanos aportan un exceso de iones al agua de lluvia, que incrementan los valores de la CE, turbidez y total de sólidos solubles de

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 17(4), 309-363. DOI: 10.24850/j-tyca-2026-04-08

los techos de tejas de concreto, especialmente en los techos viejos (Mendez *et al*., 2011). Además, en las zonas urbanas, como la CDMX, se incrementa la concentración de los iones de cloruros y sodio debido al tratamiento de cloración del agua de lluvia captada mediante pastillas de hipoclorito de sodio para eliminar microorganismos nocivos para la salud (Lozano-Quiroz, 2023); en consecuencia, se incrementa la CE del agua de lluvia de los SCALL urbanos.

pH

En cuanto al pH, con base en los rangos del grado de restricción publicados por Ayers y Westcot (1994), el pH del agua de lluvia en la zona rural es de 8.00 y el de la zona urbana de 7.95, presentando un grado de restricción de leve a moderado; se consideran aguas alcalinas en ambos casos. Estudios previos han reportado que el agua de lluvia es ligeramente ácida, pH = 5.6 (Baird & Cann, 2014), y se alcaliniza por el contacto con el material de los SCALL, como se ha reportado en el caso del contacto del agua de lluvia con el concreto (Despins *et al.*, 2009; Mendez *et al.*, 2011; Emmanuel *et al*., 2021), lo cual podría ser la causa del resultado del pH de la zona urbana en Iztapalapa, donde predominan los techos de concreto.

La alcalinización del agua de lluvia en los SCALL rural y urbano difiere de lo mencionado por Ímaz-Gispert *et al*. (2018), quienes reportaron un pH promedio de 6.22 para un SCALL de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) en la CDMX. Esta diferencia se atribuye al tipo de material del techo utilizado como área de captación de agua de lluvia; el material se trata de vidrio templado, el cual se considera un material inerte que no reacciona químicamente con el agua de lluvia,

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 17(4), 309-363. DOI: 10.24850/j-tyca-2026-04-08

por lo que el pH del agua que escurre sobre techos de cristal se mantiene en el rango de ligeramente ácida, similar al del agua de lluvia. Asimismo, Klein-Garavito (2015) reportó que tejas de zinc (en un rango de 5.75 a 6.79) y barro (en un rango de 6.06 a 6.33) tienen un pH cercano a neutro.

Por otra parte, Rangel-González y Domínguez-Sánchez (2018) mencionan que en las muestras obtenidas del agua de lluvia almacenada en cisternas y tinacos, en SCALL de la CDMX, los valores de pH oscilaron principalmente entre los neutros a ligeramente alcalinos (media =7.60, máxima = 9.75 y mínima = 5.37); sin embargo, un estudio realizado en Ontario, Canadá, a 360 muestras de SCALL, mostró una variabilidad de pH en el agua de lluvia almacenada en reservorios de tanques de plástico donde el agua era ligeramente ácida y en reservorios de concreto donde el agua era ligeramente alcalina (Despins *et al.*, 2009). Lo anterior indica que se deben proponer metodologías para evaluar cómo afectan a los parámetros de la calidad del agua de lluvia los materiales con que están construidos los diferentes sistemas de los SCALL tanto en zonas rurales como urbanas.

Sin embargo, la calidad del agua de lluvia se ve afectada por diversos factores. Un estudio de Díaz-Ibarra *et al.* (2014) —quienes monitorearon el pH del agua de lluvia en cuatro sitios de la ciudad de Culiacán, Sinaloa— registró valores de pH promedio de 6.09 para la zona sur, de 6.97 para la zona norte, valores máximos de 7.7, y algunos valores mínimos de pH ≤ 5.5 en la zona sur y centro de la ciudad, por lo que sugieren monitorear el pH del agua de lluvia para comprender este comportamiento. Además, mencionan que no hay estudios donde se considere si el incremento en los últimos años del parque vehicular, el impacto que las ladrilleras, la no regulación, la tala clandestina y la

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 17(4), 309-363. DOI: 10.24850/j-tyca-2026-04-08

erosión del suelo podrían afectar los valores del pH del agua de lluvia en la ciudad de Culiacán.

De acuerdo con Baird y Cann (2014), el contenido de carbonatos y bicarbonatos condicionan el pH donde el ácido carbónico es dominante a pH < 5, el carbonato domina a pH > 12 y el bicarbonato es el ion predominante en un rango de pH entre 7 y 10. En el caso de bicarbonatos, las aguas de lluvia de la zona urbana (392.11 mg l^{-1}) presentan un grado de restricción de leve a moderado (Ayers & Westcot, 1994). Debido a que el pH alcalino está determinado por las concentraciones de iones HCO_3^- y CO_3^{2-} presentes en el agua, el contenido de HCO_3^- en el agua de lluvia captada en los tanques de almacenamiento en la zona urbana pudo influenciar tener un pH de 7.95, ligeramente alcalino.

Por el contrario, en la zona rural, la media del contenido de bicarbonatos fue de 89.27 mg l^{-1}, siendo cuatro veces menor que el contenido de la zona urbana, sin presentar ningún grado de restricción. A pesar de que el contenido de HCO_3^- del agua de lluvia de la zona rural fue más bajo, puede influir en que el pH del agua sea de 8.0 debido a que el poco contenido de CO_3^{2-} influencia que el HCO_3^- domine y que el agua de lluvia de las cisternas presente una alcalinidad moderada.

El rango de restricción de leve o moderado del pH de las aguas de lluvia de los SCALL rural y urbano está en el límite del rango deseable para el riego en huertos familiares, lo cual puede afectar el desarrollo de las plantas por la falta de disponibilidad de fósforo, hierro, zinc y manganeso (García, 2012); sin embargo, se podrían utilizar algunas prácticas sencillas que mantengan el pH en un rango cercano a la neutralidad (Castellanos, 2000), como la aplicación de compost, o hacer cambios del suelo o sustrato. La recomendación de ácidos para bajar el

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 17(4), 309-363. DOI: 10.24850/j-tyca-2026-04-08

pH no se recomienda, dado que el agua de lluvia se utilizará para riego de huertos familiares y es riesgoso que se manejen ácidos en una familia por la presencia de niños.

Relación de absorción de sodio

Según los rangos de la relación de adsorción de sodio (RAS) establecidos por Castellanos (2000), el agua de lluvia en la zona rural, con un RAS de 0.34, no presenta grado de restricción con respecto al efecto del sodio. En general, los estudios de calidad de agua de lluvia de SCALL no incluyen al RAS como un parámetro a analizar. Al respecto, Ayers y Westcot (1994) solo incluyen la RAS, junto con la CE, para evaluar problemas de infiltración de agua en la superficie del suelo; en estudios de calidad de aguas de riego de fuentes subterráneas es muy común reportar valores de RAS (Castellón-Gómez *et al*., 2015).

En contraste, para la zona urbana se obtuvo un RAS de 6.13 ± 3.40 estando en el límite del grado de restricción de leve a moderado (Castellanos, 2000), por lo que podría haber un efecto en el suelo de los huertos familiares por la acumulación de sodio, que dependería de la frecuencia de riego. Por otra parte, algunos SCALL de la zona urbana presentaron valores máximos de RAS en el rango de 7.35 a 10.3, estando en grado de restricción severo. Sin embargo, al ser limitados los estudios de agua de lluvia que reporten RAS altos, es necesario hacer evaluaciones y estimar qué valor de RAS podría llegar a tener un suelo (Aparicio *et al*., 2014) al ser regado con agua de lluvia con un RAS con grado de restricción de leve a moderado o severo, y poder recomendar esa agua de lluvia para riego en huertos familiares.

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 17(4), 309-363. DOI: 10.24850/j-tyca-2026-04-08

Por otro lado, el Na^+ —aunque no representa riesgo, porque se encuentra abajo del umbral de restricción para uso en riego establecido por Ayers y Westcot (1994)—, la concentración de sodio en el agua de lluvia urbana (170.86 ±125.26 mg l^{-1}), es significativamente mayor que en la zona rural (7.07 ± 7.50 mg l^{-1}). La concentración alta de sodio se atribuye —al igual que a la de los cloruros— a que los SCALL instalados por la Secretaría del Medio Ambiente (Sedema) en la zona urbana de la CDMX incluyen un tratamiento de cloración mediante pastillas de hipoclorito de sodio (Lozano-Quiroz, 2023). Además, las concentraciones del Na^+ en algunos SCALL de Iztapalapa, CDMX, llegaron a medirse con cantidades máximas de 246 a 350 mg l^{-1}. De los resultados de este estudio se recomienda incluir la RAS en los análisis de calidad de agua de lluvia para riego en huertos familiares, a fin de evaluar su aptitud para riego debido a que la RAS es un parámetro que es el resultado de las concentraciones de sodio, calcio y magnesio contenidas en el agua de riego.

Efecto de iones específicos

Además del Na^+, los iones que presentaron concentraciones elevadas en el agua de lluvia de la zona urbana y causan algún grado de restricción para riego en huertos familiares son los HCO_3^- (392.11 mg l^{-1}) y Cl^- (162.39 mg l^{-1}), ambos con un grado de restricción de leve a moderado (Ayers & Westcot, 1994); sin embargo, de acuerdo con la LFD (2024), el Cl^- está arriba del máximo permisible (150 mg l^{-1}).

En el caso del agua de lluvia de la zona urbana, se midieron concentraciones de HCO_3^- altas (392.11 mg l^{-1}) y aún más elevadas se encontraron por el material de los techos de concreto (áreas de captación)

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 17(4), 309-363. DOI: 10.24850/j-tyca-2026-04-08

de 451.25 mg l^{-1}. Por otro lado, en la zona rural, la concentración de HCO_3^- fue de 89.27 mg l^{-1}, y en los techos de lámina —que son los que predominan en la zona— se registró una concentración más baja (72.24 mg l^{-1}); ambas concentraciones sin grado de restricción. Por otra parte, Ímaz-Gispert *et al*. (2018) reportan concentraciones de HCO_3^- muy bajas (media de 13.80 mg l^{-1} y máxima de 68.2 mg l^{-1}) para un SCALL con techo de cristal; ello evidencia que el material con que están construidos los SCALL puede tener una influencia en la concentración de iones específicos.

Es bien conocido que los HCO_3^- tienden a formar precipitados en forma de carbonato de calcio ($CaCO_3$) en aguas con pH superiores a 7.5, y pueden causar obstrucción en sistemas de riego por goteo (García, 2012; Villavicencio & Villablanca, 2010); esta posible problemática debe tenerse en cuenta, ya que actualmente el riego por goteo casero es muy común en huertos familiares y por utilizar materiales de bajo costo o reciclados.

Para Cl^- —de acuerdo con Ayers y Westcot (1994)—, se considera que no hay restricción cuando la concentración es menor de 142 mg l^{-1}; mientras que hay una restricción de leve a moderada para concentraciones entre 142 y 532 mg l^{-1}. El agua de lluvia captada en los SCALL rurales tuvo un valor promedio de 6.1 mg l^{-1}; esto indica que el agua es segura para el riego en huertos familiares, sin riesgo de toxicidad. En contraste, el agua de lluvia captada en los SCALL urbanos fue de 162.39 mg l^{-1}, valor que está dentro del rango de restricción de leve a moderada, lo que significa que aunque el agua de lluvia urbana puede ser utilizada para riego, puede haber ciertos riesgos de toxicidad por cloruros para algunas plantas cultivadas (Ayers & Westcot, 1994). A fin de reducir

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 17(4), 309-363. DOI: 10.24850/j-tyca-2026-04-08

el riesgo de toxicidad por Cl^-, no es recomendable asperjar o rociar las plantas debido a que podría haber una absorción de Cl^- a través de las hojas y causar toxicidad (Bonet-Pérez & Ricardo-Calzadilla, 2011).

La concentración de cloruros de la zona urbana excede el máximo permisible para uso agrícola (150 mg l^{-1}), según lo indica la Ley Federal de Derechos en materia de aguas nacionales (LFD, 2024). La concentración alta de los cloruros se atribuye a que los SCALL instalados por la Sedema en la zona urbana de la CDMX incluyen un tratamiento de desinfección mediante pastillas de hipoclorito de sodio (Lozano-Quiroz, 2023); al respecto, Ímaz-Gispert *et al*. (2018) mencionan que las concentraciones de cloruros no fueron discutidas, pues no provenían del agua de lluvia, sino que se añadieron en la cisterna de almacenamiento para la desinfección. Sin embargo, en este estudio sí se consideraron los Cl^- en el análisis de la calidad del agua de lluvia de los SCALL urbanos, debido a que están presentes en el agua de lluvia almacenada en los tinacos y podría ser potencialmente utilizada para riego y afectar las plantas de los huertos urbanos. La concentración del ion Cl^- de la zona urbana de Iztapalapa difiere de la reportada por Haque y Rinkey (2019), y Emmanuel *et al*. (2021), quienes señalaron valores de 4.98 y 0.76 mg l^{-1}, respectivamente, y no presentan restricción alguna por cloruros; sin embargo, en dichos estudios no se indica sistema de cloración en los sistemas de almacenamiento de los SCALL.

Por otro lado, los estudios recientes de Lozano-Quiroz (2023) mencionan que la cloración en los SCALL de la CDMX se realiza de forma incorrecta debido a que hay poca claridad en la cloración, y las personas no ajustan la cantidad de pastillas de hipoclorito de sodio a los litros de agua de lluvia que se ha almacenado; tan solo del 10 al 14 % de las

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 17(4), 309-363. DOI: 10.24850/j-tyca-2026-04-08

personas conoce cuál es la frecuencia de hacer la cloración; por tanto, un manejo correcto de la cloración podría disminuir las concentraciones de cloruros y, por ende, de sodio en el agua de los SCALL, lo cual evidencia problemas en la desinfección en la zona urbana de Iztapalapa debido a que en las muestras recolectadas se obtuvieron valores de Na^{+} en un rango de 6.21 a 350.0 mg l^{-1} y de Cl^{-} en el rango de 7.7 a 306.0 mg l^{-1}.

Los iones K^{+}, Ca^{+2}, Mg^{2+}, SO_4^{2-} y NO_3^{-} se encuentran en bajas concentraciones en el agua de lluvia, por lo que no presentan restricciones para riego tanto en la zona rural como en la zona urbana; por otra parte, dichos iones son nutrimentos esenciales que pueden aprovechar las plantas de los huertos familiares (Andrade *et. al*., 1995) si se mantienen disponibles. Sin embargo, los iones Fe^{2+}, Mn^{2+}, Cu^{2+}, Zn^{+2} y B^{3+} se presentaron en concentraciones muy bajas. Rangel-González y Domínguez-Sánchez (2018) reportan concentraciones de 0.14 y 0.12 mg l^{-1} para Fe^{2+} y Mn^{2+}, respectivamente, y en este estudio fueron para Fe^{2+} de 0.1 mg l^{-1} en la zona rural y 0.25 mg l^{-1} en la zona urbana, y para Mn^{2+} de 0.001 mg l^{-1} en la zona rural y 0.002 mg l^{-1} en la zona urbana.

El análisis por tipo techo indica que los techos de concreto tienen un incremento significativo en las concentraciones de los iones Mg^{2+}, K^{+}, SO_4^{-} y NO_3^{-}, y por tanto aportan más cantidad de nutrimentos para las plantas de huertos familiares de la zona urbana, donde predominan los techos de concreto. Por el contrario, el aporte de los iones Ca^{2+}, B^{3+}, Fe^{2+}, Mn^{2+}, Cu^{2+} y Zn^{2+} no reflejó diferencias significativas entre zonas y tipos de techos.

Por el contrario, Emmanuel *et al.* (2021) reportan un incremento significativo de Zn^{2+} en techos de lámina corrugada de hierro respecto a techos de asbesto, aluminio y teja tipo Harvey, lo cual coincide con lo

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 17(4), 309-363. DOI: 10.24850/j-tyca-2026-04-08

reportado por Chizoruo y Onyekachi (2018); mientras que Klein-Garavito (2015) encontró que las láminas de zinc, acero galvanizado o metales galvanizados son las más adecuadas para la recolección de agua lluvia de alta calidad, gracias a su baja rugosidad, que facilita el escurrimiento y la limpieza del techo en el primer lavado.

Sin embargo, también se tiene que considerar que el transporte de materia seca acumulada en la superficie de los techos del periodo de secas anterior y de partículas acumuladas debido al desgaste del material de los techos de captación, además del polvo y niebla en suspensión, excrementos de aves y otros residuos, son causa de incrementos en los valores de los parámetros de la calidad de agua de lluvia proveniente de los SCALL (Emmanuel *et al*., 2021).

Conclusiones

El agua de lluvia de los sistemas de captación de agua de lluvia de la zona rural (ejido de Almoloya, Hidalgo) y de la zona urbana (Iztapalapa, CDMX) son viables para riego en huertos familiares. Sin embargo, el estudio comparativo mostró que la calidad del agua de lluvia de la zona urbana presentó incrementos significativos en la CE, RAS, y de los iones Mg^{2+}, K^{+} y SO_4^{-}, y se encontraron muy altas concentraciones de HCO_3^{-}, Na^{+} y Cl^{-}. Estas diferencias evidencian que el agua de lluvia en el área urbana de Iztapalapa presentó mayores niveles de sales disueltas en comparación con la zona rural en el ejido de Almoloya. El tipo de techo del área de captación y el tratamiento de desinfección mediante pastillas de hipoclorito de sodio son la causa probable de dichos incrementos. Para que el agua de lluvia de los SCALL urbanos de Iztapalapa, CDMX, sea recomendable para riego, es necesario llevar a cabo algunos ajustes

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 17(4), 309-363. DOI: 10.24850/j-tyca-2026-04-08

simples y prácticos, como cambio de suelo, adición de compost y no hacer riegos por aspersión a las plantas, para evitar problemas con el pH ligeramente alcalino y la concentración de bicarbonatos, además de tener un mejor manejo de la desinfección con pastillas de hipoclorito de sodio, que son las causantes de altos valores de los iones sodio y cloro, que pueden afectar suelos y plantas de los huertos familiares.

Por lo anterior, cuando se realicen análisis de calidad de agua con enfoque de riego en huertos familiares es recomendable poner especial atención a los parámetros de la CE, pH y RAS, y la concentración de los iones Na^+, Cl^- y HCO_3^-, sobre todo cuando los SCALL tengan áreas de captación con techos de concreto y se desinfecte el agua almacenada. Es factible mencionar que la zona rural de Almoloya, Hidalgo, presenta mejores características de calidad de agua debido a que los techos de captación son principalmente de lámina lisa galvanizada y su filtro no incluye la cloración del agua, y solo se requerirá monitorear el pH del agua de lluvia de los SCALL de la zona debido a su ligera alcalinidad.

Referencias

Alcántara-Nieves, N., & Larroa-Torres, R. M. (2022). La multifuncionalidad de los huertos urbanos en la Ciudad de México. *Espiral (Guadalajara)*, *29*(83), 187-229. https://doi.org/10.32870/eees.v29i83.7235

Andrade, G. D. C., Da Silva, H. D., Ferreira, C. A., Bellote, A. F. J., & Moro, L. (1995). Contribución del agua de lluvia en la oferta de nutrientes minerales para *Eucalyptus grandis*. *Bosque*, *16*(1), 47-51. https://doi.org/10.4206/bosque.1995.v16n1-04

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Amat, R. J. (2016). *T-test*. *Ciencia de datos*. https://cienciadedatos.net/documentos/12_t-test

Amat, R. J. (2017). *Test de Wilcoxon Mann-Whitney como alternativa al t-test*. *Ciencia de Datos*. https://cienciadedatos.net/documentos/17_mann%E2%80%93whitney_u_test

Amos, C. C., Rahman, A., Karim, F., & Gathenya, J. M. (2018). A scoping review of roof harvested rainwater usage in urban agriculture: Australia and Kenya in focus. *Journal of Cleaner Production*, *202*, 174-190. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.108

Aparicio, V. C., Barbacone, A., & Costa, J. L. (2014). Impacto de la calidad de agua para riego suplementario en las propiedades químicas de suelos de regiones húmedas-subhúmedas. *Ciencia del Suelo*, *32*(1), 95-104. https://www.ojs.suelos.org.ar/index.php/cds/article/view/53

Ayers, R. S., & Westcot, D. W. (1994). *Water quality for agriculture*. Food and Agriculture-Organization of the United Nations. https://www.fao.org/4/t0234e/t0234e00.htm

Beirne, M., Bronzi, O., Quiros, M., Silverman, J., Tendulkar, S., & Kosinski, K. (2021). Rainwater harvesting systems in urban areas and the potential value of incorporating community engagement. *The Columbia University Journal of Global Health*, *11*(2). https://doi.org/10.52214/cujgh.v11i2.8081

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Boelee, E., Yohannes, M., Poda, J. N., McCartney, M., Cecchi, P., Kibret, S., Hagos, F., & Laamrani, H. (2013). Options for water storage and rainwater harvesting to improve health and resilience against climate change in Africa. *Regional Environmental Change*, *13*(3), 509-519. https://doi.org/10.1007/s10113-012-0287-4

Baird, C., & Cann, M. (2014). *Química ambiental* (2a ed.). Reverté. https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9788429194258_A39654026/preview-9788429194258_A39654026.pdf

Bonet-Pérez, C., & Ricardo-Calzadilla, M. P. (2011). Calidad del agua de riego y su posible efecto en los rendimientos agrícolas en la Empresa de Cultivos Varios Sierra de Cubitas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, *20*(3), 19-23. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2071-00542011000300003&script=sci_arttext

Cano-Contreras, E. J. (2015). Huertos familiares: un camino hacia la soberanía alimentaria. *Revista Pueblos y Fronteras Digital*, *10*(20), 70-91. https://doi.org/10.22201/cimsur.18704115e.2015.20.33

Campisano, A., Butler, D., Ward, S., Burns, M. J., Friedler, E., DeBusk, K., Fisher-Jeffes, L. N., Ghisi, E., Rahman, A., Furumai, H., & Han, M. (2017). Urban rainwater harvesting systems: Research, implementation and future perspectives. *Water Research*, *115*, 195-209. https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.02.056

Castellanos, J. Z. (2000). *Guía para la interpretación del análisis de suelo y agua*. Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura. https://www.academia.edu/10896916/Guia_de_interpretacoin_de_analisis_de_suelos_y_aguas_Final

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Castellón-Gómez, J. J., Bernal-Muñoz, R., & Hernández-Rodríguez, M. D. L. (2015). Calidad del agua para riego en la agricultura protegida en Tlaxcala. *Ingeniería*, *19*(1), 39-50. https://www.revista.ingenieria.uady.mx/ojs/index.php/ingenieria/article/view/13

Chizoruo, I. F., & Onyekachi, I. B. (2016). Roof runoff water as source of pollution: a case study of some selected roofs in Orlu metropolis, Imo State, Nigeria. *International Letters of Natural Sciences*, *50*, 53-61. https://doi.org/10.56431/p-0ji17u

Conagua, Comisión Nacional del Agua. (2016). *Lineamientos técnicos: sistema de captación de agua de lluvia con fines de abasto de agua potable a nivel vivienda*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/152776/LINEAMIENTOS_CAPTACI_N_PLUVIAL.pdf

Cuellar-Carrasco, E., Ortega-Escobar, M., Ramírez-Ayala, C., & Sánchez Bernal, E. I. (2015). Evaluación de la relación de adsorción de sodio de las aguas de la red hidrográfica del Valle del Mezquital, Hidalgo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, *6*(5), 977-989. https://doi.org/10.29312/remexca.v6i5.592

Delegación Iztapalapa. (2011). *Atlas de riesgos naturales de la delegación Iztapalapa, México, D.F., 2011.* https://rmgir.proyectomesoamerica.org/PDFMunicipales/2011/vr_09007_AR_IZTAPALAPA.pdf

Despins, C., Farahbakhsh K., & Leidl, C. (2009). Assessment of rainwater quality from rainwater harvesting systems in Ontario, Canada. *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua*, *58*(2), 117-134. https://doi.org/10.2166/aqua.2009.013

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Díaz-Ibarra, M. A., Muy-Rangel, M. D., Rubio-Carrasco, W., & Ramos-Félix, E. (2014). Monitoreo del pH del agua de lluvia para la ciudad de Culiacán, Sinaloa. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, *10*(1), 23-31. https://revista.itson.edu.mx/index.php/rlrn/article/view/229

Dile, Y. T., Karlberg, L., Temesgen, M., & Rockström, J. (2013). The role of water harvesting to achieve sustainable agricultural intensification and resilience against water related shocks in sub-Saharan Africa. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *181*, 69-79. https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.09.014

DOF, Diario Oficial de la Federación. (1992). *DOF:06/11/1992. Acuerdo por el que se determina como zona especial de desarrollo controlado a la colonia "San Miguel Teotongo" delegación Iztapalapa; y se aprueba su normatividad*. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4697186&fecha=06/11/1992#gsc.tab=0

Emmanuel, U., Samuel, K., & Ugona, U. (2021). Assessment of the suitability of urban residential roof catchments for rainwater capturing in Umuahia, southeastern Nigeria. *Jordan Journal of Earth and Environmental Sciences*, *12*(1), 22-35. https://jjees.hu.edu.jo/files/Vol12No1/JJEES_Vol_12_No_1_LQ.pdf

Fernández, H. A., Salazar-Moreno, R., Fitz-Rodríguez, E., López-Cruz, I. L., Schmidt, U., & Dannehl, D. (2023). Rendimientos y eficiencia en el uso del agua de lechuga y tomate cherry en jardines urbanos. *Tecnología y ciencias del agua*, *14*(5), 220-256. https://doi.org/10.24850/j-tyca-14-05-05

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

García, O. A. (2012). Criterios modernos para evaluación de la calidad del agua para riego. Primera parte. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*, *6*, 27-36. https://es.scribd.com/document/356302460/Criterios-Modernos-Para-Evaluacion-de-La-Calidad-El-Agua-Para-Riego

García-Ávila, F., Guanoquiza-Suárez, M., Guzmán-Galarza, J., Cabello-Torres, R., & Valdiviezo-Gonzales, L. (2023). Rainwater harvesting and storage systems for domestic supply: An overview of research for water scarcity management in rural areas. *Results in Engineering*, *18*, 101153. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101153

GEH, Gobierno del Estado de Hidalgo. (2011). *Enciclopedia de los municipios de Hidalgo. Almoloya*. Secretaría de Planeación, Desarrollo Regional y Metropolitano. http://docencia.uaeh.edu.mx/estudios-pertinencia/docs/hidalgo-municipios/Almoloya-Enciclopedia-De-Los-Municipios.pdf

Haque, M. S., & Rinkey, F. N. (2019). Rainwater quality assessment of different locations of Dhaka city. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, *8*(2), 269-273. https://doi.org/10.21275/ART20194918

Huang, A., & Chang, F. J. (2021). Prospects for rooftop farming system dynamics: An action to stimulate water-energy-food nexus synergies toward green cities of tomorrow. *Sustainability*, *13*(16), 9042. https://doi.org/10.3390/su13169042

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Igbinosa, I. H., & Aighewi, I. T. (2017). Assessment of the physicochemical and heavy metal qualities of rooftop harvested rainwater in a rural community. *Global Challenges*, *1*(6), 1700011. https://doi.org/10.1002/gch2.201700011

Ímaz-Gispert, M., Armienta-Hernández, M. A., Lomnitz-Climent, E., & Torregrosa-Flores, M. F. (2018). Rainwater harvesting as a drinking water option for Mexico City. *Sustainability*, *10*(11), 3890. https://doi.org/10.3390/su10113890

INEGI, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (1992). *Iztapalapa: Cuaderno de información básica delegacional*. https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/920/702825921538/702825921538.pdf

INEGI, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2010). *Compendio de información geográfica municipal 2010. Almoloya, Hidalgo.* https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/13/13007.pdf

Ingram, D. L. (2014). Understanding irrigation water test results and their implications on nursery and greenhouse crop management. *Agriculture and Natural Resources Publications*, 160. https://uknowledge.uky.edu/anr_reports/160

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Klein-Garavito, P. (2015). *Caracterización del primer lavado de escorrentía de aguas lluvias sobre diferentes tipos de techo ubicados dentro de la Universidad de los Andes* (trabajo de grado). Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia. https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/e6414104-8c1f-48b1-80bf-0186d58f969a/content

Lepcha, R., Patra, S. K., Ray, R., Thapa, S., Baral, D., & Saha, S. (2024). Rooftop rainwater harvesting a solution to water scarcity: A review. *Groundwater for Sustainable Development*, *26*, 101305. https://doi.org/10.1016/j.gsd.2024.101305

LFD, Ley Federal de Derechos. (2024). *Disposiciones aplicables en materia de aguas nacionales y sus bienes públicos inherentes para el ejercicio fiscal 2024 (Artículo 224-V)*. Comisión Nacional del Agua. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/915768/Ley_Federal_de_Derechos_2024.pdf

Livhuwani, V., Eunice, U. J., & Edokpayi, J. N. (2025). Water quality assessment of rooftop harvested rainwater across different roof types in a semi-arid region of South Africa. *Water Environment Research*, *97*(1), e70007. https://doi.org/10.1002/wer.70007

Lozano-Quiroz, M. F (2023). *Factores que influyen en el mantenimiento óptimo del sistema de captación de agua de lluvia* (tesis de maestría). Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Ciudad de México, México. https://tesiunam.dgb.unam.mx/F?current_base=TES01&func=direct&doc_number=000835125

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Lu, Z. L., & Yuan, K. H. (2010). *Welch's t test.* En: Salkind. N. J. (ed.) *Encyclopedia of Research Design* (pp. 1620-1623). Sage Publications, Inc. https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3057.9607

Lupia, F., Baiocchi, V., Lelo, K., & Pulighe, G. (2017). Exploring rooftop rainwater harvesting potential for food production in urban areas. *Agriculture*, *7*(6), 46. https://doi.org/10.3390/agriculture7060046

Mendez, C. B., Bae, S., Chambers, B., Fakhreddine, S., Gloyna, T., Keithley, S., Untung, L., Barrett, M. E., Kinney, K, & Kirisits, M. J. (2011). *Effect of roof material on water quality for rainwater harvesting systems – additional physical, chemical, and microbiological data.* Texas Water Development Board. https://islaurbana.org/wp-content/uploads/2022/10/pluvioteca-effect-root-material-water-quality-rainwater-harvesting-systems-2011.pdf

Nicholas, E. S., & Ukoha, P. O. (2023). Evaluation of the effect of different conventional roof types and industrial activity on harvested rainwater in Southern Nigeria. *Discover Water*, *3*(12). https://doi.org/10.1007/s43832-023-00036-y

R Core Team. (2025). R: A language and environment for statistical computing (Version 2023.12.1). R Foundation for Statistical Computing. https://www.r-project.org/

Rahman, S., Khan, M. T. R., Akib, S., Din, N. B. C., Biswas, S. K., & Shirazi, S. M. (2014). Sustainability of rainwater harvesting system in terms of water quality. *The Scientific World Journal*, *2014*(1), 721357. https://doi.org/10.1155/2014/721357

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Raimondi, A., Quinn, R., Abhijith, G. R., Becciu, G., & Ostfeld, A. (2023). Rainwater harvesting and treatment: State of the art and perspectives. *Water*, *15*(8), 1518. https://doi.org/10.3390/w15081518

Rangel-González, P. E., & Domínguez-Sánchez, T. A. (2018). Análisis de la calidad del agua en sistemas de captación en Ciudad de México. En: *Memorias del XXV Congreso Nacional de Hidráulica de la Asociación Mexicana de Hidráulica*. Colegio de Ingenieros Civiles de México, A. C., Ciudad de México, México. https://www.researchgate.net/publication/329363520

Sanyé-Mengual, E., Anguelovski, I., Oliver-Solà, J., Montero, J. I., & Rieradevall, J. (2016). Resolving differing stakeholder perceptions of urban rooftop farming in Mediterranean cities: Promoting food production as a driver for innovative forms of urban agriculture. *Agriculture and Human Values*, *33*(1), 101-120. https://doi.org/10.1007/s10460-015-9594-y

Secofi, Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. (1980). *NMX-AA-003-1980. Aguas residuales—muestreo*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166762/NMX-AA-003-1980.pdf

Sedema, Secretaría del Medio Ambiente. (2023). *Evaluación interna del programa cosecha de lluvia. Informe Anual del Ejercicio 2023.* https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/CosechaDeLluvia/Evaluacion_interna_del_programa_social_Cosecha_de_Lluvia_2023.pdf

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Sedema, Secretaría del Medio Ambiente. (2024). Aviso por el cual se dan a conocer las reglas de operación del programa Cosecha de Lluvia 2024. *Gaceta Oficial de la Ciudad de México*, (1268), 27-77. https://data.consejeria.cdmx.gob.mx/portal_old/uploads/gacetas/dea27c1ecea48a1f475a28cd9c578271.pdf

SMN, Servicio Meteorológico Nacional. (2024). *Base de datos climatológica nacional: estadística mensual (datos actualizados a noviembre de 2024)*. https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica

Ssekyanzi, G., Ahmad, M. J., & Choi, K. S. (2024). Sustainable solutions for mitigating water scarcity in developing countries: A comprehensive review of innovative rainwater storage systems. *Water*, *16*(17), 2394. https://doi.org/10.3390/w16172394

Téllez-Quintanar, C., Mocva-Kurek, R. K., González-Correa, C., & Centeno-Álvarez, J. C. (2022). *¿Cómo hacer un Sistema de Captación de Agua de Lluvia (SCALL) en mi escuela?* Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. https://doi.org/10.24850/b-imta-2022-06

Torres-Hugues, R. (2019). La captación del agua de lluvia como solución en el pasado y el presente. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, *40*(2), 125-139. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382019000200125&lng=es&tlng=en

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Sánchez-Rojas, G., & Bravo-Cadena, J. (2021). Medio físico del estado de Hidalgo. En: Ramírez-Bautista, A., Sánchez-González, A., Sánchez-Rojas, G., & Cuevas-Cardona, C. (eds.) *Biodiversidad del estado de Hidalgo*. Tomo I (pp. 25-42). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo-Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. https://doi.org/10.29057/books.32

UNAM, Universidad Nacional Autónoma de México. (2017). Sobreexplotación de mantos acuíferos en la CDMX, causa de fractura de tuberías y fugas de agua. *Boletín UNAM-DGCS*, *212*. https://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2017_212.html

Villavicencio, P. A., & Villablanca, F. A., (2010). Prevención de obstrucciones de emisores por causas químicas y biológicas. *Informativo INIA Ururi, 30*, 1-4. https://hdl.handle.net/20.500.14001/4401

Zdeb, M., Papciak, D., & Zamorska, J. (2018). An assessment of the quality and use of rainwater as the basis for sustainable water management in suburban areas. *E3S Web of Conferences*, *45*, 00111. https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184500111

Zdeb, M., Zamorska, J., Papciak, D., & Słyś, D. (2020). The quality of rainwater collected from roofs and the possibility of its economic use. *Resources*, *9*(2), 12. https://doi.org/10.3390/resources9020012

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)