

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), marzo-abril 2026,
Volumen 10, Número 2.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v10i2

INDICADORES DE RECUPERACIÓN FINANCIERA DE SISTEMAS DE COSECHA DE LLUVIA EN VIVIENDAS URBANAS PARA UNA ADAPTACIÓN INFORMADA

**FINANCIAL RECOVERY INDICATORS OF RAINWATER
HARVESTING SYSTEMS IN URBAN HOUSEHOLDS FOR
INFORMED ADAPTATION**

Adrian Mendoza Andrade

Universidad Autonoma del Estado de Hidalgo – México

Omar Salvador Areu Rangel

Universidad Autonoma del Estado de Hidalgo – México

Liliana Lizárraga Mendiola

Universidad Autonoma del Estado de Hidalgo – México

Carlos A. Bigurra Alzati

Universidad Autonoma del Estado de Hidalgo - México

Valeria Volpi León

Universidad Autonoma del Estado de Hidalgo - México

Indicadores de recuperación financiera de sistemas de cosecha de lluvia en viviendas urbanas para una adaptación informada

Adrian Mendoza Andrade¹

andradeadrian0912@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0002-3820-3113>

Universidad Autonoma del Estado de Hidalgo
México

Omar Salvador Areu Rangel

omar_areu@uaeh.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0002-2644-9581>

Universidad Autonoma del Estado de Hidalgo
México

Liliana Lizárraga Mendiola

mendiola@uaeh.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0001-6320-8923>

Universidad Autonoma del Estado de Hidalgo
México

Carlos A. Bigurra Alzati

carlos_bigurra@uaeh.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0001-9740-9483>

Universidad Autonoma del Estado de Hidalgo
México

Valeria Volpi León

volpi@uaeh.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0001-8536-875X>

Universidad Autonoma del Estado de Hidalgo
México

RESUMEN

Este estudio evaluó la viabilidad socioeconómica de los sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL) en entornos urbanos semiáridos, específicamente en la colonia Paseos de Chavarría, Hidalgo, México. La zona se subdividió en Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEB) para estimar el número de habitantes y de personas económicamente activas por vivienda. El análisis consideró el costo regional del sistema, el ingreso promedio mensual de los hogares y el ahorro económico generado por el volumen de agua cosechada, con el objetivo de determinar su viabilidad financiera mediante indicadores que relacionan costo, ingreso familiar y ahorro. Los resultados muestran que el ingreso mensual más bajo equivale a 1.84 salarios mínimos en 2026 (\$17,603.88 MXN), mientras que el costo del sistema es de \$11,311.28 MXN (1.18 salarios mínimos). El sistema capta en promedio 1.59 m³ de agua al mes. El índice de recuperación económica (IRE) fue de 1.63 (>1), indicando que el ahorro durante la vida útil compensa la inversión inicial. La relación de costo para el hogar osciló entre 1.56 y 1.82, reflejando capacidad de pago. Además, se estimó una reducción del gasto en agua potable de entre 11 % y 13 %, lo que confirma su accesibilidad económica.

Palabras clave: escasez hídrica; ingreso económico familia; dotación de agua; cosecha de lluvia; indicador de viabilidad

¹ Autor Principal

Correspondencia: Omar_areu@uaeh.edu.mx

Financial recovery indicators of rainwater harvesting systems in urban households for informed adaptation

ABSTRACT

This study evaluated the socioeconomic feasibility of rainwater harvesting systems (SCALL) in semi-arid urban environments, specifically in Paseos de Chavarría, Hidalgo, Mexico. The study area was subdivided into Basic Geostatistical Areas (AGEB) to estimate the number of inhabitants and economically active persons per household. The analysis considered the regional cost of the system, the average monthly household income, and the economic savings generated by the harvested water volume. The objective was to assess financial feasibility through indicators relating system cost, household income, and generated savings. Results show that the lowest monthly income in the area equals 1.84 minimum wages in 2026 (\$17,603.88 MXN), while the system cost amounts to \$11,311.28 MXN (1.18 minimum wages). The system captures an average of 1.59 m³ of water per month. The Economic Recovery Index (ERI) was 1.63 (>1), indicating that lifetime savings offset the initial investment. The household system cost ratio ranged from 1.56 to 1.82, reflecting sufficient payment capacity. Additionally, the system reduces potable water expenses by 11% to 13%, confirming its economic accessibility as a complementary supply alternative in urban households with intermittent service.

Keywords: water scarcity; household income; water supply allocation; rainwater harvesting; feasibility indicator

Artículo recibido 15 febrero 2026

Aceptado para publicación: 15 marzo 2026



INTRODUCCIÓN

En las zonas urbanas de países del Sur Global, entre ellos México, la intermitencia en el suministro de agua ha forzado a los hogares a depender de sistemas externos costosos, como la compra de agua embotellada o el pago de camiones, para cubrir la demanda, parcialmente atendida por los organismos operadores locales, sin que aún exista una conciencia colectiva sobre el potencial de la captación pluvial. Este estudio aborda dicha problemática mediante el diseño de indicadores de viabilidad que vinculan el costo de los sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL) con el ingreso mensual del hogar (IMH). La relevancia de esta investigación reside en su enfoque de adaptación informada, que proporciona a las familias las herramientas financieras necesarias para evaluar la rentabilidad y el retorno de la inversión en una tecnología que, más allá de la sostenibilidad, representa un alivio directo para la economía de las personas que habitan el hogar y una solución estratégica ante la escasez hídrica.

Diferentes estudios coinciden en que el SCALL es una estrategia clave para fortalecer la resiliencia hídrica mediante enfoques descentralizados, especialmente donde las redes públicas son obsoletas o donde el crecimiento poblacional supera la oferta (Lepcha et al., 2024; Ali et al., 2025). Zabidi et al. (2020) plantean las superficies urbanas, como las azoteas, como una oportunidad para maximizar la retención de agua pluvial, reduciendo así la presión sobre las redes de distribución convencionales.

Se presentan diversos ejemplos de la capacidad del SCALL para reducir los problemas de escasez hídrica y las zonas con climas áridos y semiáridos no son la excepción. Ali et al. (2025) reportaron que en Egipto la eficiencia de ahorro en el consumo de agua potable oscila entre el 0.3% y 20%; mientras que en zonas con mayor precipitación, como Brasil, la eficiencia en el ahorro de agua aumentó entre el 12% y el 79%.

Otros autores señalan que existen variables adicionales que afectan su capacidad para satisfacer las necesidades de la población, como una mayor demanda de consumo. Tal es el caso de Irán, donde un SCALL puede cubrir necesidades básicas de 20 L/persona/día; sin embargo, este tipo de sistemas puede colapsar si la demanda aumenta a 50 L/persona/día (Shadmehri-Toosi et al., 2020). En otra región, en Fremantle, Australia, la implementación de sistemas de captación de agua pluvial en viviendas ayudó a reducir hasta en un 50% la dependencia del suministro público, mejorando la seguridad hídrica de los habitantes (Vardon et al., 2025).

El éxito económico de estos sistemas depende de factores como los costos de instalación, las tarifas locales y los beneficios tangibles. Por ejemplo, Bhatta et al. (2024) y El-Bouzidi et al. (2024) reportan tiempos de retorno de la inversión de entre 3.25 y 8.2 años, respectivamente. En lugares como la Ciudad de México, los subsidios actuales no logran compensar los costos de instalación debido a los bajos volúmenes captados en condiciones semiáridas (Lara-Pulido et al., 2025). No obstante, en la misma ciudad se ha identificado que estos sistemas pueden cubrir hasta el 40% de la demanda doméstica anual cuando las precipitaciones superan los 800 mm anuales y el almacenamiento es adecuado (Castelán-Cabañas et al., 2024). Se estima que, en una vivienda de interés social con una azotea de 50 metros cuadrados, se podría recolectar hasta 2,000 litros de agua al mes en condiciones favorables, lo cual podría cubrir entre el 30% y el 50% del consumo promedio de una familia de cuatro personas, dependiendo de sus hábitos de consumo (Zabidi et al. 2020). Estos datos son consistentes con las recomendaciones de la literatura, que sugieren que un sistema de cosecha de lluvia bien diseñado podría proporcionar agua suficiente para actividades no potables, como el riego y la limpieza, y, en algunos casos, para el consumo humano si se aplica un tratamiento adecuado (Vardon et al. 2025).

La implementación exitosa de los Sistemas de Captación de Agua de Lluvia (SCALL) depende estrechamente de la capacidad socioeconómica y de la disposición de los usuarios para adoptar tecnologías que mitiguen las deficiencias del suministro público. En contextos de gestión hídrica deficiente e intermitente, como el caso de las viviendas de interés social en Jalisco, la viabilidad de estos sistemas está condicionada por estrategias de diseño que reduzcan los costos de instalación y por la capacitación de los usuarios para una gestión autónoma del recurso hídrico (Aguilar-Méndez y Córdova-Canela, 2024). Estas acciones no solo disminuyen el impacto financiero en el hogar, sino que también fomentan la resiliencia hídrica. A pesar de que este tipo de alternativas resilientes proveen un recurso gratuito, el SCALL no garantiza por sí solo su sostenibilidad a largo plazo. Como ejemplo, se puede mencionar el caso de la Ciudad de México, donde el programa “Cosecha de Lluvia” se orientó a beneficiar a poblaciones en situación de pobreza y marginación; se ha observado que este enfoque proteccionista puede limitar la participación activa de los beneficiarios, ya que no se garantiza la apropiación genuina del sistema. Por ello, resulta necesario integrar la capacidad socioeconómica de los usuarios mediante la aportación de materiales o mano de obra; este involucramiento directo es clave



para fomentar un sentido de apropiación y asegurar la permanencia social del SCALL en la vivienda (Pérez-Ortega, 2021).

A partir de la experiencia de los autores citados anteriormente, se observa que el principal obstáculo para la implementación de sistemas de cosecha de agua de lluvia (SCALL) en contextos urbanos con clima semiárido no es la falta de tecnología, sino la incertidumbre sobre su rentabilidad económica en relación con el ingreso familiar. En ciudades con regímenes de agua intermitente, es necesario diseñar estrategias que vinculen la dotación de agua, según el tipo de vivienda, con el Índice del Costo del Sistema (ICS). Esta investigación justifica la necesidad de orientar al usuario mediante indicadores como la Relación del Ahorro en el Suministro del Agua (RASA), lo que demuestra que tanto el sistema básico para uso doméstico como el que incluye tratamiento de potabilización pueden ser financieramente factibles si se analiza su vida útil y su impacto directo en el presupuesto del hogar.

El objetivo de este estudio consiste en diseñar y evaluar indicadores socioeconómicos que permitan determinar la viabilidad financiera del sistema de captación de agua de lluvia (SCALL) en entornos urbanos. Para ello, se analiza la relación entre la inversión requerida para su instalación, la capacidad de pago, según el ingreso mensual promedio de la vivienda, y el ahorro económico derivado de su uso, tomando como referencia contextos de intermitencia hídrica en México y en el Sur Global.

Para alcanzar dicho objetivo, se plantean las siguientes interrogantes:

- a) ¿De qué manera los costos de instalación y mantenimiento del SCALL afectan la economía de hogares con distintos niveles de ingreso, y cuáles son los indicadores de ahorro hídrico-financiero que definen la viabilidad de su adopción en viviendas de interés social en comparación con viviendas de ingresos medios?
- b) ¿Cómo influye el ingreso económico promedio de la vivienda en la capacidad de pago de los usuarios y qué métricas de costo-beneficio son determinantes para orientar la inversión privada en sistemas de captación en zonas con servicios de red intermitentes?

METODOLOGÍA

Descripción del sitio de estudio

El área de estudio seleccionada en este trabajo se localiza en el municipio de Mineral de la Reforma, en el estado de Hidalgo, México (Figura 1). La zona habitacional seleccionada se ubica en las coordenadas

20.0474° N y 98.7182° O, a una altitud promedio de 2,330 metros sobre el nivel del mar. En esta zona, el servicio de agua potable tiene una cobertura teórica del 98.1%, aunque el suministro real cubre apenas el 45% de la demanda (Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, abril de 2023). Este déficit, sumado al contexto de rezago social y a la alta densidad poblacional (2,040 hab/km²), se traduce en problemas integrados que van desde la insuficiencia de las fuentes de captación hasta fallas en la distribución, incluyendo baja presión y servicio intermitente (SIGEH, 2023).

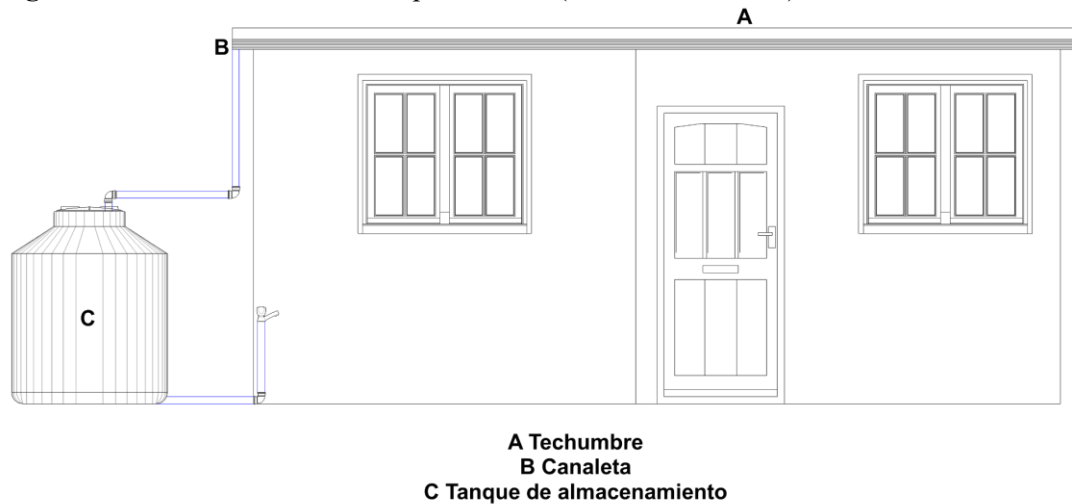
Figura 1. Localización del municipio y de la colonia



Delimitación y caracterización del área

Ante esta problemática de escasez hídrica y de suministro intermitente, se seleccionaron las viviendas como objetivos clave para proponer la implementación de sistemas de cosecha de lluvia. Bajo este criterio, se analizaron viviendas tipo consideradas en niveles socioeconómicos de interés social y de medio residencial (INEGI, s.f.). Las unidades de estudio cuentan generalmente con cubiertas de concreto armado con una inclinación del 2% y disponen de depósitos de 750 L integrados a la red hidráulica local, además de una superficie de captación de 40-60 m², parámetro que se alinea con la tendencia nacional, donde el 43.1% de los hogares posee áreas de construcción de entre 56 y 100 m² (INEGI, s.f.) (Figura 2).

Figura 2. Vivienda con SCALL implementado (CONAGUA, 2025)



Análisis demográfico

Para realizar el análisis demográfico de este estudio, se comenzó dividiendo la zona de estudio, la colonia “Paseos de Chavarría”, en 23 áreas geoestadísticas básicas (AGEB) con ayuda del portal del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (INEGI, 2026). Posteriormente, mediante la herramienta del Inventario Nacional de Vivienda, disponible en el mismo portal (INEGI, 2026), se consultó el promedio de personas por vivienda y por manzana para cada uno de los AGEB analizados (PPV). Para obtener el Promedio de Personas por Vivienda por AGEB (PPVA, personas), se utilizó la siguiente expresión (Ecuación 1):

$$PPVA = \frac{\sum_{i=1}^n PPVi}{n}$$

Donde: n es el número total de manzanas que conforman el AGEB, PPV es el promedio de personas por vivienda e i es el índice que representa cada manzana dentro del AGEB.

Estimación de ingresos y salarios

A continuación, se consultó el portal del INEGI del Sistema de Consulta de Integración Territorial, Entorno Urbano y Localidad (SCITEL) (INEGI, 2020) para obtener el número de habitantes por AGEB y el número de personas económicamente activas mayores de 12 años por AGEB.

Como siguiente paso, se calculó la proporción de cada AGEB mediante el siguiente cociente (Ecuación 2):

$$PROPORCIÓN = \frac{NPEA}{NP}$$

Donde: NPEA es el número de personas económicamente activas mayores de 12 años por AGEB y NP es el número de habitantes por AGEB.

Una vez determinado el cociente, se calculó el promedio de Personas Económicamente Activas por Vivienda por AGEB (PEAVA, personas) a partir de la siguiente expresión matemática (Ecuación 3):

$$PEAVA = \left(\frac{NPEA}{NP} \right) * PPVA$$

Donde: (NPEA/NP) es la proporción previamente calculada y PPVA es el Promedio de Personas por Vivienda por AGEB.

Posteriormente, se estimó el promedio de Personas Económicamente Activas por Vivienda a nivel del área total de estudio (PEAVES, personas), utilizando la siguiente expresión matemática (Ecuación 4):

$$PEAVES = \frac{\sum_{k=1}^m PEAVAk}{m}$$

Donde: m es el total de AGEB dentro del área de estudio (m=23) y k es el índice que representa cada PEAVA; PEAVA es el número de Personas Económicamente Activas por Vivienda y por AGEB.

Después, se consultó el portal oficial de la Comisión Nacional de los Salarios Mínimos (CONASAMI, 2025) con el propósito de identificar el Salario Mínimo (SM) vigente para el año 2026, que es de \$9,582.47 MXN. De igual manera, se obtuvo el promedio de ingresos trimestrales por hogar en el estado de Hidalgo a través del portal de INEGI (INEGI, s.f.), con el propósito de determinar a cuántos salarios mínimos equivale el Ingreso Promedio Mensual (IPMV) de las viviendas en la entidad.

Como siguiente paso, se calculó el Ingreso Mensual por Salarios Mínimos que percibe una vivienda en cada uno de los AGEB analizados (IMVS, salarios mínimos) usando la siguiente expresión (Ecuación 5):

$$IMVS = \frac{(PEAVA * IPMV)}{PEAVES}$$

Donde: PEAVA es Personas Económicamente Activas por Vivienda según AGEB; IPMV es el Ingreso Promedio Mensual en Salarios Mínimos de las viviendas de la entidad; y PEAVES son las Personas Económicamente Activas en la zona de estudio.

Posteriormente se calculó el Ingreso Mensual por Vivienda por cada AGEB en pesos mexicanos (IMVP, MXN) con la siguiente expresión (Ecuación 6):

$$IMVP = IMVS * SM$$

Donde: IMVS es el Ingreso Mensual en Salarios Mínimos por Vivienda en cada AGEB analizado y SM es el Salario Mínimo del país en el año 2026.

Determinación de la demanda de agua

Para determinar la dotación de agua, se consultó el portal del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2010, pp. 2), donde se considera que el clima en Mineral de la Reforma es semiseco templado, con lluvias en verano, de menor humedad. De acuerdo con el Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (CONAGUA, 2019, pp. 21), se consideró un consumo medio para un clima templado, equivalente a 142 Lt/pers./d. La dotación (lt/viv/d) se calculó con la siguiente expresión (Ecuación 7):

$$Dotación = Consumo * PPVA$$

Donde: PPVA es el Promedio de Personas por Vivienda por AGEB.

Estimación del costo del sistema de captación de agua de lluvia

El Costo del Sistema de Captación de Agua de Lluvia (SCALL) (CS) se consideró el valor promedio a partir de cotizaciones obtenidas en comercios locales, con una inversión inicial de \$11,311.28 MXN y una vida útil de 20 años (VU).

Análisis de recuperación financiera del sistema

Para los indicadores económicos, se comenzó por calcular el Promedio de Agua Cosechada (PAC, metros cúbicos) del SCALL en un año. Se utilizó la siguiente expresión (Ecuación 8):

$$PAC = \frac{\sum_{i=1}^{12} U_i}{12}$$

Donde: U es el agua cosechada en cada mes del año (Volpi-León et al., 2024), i es el índice que representa cada mes y 12 es el número de meses en el año.

Posteriormente se consultó la propuesta de acuerdo al tarifario 2026 de la Comisión de Agua y Alcantarillado de Sistemas Intermunicipales (CAASIM, 2025), para conocer el precio del metro cúbico de agua en la zona de estudio (CMA), el cual tiene un valor de \$48.58 MXN. Con estos datos se calculó el Ahorro en Consumo de Agua (ACA, MXN), mediante la Ecuación 9:

$$ACA = PAC * CMA$$

Donde: PAC es el Promedio de Agua Cosechada por el Sistema y CMA el Precio del Metro cúbico de Agua. De este valor se obtuvo el Índice de Recuperación mensual del costo (IRE), considerando la vida económica del SCALL, con la siguiente expresión (Ecuación 10):

$$IRE = \left(\frac{ACA}{CS} \right) * (VU * 12)$$

Donde: ACA es el ahorro de consumo de agua, CS es el costo del sistema y VU es la vida útil.

IRE<1 El ahorro mensual no cubriría el costo del sistema

IRE>1 El ahorro mensual cubre el costo del sistema.

Evaluación del impacto socioeconómico

Para la evaluación del impacto socioeconómico se consideró en primer lugar el Índice del Costo del Sistema (ICS), mediante la siguiente expresión (Ecuación 11):

$$ICS = CS/SM$$

Donde: CS es el costo del sistema y SM es el salario mínimo de 2026.

Como segundo indicador de impacto socioeconómico se calculó la Relación Costo del Sistema para el hogar (RCS), mediante la Ecuación 12:

$$RCS = IMVP/CS$$

RCS>1 Socioeconómicamente viable.

RCS<1 Socioeconómicamente no viable.

Donde: IMVP es el ingreso mensual por vivienda, en pesos mexicanos, de cada AGEB analizada, y CS es el costo del sistema.

Este indicador no implica que el costo del sistema deba cubrirse en un solo mes, su propósito se centra en establecer una relación de referencia entre el ingreso mensual del hogar y la inversión requerida. En términos de asequibilidad, cuando el ingreso mensual supera el costo total del sistema (RCS>1), significa que la inversión representa menos del 100% de un mes de ingreso y el costo podría distribuirse en un horizonte anual sin comprometer de manera significativa la economía doméstica. En este escenario el costo anual, distribuido en doce meses, equivaldría a aproximadamente menos del 8.3% del ingreso mensual (1/12 del CS), lo que sugiere que el sistema podría absorberse gradualmente sin generar sacrificios económicos desproporcionados en el hogar.

Como tercer y último indicador socioeconómico se obtuvo la Relación del Ahorro en el Suministro del Agua (RASA, porcentaje), con la Ecuación 13:

$$RASA = \frac{PAC}{\left(\frac{CONSUMO}{1000} * 30.4166 * PPVA\right)} * 100$$

Donde: PAC es el promedio de agua cosechada en un año; 30.4166 es el promedio de días por mes; y PPVA es el promedio de personas por vivienda por AGEB.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos mediante estos indicadores, con los que fue posible determinar no solo si el SCALL es viable para reducir la escasez hídrica, sino también evaluar su viabilidad económica en función del poder adquisitivo de las viviendas de una zona habitacional típica de México.

RESULTADOS

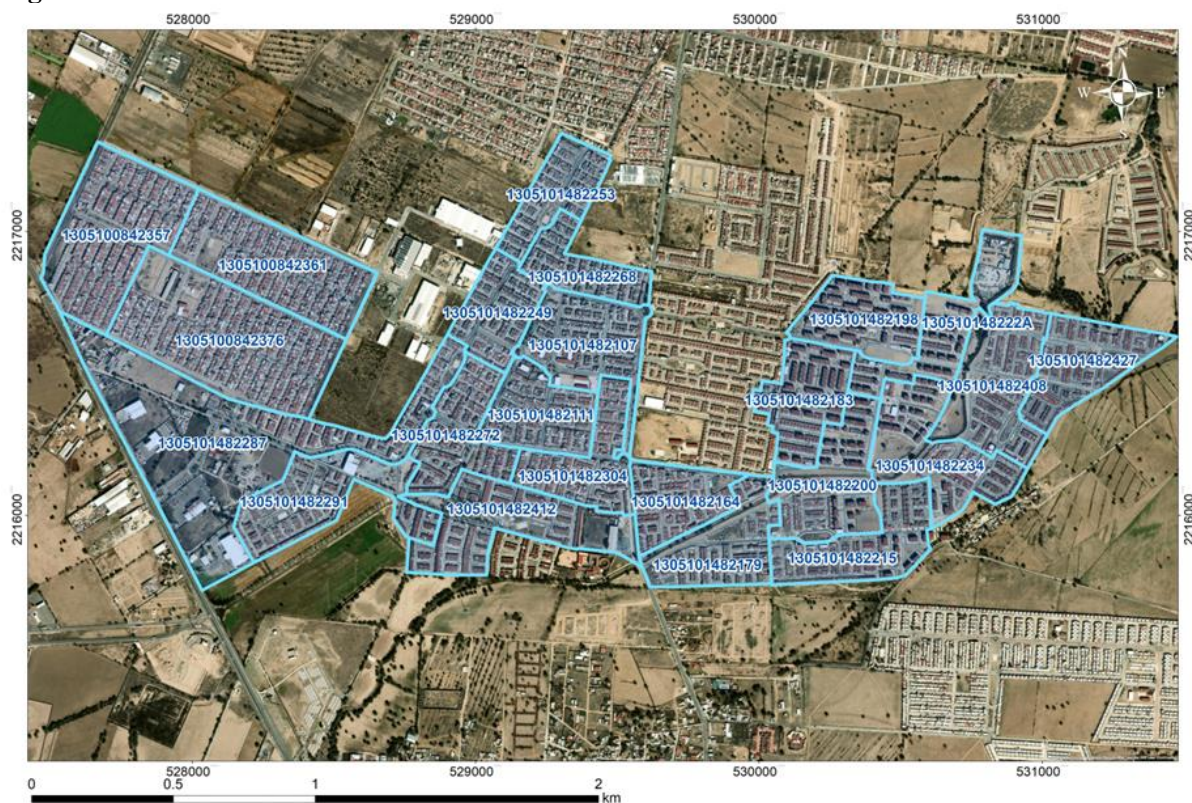
La presente sección expone los resultados de la evaluación socioeconómica del sistema de captación de agua de lluvia (SCALL), considerando el costo del sistema, el ingreso promedio mensual de las viviendas y el ahorro económico generado por el volumen de agua cosechada. En primera instancia, se analizó la población total, el número de personas económicamente activas y el promedio de personas por vivienda en cada AGEB, con el propósito de estimar el ingreso mensual promedio por vivienda, expresado en salarios mínimos y en pesos mexicanos.

Posteriormente se evaluó la recuperación mensual del SCALL en función de su vida útil, estableciendo la relación entre el costo del sistema y los ingresos de los hogares. Asimismo, se identificó el ahorro económico derivado del aprovechamiento del agua de lluvia, comparándolo con el costo del suministro de agua en la zona de estudio. En conjunto, estos resultados permiten valorar si el SCALL, además de ser una alternativa técnicamente viable, constituye una estrategia económicamente factible y accesible para los hogares promedio del área analizada.

Análisis demográfico

En la Figura 3 se presenta el área de estudio segmentada en las 23 Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEB) consideradas para el análisis; cada una se identifica mediante la clave correspondiente asignada por el portal del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2026). Los mapas se realizaron con el software ARCGIS PRO (versión 3.6.2, 2025).

Figura 3. AGEBs en la zona de estudio



De la Figura 3 se tomaron las etiquetas correspondientes a cada AGEB; los valores presentados en la Tabla 1 corresponden al promedio de personas por vivienda por AGEB (PPVA), calculados a partir de datos obtenidos del portal (INEGI, 2026).

Estimación de ingresos y salarios

En la Tabla 1 se muestran el número de personas (NP), la población económicamente activa (NPEA) y la relación entre ambos indicadores para cada AGEB considerada.

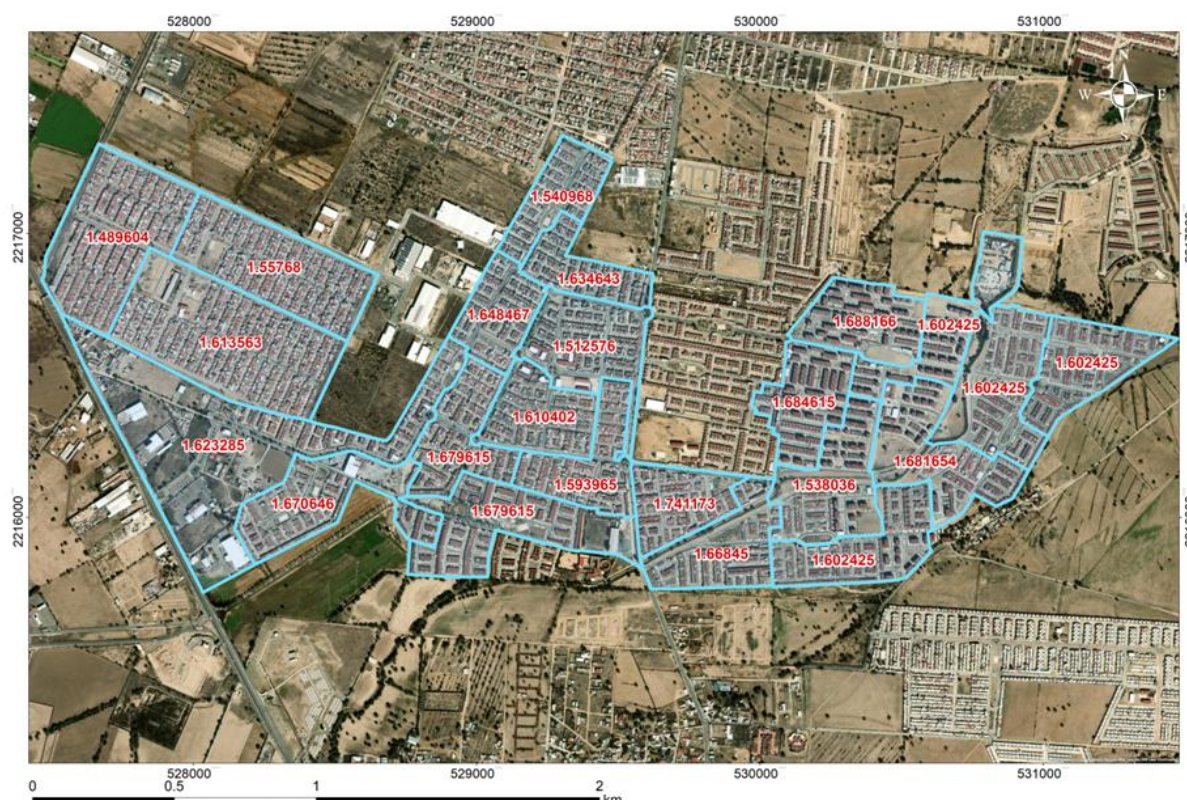
Tabla 1 Cálculo de PPVA Y PEAVA

AGEB	PPVA	NP	NPEA	PROPORCIÓN	PEAVA
1305101482268	2.76	1008	597	0.59	1.63
1305101482107	2.86	1091	577	0.53	1.51
1305101482287	3.20	481	244	0.51	1.62
1305100842361	2.91	1332	713	0.54	1.56
1305101482183	3.00	2340	1314	0.56	1.69
1305101482234	3.15	635	339	0.53	1.68
1305101482253	2.81	899	493	0.55	1.54
130510148222A	3.01	1035	551	0.53	1.60
1305101482427	3.01	1035	551	0.53	1.60
1305101482304	3.18	1203	603	0.50	1.60
1305101482408	3.01	1035	551	0.53	1.60

1305101482111	3.00	1019	547	0.54	1.61
1305101482291	2.89	666	385	0.58	1.67
1305100842376	2.96	1917	1045	0.55	1.61
1305101482272	3.16	1142	607	0.53	1.68
1305101482179	2.94	400	227	0.57	1.67
1305101482198	3.09	2072	1132	0.55	1.69
1305101482215	3.01	1035	551	0.53	1.60
1305101482412	3.16	1142	607	0.53	1.68
1305101482164	3.35	810	421	0.52	1.74
1305101482249	3.13	1050	553	0.53	1.65
1305101482200	2.89	1227	653	0.53	1.54
1305100842357	2.95	1313	663	0.50	1.49

Los valores de la proporción presentados en la Tabla 1 constituyen resultados puntuales utilizados exclusivamente para el cálculo de las personas económicamente activas por vivienda y por AGEB (PEAVA), representados en la Figura 4, es decir, la cantidad de personas con ingresos fijos dentro de los hogares.

Figura 4. Personas económicamente activas por vivienda por AGEB



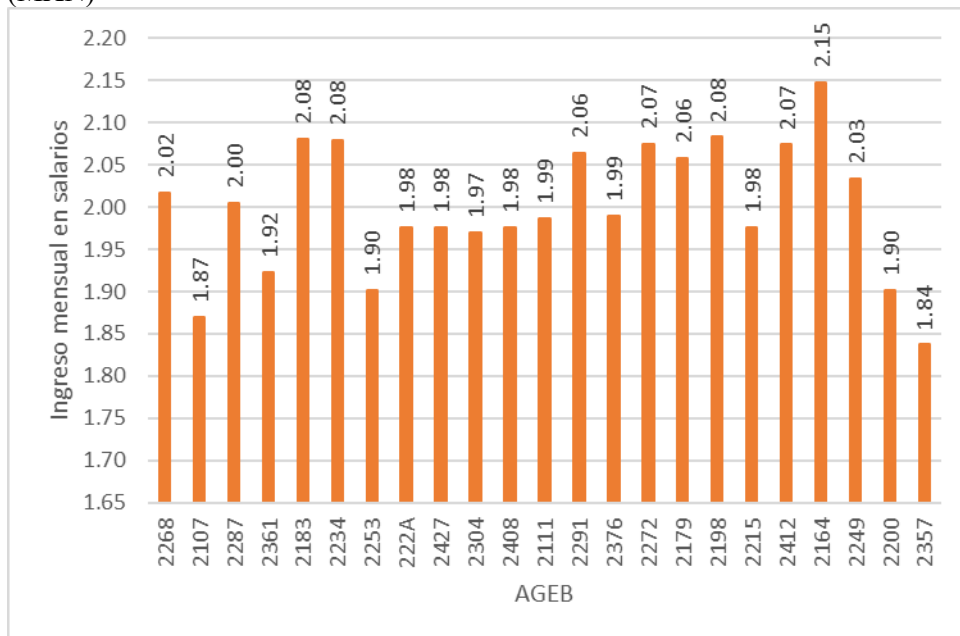
A partir de la columna PEAVA de la Tabla 1 se tomaron los datos necesarios para determinar el promedio de personas económicamente activas por vivienda en el área de estudio (PEAVES).

$$PEAVES = \frac{\sum_{k=1}^m PEAVAk}{m} = 1.62$$

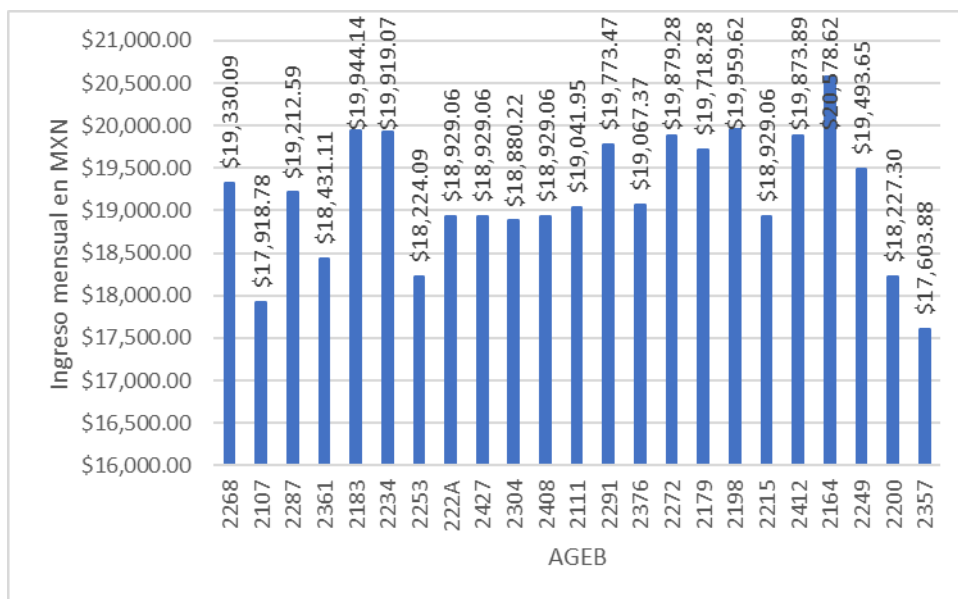
A partir del análisis del ingreso promedio por cada AGEB de la zona (PEAVA) y del ingreso promedio del área de estudio en su conjunto (PEAVES), se consideró el ingreso trimestral promedio por vivienda reportado por el INEGI para el estado de Hidalgo (INEGI, s.f.), equivalente a \$59,461.00 MXN. Dicho monto fue dividido entre tres para obtener el ingreso mensual promedio por vivienda (IPMV), y posteriormente expresarlo en salarios mínimos vigentes para 2026 (\$9,582.47 MXN), lo que permite estimar el ingreso mensual por vivienda tanto en términos de salarios mínimos como en pesos mexicanos. Esta información constituye un insumo fundamental para la construcción y evaluación de los indicadores socioeconómicos, al proporcionar una base cuantitativa para analizar la capacidad económica de los hogares en la zona de estudio.

A partir de los datos obtenidos de las ecuaciones 5 y 6, fue posible identificar las AGEB con los mayores niveles de ingreso, las cuales se encuentran directamente relacionadas con el promedio de personas económicamente activas por vivienda. Con base en esta información, se elaboró la Figura 5, donde se muestra la comparación de los ingresos correspondientes a cada AGEB.

Figura 5. Comparación de ingreso entre AGEB. Donde: a) Salarios mínimos b) En moneda nacional (MXN)



(a)



(b)

Determinación de la demanda de agua

Para el cálculo de la dotación de agua, se consultó el Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento (Comisión Nacional del Agua, 2019, pp. 21). Con base en la bibliografía y considerando el tipo de clima de la zona de estudio, se adoptó un consumo de 142 L/hab/día. En la Tabla 2 se muestra la dotación de cada uno de los AGEB analizados.

Tabla 2 Dotación por cada AGEB.

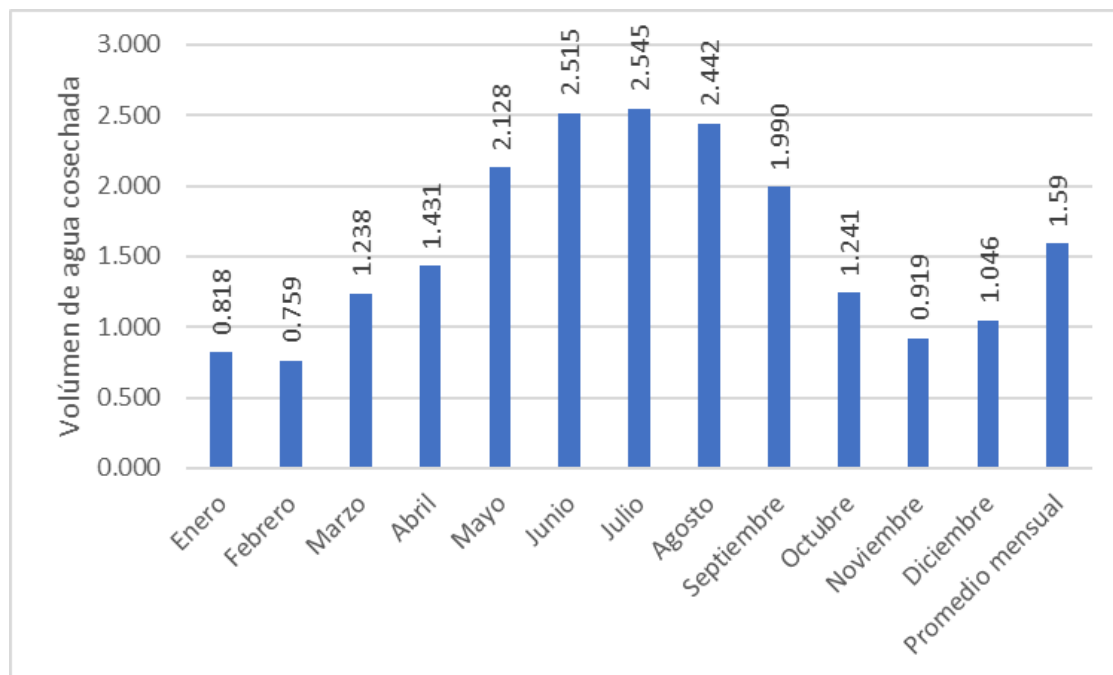
<i>AGEB</i>	<i>Dotación (L/vivienda/día)</i>
2268	391.68
2107	406.60
2287	454.52
2361	413.22
2183	426.24
2234	447.77
2253	398.82
222A	426.71
2427	426.71
2304	452.03
2408	426.71
2111	425.71
2291	410.50
2376	419.77
2272	448.84
2179	416.98

2198	438.44
2215	426.71
2412	448.72
2164	475.15
2249	444.19
2200	411.03
2357	418.38

Análisis de recuperación financiera del sistema

Un valor a considerar, si el SCALL es un sistema viable, es determinar a cuánto equivale económicamente el volumen de agua cosechada. Para esto, se consideró un precio por metro cúbico de agua (CAASIM, 2025, 29 de agosto) de \$48.58 MXN y un promedio mensual de agua cosechada (PAC) de 1.59 m³, según la Figura 6 (Volpi-León et al., 2024).

Figura 6. Promedio mensual de agua cosechada en metros cúbicos



Recordando la ecuación 9 para estimar el ahorro en el consumo de agua, esta puede expresarse de la siguiente manera: $ACA = 1.59 \text{ m}^3 * 48.58 \text{ MXN/m}^3 = 77.24 \text{ MXN}$. Este resultado indica que, en promedio, un hogar que implemente un Sistema de Captación de Agua de Lluvia (SCALL) obtendría un ahorro mensual de aproximadamente 77.24 pesos mexicanos, derivado del volumen de agua cosechada por el propio sistema.

Otro indicador a considerar para determinar la viabilidad del SCALL, es el índice de recuperación mensual del costo (IRE), valor que determina los beneficios que generará el sistema en comparación a

su inversión inicial, recordando que para este indicador se utilizó el ahorro en consumo de agua, costo del sistema y su vida útil en meses, tendríamos la siguiente expresión y resultado.

$$IRE = \left(\frac{77.24}{11311.28} \right) * (20 * 12) = 1.63$$

Donde:

$IRE > 1$ Factible, habrá una ganancia económica.

El proyecto es económicamente factible, estimándose una rentabilidad del 63 %. Sin embargo, esta estimación se realizó bajo el supuesto de precios constantes, sin considerar posibles variaciones en la inflación de los materiales del SCALL ni en la tarifa por metro cúbico de agua, por lo que la rentabilidad real podría diferir ante cambios económicos futuros.

Evaluación del impacto socioeconómico

Para esta evaluación se consideró el índice del costo del sistema (ICS), que nos permite determinar cuánto representa la inversión inicial respecto del salario mínimo de 2026. Teniendo como resultado la siguiente expresión:

$$ICS = \frac{11311.28}{9582.47} = 1.18$$

Posteriormente, se consideró el indicador de relación de costo del sistema para el hogar (RCS), que permite comparar el costo de implementación del sistema con la capacidad económica de los hogares en cada AGEB analizada. En la Tabla 3 se presentan los valores obtenidos para este indicador. El criterio de evaluación adoptado establece que:

$RCS > 1$: el sistema se considera socioeconómicamente viable.

Por lo tanto:

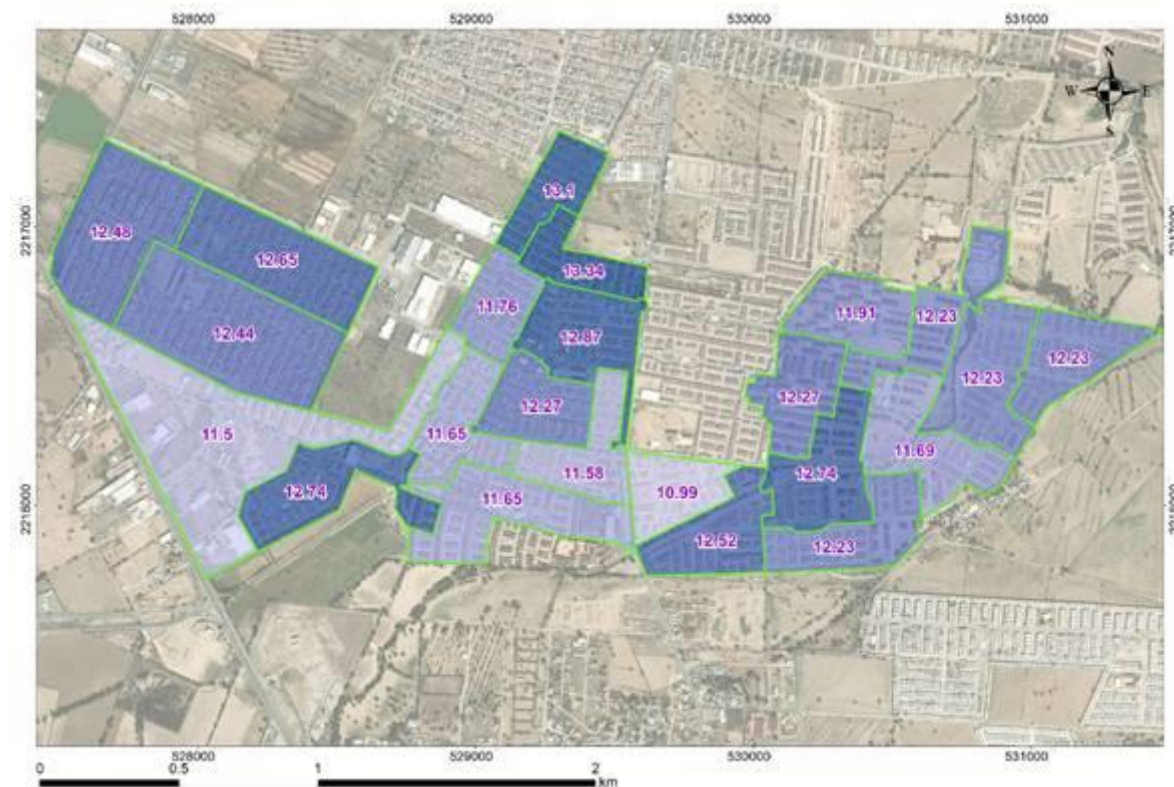
Este criterio permite determinar que la inversión requerida es proporcionalmente accesible para los hogares de cada AGEB, en función de su capacidad económica.

Tabla 3 Relación costo del sistema para el hogar y relación del ahorro en el suministro de agua.

AGEB	RCS	RASA
1305101482268	1.71	13.35%
1305101482107	1.58	12.86%
1305101482287	1.70	11.50%
1305100842361	1.63	12.65%
1305101482183	1.76	12.26%
1305101482234	1.76	11.67%
1305101482253	1.61	13.11%
130510148222A	1.67	12.25%
1305101482427	1.67	12.25%
1305101482304	1.67	11.56%
1305101482408	1.67	12.25%
1305101482111	1.68	12.28%
1305101482291	1.75	12.73%
1305100842376	1.69	12.45%
1305101482272	1.76	11.65%
1305101482179	1.74	12.54%
1305101482198	1.76	11.92%
1305101482215	1.67	12.25%
1305101482412	1.76	11.65%
1305101482164	1.82	11.00%
1305101482249	1.72	11.77%
1305101482200	1.61	12.72%
1305100842357	1.56	12.49%

A partir de los datos presentados en la Tabla 3, se elaboró la Figura 7, que representa el comportamiento del indicador RCS para cada AGEB analizada. En dicha figura, las áreas con mayor intensidad o saturación de color corresponden a valores más elevados del RCS, mientras que las zonas con menor saturación representan valores más bajos de este indicador, lo que permite identificar visualmente las diferencias en la viabilidad socioeconómica entre las distintas AGEB.

Figura 8 Relación de ahorro en el suministro de agua



DISCUSIÓN

Los resultados evidencian que, aun en un contexto semiárido, el sistema de captación de agua de lluvia (SCALL) aporta un volumen promedio mensual de 1.59 m³, lo que representa una reducción en la dependencia del suministro local de agua potable entre 11% y 13% (de acuerdo con el indicador RASA). Aunque este aporte no sustituye el suministro público, sí contribuye de manera constante a disminuir la presión sobre las redes intermitentes.

Desde la perspectiva financiera, el Índice de Recuperación mensual del costo (IRE > 1) indica que el ahorro generado por la sustitución del consumo permite recuperar la inversión inicial a lo largo de la vida útil del sistema, bajo el supuesto de precios constantes. Este resultado debe interpretarse como una recuperación progresiva del costo y no como rentabilidad financiera, considerando una medida de equilibrio estático entre el ahorro y el costo distribuido en el tiempo.

En términos socioeconómicos, el Índice del Costo del Sistema (ICS) y la Relación Costo del Sistema (RCS > 1 en todos los AGEB) muestran que la inversión es proporcionalmente accesible respecto del ingreso mensual promedio. No obstante, aunque el costo equivale aproximadamente a un mes de ingreso, su adopción requeriría una planeación financiera, ya que los hogares deben cubrir gastos

esenciales. El análisis territorial también confirma que la capacidad de absorción del costo de la inversión varía entre AGEB, lo que refuerza la utilidad de los indicadores como herramienta de planeación urbana sectorizada.

Los hallazgos de este estudio tienen implicaciones relevantes para la ingeniería urbana y la gestión hídrica en contextos de suministro intermitente de agua potable. Si bien la literatura ha demostrado que el SCALL fortalece la resiliencia hídrica mediante enfoques descentralizados (Ali et al., 2025), este trabajo aporta una dimensión adicional al integrar indicadores de recuperación financiera y proporcionalidad del costo respecto al ingreso doméstico. En este sentido, la contribución no radica únicamente en confirmar el potencial volumétrico del sistema, sino en ofrecer un análisis de medidas operativas que permitan evaluar su viabilidad real a escala de vivienda.

Desde una perspectiva económica aplicada, los resultados complementan estudios que reportan tiempos de retorno de la inversión entre tres y ocho años (Bhatta et al., 2024; El-Bouzidi et al., 2024), al proponer un indicador simplificado de recuperación mensual del costo que facilita la interpretación por parte de usuarios y tomadores de decisiones locales. Esta aproximación es particularmente relevante en contextos como México, donde los subsidios generalizados no siempre compensan los costos iniciales del sistema (Lara-Pulido et al., 2025), y donde la incertidumbre financiera del hogar puede constituir una barrera más significativa que la viabilidad técnica de los dispositivos.

La diferenciación territorial por AGEB permite incorporar la heterogeneidad socioeconómica intraurbana en la planeación de las estrategias de implementación. Este enfoque responde a la necesidad de vincular la capacidad económica, el diseño técnico de dispositivos y la apropiación social. Aguilar-Méndez y Córdova-Canela (2024) señalan que la viabilidad de los SCALL depende no solo de su desempeño hidráulico, sino también de la participación de los usuarios en una gestión autónoma. En esa misma línea, el análisis presentado favorece esquemas en los que la inversión privada pueda ser orientada mediante información clara sobre la proporcionalidad del costo, lo que fortalece la percepción, la apropiación y la permanencia del sistema en las viviendas.

El análisis realizado corresponde a una evaluación simplificada bajo el supuesto de precios constantes y no incorpora el valor del dinero en el tiempo, la inflación ni las variaciones tarifarias futuras. Tampoco se consideraron los costos de mantenimiento ni de reposición de componentes durante la vida útil del

sistema. Asimismo, el ingreso promedio estatal se utilizó como referencia, lo que puede no reflejar con precisión las diferencias microeconómicas a nivel intraurbano. Finalmente, no se modelaron escenarios de variabilidad climática interanual que pudieran afectar el volumen de captación.

Sin embargo, dentro de las limitaciones del estudio, se puede afirmar que la implementación del SCALL en zonas semiáridas debe abordarse como una estrategia de ingeniería urbana orientada por indicadores de asequibilidad, en la que el desempeño técnico y la capacidad económica del hogar se analicen de manera integrada para reducir la brecha entre la viabilidad técnica y la factibilidad socioeconómica.

Se recomienda incorporar, en futuros estudios, análisis financieros con tasa de descuento y evaluación del valor presente neto, así como modelar escenarios de variabilidad climática que permitan estimar la sensibilidad del sistema ante cambios en la precipitación. Asimismo, sería pertinente integrar encuestas sobre disposición a pagar y esquemas de financiamiento social que evalúen la adopción real del SCALL en distintos estratos urbanos. Finalmente, la aplicación del modelo en otras ciudades semiáridas permitiría validar y ajustar los indicadores propuestos para diversos contextos territoriales.

CONCLUSIONES

El presente estudio permitió evaluar la viabilidad socioeconómica de los sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL) en viviendas unifamiliares ubicadas en una zona urbana de clima semiárido, integrando indicadores hidráulicos y financieros en un enfoque territorial basado en áreas geostatísticas básicas (AGEB). Los resultados confirman que el SCALL constituye una alternativa técnica viable para complementar el suministro intermitente de agua potable, al aportar un volumen promedio mensual de 1.59 m³ por vivienda. Aunque esta cantidad no sustituye completamente la red pública, sí representa una contribución constante para cubrir actividades no potables, cuya proporción depende del número de habitantes por vivienda, alcanzando un promedio máximo de 3.35 personas en el AGEB con mayor densidad.

Desde la perspectiva económica, el Índice de Recuperación mensual del costo (IRE=1.63) indica que el ahorro generado por la sustitución del consumo de agua potable permite recuperar la inversión inicial dentro del periodo de vida útil del sistema, bajo el supuesto de precios constantes. Este hallazgo contrasta con escenarios reportados en otros contextos semiáridos donde los bajos volúmenes captados limitan la

compensación del costo inicial. No obstante, debe reiterarse que el análisis corresponde a una evaluación estática que no incorpora la inflación ni el valor del dinero en el tiempo.

En términos socioeconómicos, el Índice del Costo del Sistema (ICS=1.18) muestra que la inversión inicial equivale aproximadamente a 1.18 salarios mínimos mensuales, lo que permite dimensionar el esfuerzo económico requerido por el hogar promedio. Asimismo, la Relación de Costo del Sistema para el hogar evidenció que, incluso en el AGEB con menor ingreso promedio (1.84 salarios mínimos mensuales), el costo del sistema representa una proporción inferior a dos meses de ingreso. Estos resultados indican que el SCALL es proporcionalmente accesible en la zona de estudio; sin embargo, su adopción requeriría planeación financiera o esquemas de financiamiento, dado que los hogares deben cubrir simultáneamente los gastos esenciales.

En conjunto, la investigación reafirma que el principal desafío para la implementación del SCALL en contextos urbanos semiáridos no es técnico, sino económico-perceptual. Al proporcionar indicadores claros de recuperación y proporcionalidad del costo respecto al ingreso, este estudio contribuye a reducir la incertidumbre financiera que limita su adopción y ofrece una herramienta replicable para orientar las decisiones de inversión privada y la planeación urbana sectorizada.

Glosario de términos

GLOSARIO

AGEB	Área Geoestadística Básica
PPV	Promedio de personas por vivienda
PPVA	Promedio de personas por vivienda por AGEB
NPEA	Número de personas económicamente activas
NP	Número de personas por AGEB
PEAVA	Personas económicamente activas por vivienda por AGEB
PEAVES	Personas económicamente activas por área de estudio
SM	Salarios mínimos
IPMV	Ingreso promedio mensual en salarios mínimos en la Entidad
IMVS	Ingreso mensual en salario mínimos por vivienda por AGEB

IMVP	Ingreso mensual en pesos mexicanos por vivienda por AGEB
CS	Costo del sistema de captación de agua de lluvia
VU	Vida útil del SCALL
PAC	Promedio de agua cosechada en el año
ACA	Ahorro en consumo de agua
IRE	Índice de recuperación mensual del costo
ICS	Índice del costo del sistema
RCS	Relación costo del sistema para el hogar
RASA	Relación del ahorro en el suministro del agua

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar-Méndez, C. E., & Córdova-Canela, F. (2024). Vivienda y su contexto. Desarrollo de dispositivos modulares para cosecha de agua de lluvia. *Vivienda y Comunidades Sustentables*, (15), 41-62. <https://doi.org/10.32870/rvcs.v0i15.280>
- Ali, S., Sang, Y.-F., Pilla, F., Singh, V. P., & Dilawar, A. (2025). Implementing urban rainwater harvesting systems: Multiple potential performances, barriers, challenges, solutions, and future perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 218, 115793. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2025.115793>
- Bhatta, R., Loc, H. H., Babel, M. S., & Chapagain, K. (2024). Assessment and enhancement of community water supply system sustainability: A dual framework approach. *Environmental and Sustainability Indicators*, 24, 100486. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2024.100486>
- Comisión de Agua y Alcantarillado de Sistemas Intermunicipales (CAASIM, 2025, 29 de agosto). *Propuesta de Acuerdo Tarifario – Ejercicio Fiscal 2026* [PDF]. Comisión de Agua y Alcantarillado de Sistemas Intermunicipales. Recuperado de https://caasim.hidalgo.gob.mx/CAASIM/armonizacion/anual/2026/Ejercicio2026/I.%20Iniciativas%20y%20Proyectos/a.3.Propuesta%20de%20Acuerdo%20Tarifario_Ejercicio%20Fiscal%202026.pdf



- Castelán-Cabañas, R., Padilla-Rivera, A., Muñoz-Villarreal, C., & Güereca-Hernández, L. P. (2024). Advancing urban water autonomy: A Social Life Cycle Assessment of rainwater harvesting systems in Mexico City. *Cleaner Environmental Systems*, 13, 100193. <https://doi.org/10.1016/j.cesys.2024.100193>
- Comisión Nacional del Agua. (CONAGUA, 2019, pp. 21). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento – Libro 4: Datos Básicos para Proyectos de Agua Potable y Alcantarillado* [PDF]. <https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro4.pdf>
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2025). *Lineamientos técnicos para sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL) 2025*. Gobierno de México. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/976468/Lineamientos_t_cnicos_SCALL_2025.pdf
- Comisión Nacional de los Salarios Mínimos. (CONASAMI, 2025). *Incremento a los Salarios Mínimos para 2026*. <https://www.gob.mx/conasami/articulos/incremento-a-los-salarios-minimos-para-2026?idiom=es>
- El Bouzidi, A., Anouar, A., & Bouzziri, M. (2024). Management and valuation of rainwater by alternative techniques, case of the University of Settat, in Morocco. *Water Cycle*, 5, 109-120. <https://doi.org/10.1016/j.watcyc.2024.03.001>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (INEGI, s.f.). *Tabulados interactivos: Hogares* (INEGI). https://www.inegi.org.mx/app/tabulados/interactivos/?pxq=Hogares_Hogares_11_861f5732-c3db-4614-be03-741f649d605c
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (INEGI, 2010). *Compendio de información geográfica municipal 2010. Mineral de la Reforma, Hidalgo (clave geoestadística 13051)* [PDF]. https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/13/13051.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (INEGI, 2020). *SCITEL: Principales resultados por AGEB y manzana urbana 2020*. <https://www.inegi.org.mx/app/scitel/Default?ev=10>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (INEGI, 2026). *Espacio y datos de México*. <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/espacioydatos/default.aspx>



- Lara-Pulido, J. A., Zorrilla-Ramos, M., Posadas-Vázquez, X., Bailón, X., & Luna-Flores, G. (2025). Willingness to pay for rainwater harvesting systems in Mexico City. *Water Resources and Economics*, 52, 100271. <https://doi.org/10.1016/j.wre.2025.100271>
- Lepcha, R., Kumar Patra, S., 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>
- Pérez Ortega, V. (2021). *Oportunidades y retos del programa Cosecha de Lluvia de la Ciudad de México, 2020* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio Institucional de la UNAM, 131 pp.
- Shadmehri Toosi, A., Danesh, S., Ghasemi Tousi, E., & Doulabian, S. (2020). Annual and seasonal reliability of urban rainwater harvesting system under climate change. *Sustainable Cities and Society*, 63, 102427. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102427>
- Sistema de Información para la Gestión del Estado de Hidalgo (SIGEH). (2023). 13048 – Pachuca de Soto: Indicadores municipales de demografía, servicios básicos, pobreza y vivienda. https://sigeh.hidalgo.gob.mx/pags/info_mun/municipal/13048%20-%20Pachuca%20de%20Soto.pdf
- Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. (2023, abril). El servicio de agua potable en Hidalgo, 2023. *Gaceta UAEH*. <https://www.uaeh.edu.mx/gaceta/5/numero62/abril/agua-potable.html>
- Vardon, M. J., Le, T. H. L., Martinez-Lagunes, R., Pule, O. B., Schenau, S., May, S., y Grafton, R. Q. (2025). Accounting for water: A global review and indicators of best practice for improved water governance. *Ecological Economics*, 227, 108396. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2024.108396>
- Volpi-León, V., Seck-Tuoh-Mora, J. C., Bigurra-Alzati, C. A., Juárez-Sedano, A. D., & Lizárraga-Mendiola, L. (2024). Design of Urban Indicators to Optimize the Implementation of Low-Impact Techniques in Semi-Arid Cities. *Applied Sciences*, 15(1), 294. <https://doi.org/10.3390/app15010294>
- Zabidi, H. A., Goh, H. W., Chang, C. K., Chan, N. W., y Zakaria, N. A. (2020). A Review of Roof and Pond Rainwater Harvesting Systems for Water Security: The Design, Performance and Way Forward. *Water*, 12(11), 3163. <https://doi.org/10.3390/w12113163>