

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA**

**Viabilidad técnica y económica de los sistemas de captación de agua
de lluvia como estrategia de resiliencia hídrica en zonas urbanas
semiáridas**

TESIS

**QUE PARA LA OBTENCIÓN DEL GRADO EN
Licenciatura en Ingeniería Civil**

PRESENTA:

Miguel Alexis Islas Samperio

COMITÉ DE TESIS:

Directora: Liliana Guadalupe Lizárraga Mendiola

Co-directora: Valeria Volpi León

Juan Carlos Seck Tuoh Mora

Carlos Alfredo Bigurra Alzati

Lugar: Mineral de la Reforma, Hidalgo

Fecha: 10 de junio de 2026





Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería

School of Engineering and Basic Sciences

Dirección

Office of the Director

Mineral de la Reforma, Hgo., a 9 de junio de 2026

Número de control: ICBI-D/1078/2026

Asunto: Autorización de impresión

MTRA. OJUKY DEL ROCÍO ISLAS MALDONADO DIRECTORA DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR DE LA UA EH

Con Título Quinto, Capítulo II, Capítulo V, Artículo 51 Fracción IX del Estatuto General de nuestra Institución, por este medio, le comunico que el Jurado asignado al egresado de la Licenciatura en Ingeniería Civil **Miguel Alexis Islas Samperio**, quien presenta el trabajo de titulación "**Viabilidad técnica y económica de los sistemas de captación de agua de lluvia como estrategia de resiliencia hídrica en zonas urbanas semiáridas**", ha decidido, después de revisar fundamento en lo dispuesto en el Título Tercero, Capítulo I, Artículo 18 Fracción IV, dicho trabajo en la reunión de sinodales, **autorizar la impresión del mismo**, una vez realizadas las correcciones acordadas.

A continuación, firman de conformidad los integrantes del Jurado:

Presidente: Dr. Juan Carlos Seck Tzuc Mora

Secretario: Mtra. Valeria Volpi León

Vocal: Dra. Liliana Guadalupe Lizárraga Mendiola

Suplente: Dr. Carlos Alfredo Bigorra Alzati

Sin otro particular por el momento, reciba un cordial saludo.

Atentamente
"Amor, Orden y Progreso"

Dr. Gabriel Valera Riquelme
Director del ICBI



Ciudad del Confortismo, Carretera Pachuca-Tulancingo
Km. 4.5 Colonia Carboneras, Mineral de la Reforma, Hidalgo,
México, C.P. 42184

Teléfono: 52 (771) 71 720 00 Ext. 40001

direccion_icbi@uah.edu.mx, vergara@uah.edu.mx

GVR/MMM

"Amor, Orden y Progreso"



uah.edu.mx

Índice

	Página
Resumen	9
Abstract	10
Capítulo 1. Planteamiento de la investigación	11
1.1 Introducción	11
1.2 Formulación del problema	13
1.3 Justificación	14
1.4 Preguntas de investigación	15
1.5 Objetivo general	16
1.5.1 Objetivos específicos	16
1.6 Hipótesis	17
1.7 Alcances	17
1.8 Limitaciones	17
1.9 Descripción de la zona y objeto de estudio	18
Capítulo 2. Contexto teórico de la investigación	20
2.1 Introducción	20
2.2 Metodología de la revisión	20
2.2.1 Fuentes de consulta	21

2.2.2 Estrategia de búsqueda	21
2.2.3 Criterios de exclusión	22
2.2.4 Criterios de inclusión	22
2.2.5 Selección final	22
2.3 Estado actual del conocimiento	22
2.3.1 Infraestructura apta para SCALL	22
2.3.2 Beneficio técnico y desempeño	23
2.3.3 Beneficio económico en vivienda	23
2.3.4 Materiales y componentes	24
2.3.5 Accesibilidad de materiales y equipo	24
2.3.6 Costos de instalación y mantenimiento	24
2.3.7 Ahorro hídrico y retorno de inversión	25
2.3.8 Factores que inciden en el ROI	25
2.3.9 SCALL, su infraestructura y costos operativos	25
2.3.10 Resiliencia ante sequías	26
2.4 Marco conceptual y teórico	26
2.4.1 Sistema de Captación de Agua de Lluvias (SCALL)	26
2.4.2 Agua pluvial	27
2.4.3 Proceso de la lluvia	27

2.4.4 Superficie de captación	27
2.4.5 Componentes del SCALL	27
2.4.6 Aprovechamiento del recurso hídrico	30
2.4.7 Periodo de retorno de inversión	31
2.4.8 Beneficio económico	31
2.4.9 Beneficio social	32
2.4.10 Beneficios ambientales	32
2.4.11 Redistribución Interbarrial	33
2.4.12 Valor agregado de este sistema	33
2.4.13 Variables que afectan al periodo de retorno	34
2.5 Estado actual de la investigación	35
2.5.1 Tendencias socioeconómicas en la implantación de SCALL en el mundo	35
2.5.2 Experiencias en México	36
2.6 Relevancia de la investigación propuesta	38
Capítulo 3. Metodología	40
3.1. Caracterización geográfica y climática de la zona de estudio	40
3.2 Caracterización urbana y delimitación del área de análisis	42
3.3. Selección de la lluvia de diseño	44
3.4 Demanda mensual y volúmenes de captación	45

3.5 Factibilidad técnica del SCALL	46
3.5.1 Cálculo del volumen de lluvia cosechable	46
3.5.2 Diseño hidráulico del SCALL	47
3.6 Análisis de costos y materiales a precio directo del SCALL	52
3.6.1 Etapa 1. Escenarios de valoración económica	53
3.6.2 Etapa 2. Proyección del flujo de caja acumulado	53
3.6.3 Etapa 3. Indicadores de rentabilidad y sostenibilidad económica	54
3.6.4 Etapa 4. Evaluación comparativa de escenarios	55
Capítulo 4. Resultados y discusión	56
4.1 Introducción	56
4.2 Viabilidad técnica del SCALL	56
4.3 Mitigación del déficit hídrico con agua de lluvia	61
4.3.1 Potencial de redistribución interbarrial del agua pluvial captada en zonas comerciales	63
4.4 Evaluación económica de los sistemas de captación de agua de lluvia	64
4.4.1 Flujo de caja neto y recuperación de la inversión	65
4.4.2 Rentabilidad y sostenibilidad económica del SCALL	66
4.4.3 Efecto general de un subsidio en los indicadores económicos	67
4.5 Discusión	69
4.5.1 Capacidad del SCALL para mitigar la escasez hídrica	69

4.5.2 Potencial interbarrial y compensación del déficit hídrico	70
4.5.3 Viabilidad económica según tipo de consumo y aplicación del subsidio	71
Conclusiones y recomendaciones	72
Limitaciones del estudio y proyecciones futuras	73
Referencias	74
Anexos	80

Índice de tablas

	Página
Tabla 3.1 Promedios mensuales de precipitación y temperatura	41
Tabla 3.2 Distribución del uso de suelo y potencial de captación pluvial en la zona	43
Tabla 3.3 Demanda de agua por persona considerando las dos condiciones	46
Tabla 3.4 Parámetros hidráulicos de diseño del SCALL por tipo de infraestructura	51
Tabla 4.1 Demanda mensual ideal de agua (m ³)	56
Tabla 4.2 Demanda mensual real de agua (m ³)	57
Tabla 4.3 Volúmenes de agua de lluvia cosechables en distintos tipos de edificaciones (m ³)	58
Tabla 4.4 Potencial del SCALL para compensar la Dreal50 para necesidades esenciales o básicas	59
Tabla 4.5 Resultados del balance mensual entre volumen requerido (Dreal50) y volumen captado (Vpac) para viviendas unifamiliares y áreas comerciales	62

Tabla 4.6 Volúmenes excedentes de agua pluvial en zonas comerciales y capacidad potencial de redistribución hacia usuarios domésticos	63
Tabla 4.7 Comparación general y análisis de viabilidad del SCALL	65
Tabla 4.8 Indicadores de rentabilidad y viabilidad económica del SCALL	66
Tabla 4.9 Impacto del subsidio en los principales indicadores económicos	68

Índice de figuras

	Página
Figura 1.1 Localización del área de estudio	19
Figura 2.1 Determinación de las fuentes de búsqueda	21
Figura 2.2 Elementos principales que comprenden la instalación de un SCALL	28
Figura 3.1 Metodología	40
Figura 3.2 Ubicación de la zona de estudio	41
Figura 3.3 Estaciones climatológicas tomadas en cuenta para el estudio	44
Figura 3.4 Distribución mensual de la lluvia de diseño	45
Figura 3.5 Esquema representativo de la distribución individual del agua para consumo a partir de una misma superficie de captación en viviendas	48
Figura 3.6 Esquema representativo de la distribución individual de agua para consumo a partir de una misma superficie de captación en comercios	48
Figura 3.7 Esquema representativo de la distribución individual de agua para consumo a partir de una misma superficie de captación en servicios	49

Índice de ecuaciones

	Página
Ecuación 1. Demanda diaria total	46
Ecuación 2. Volumen potencial de lluvia cosechable (V_{pac})	47
Ecuación 3. Superficie de captación	49
Ecuación 4. Número de bajantes	50
Ecuación 5. Longitud del tramo	50
Ecuación 6. Área por bajantes	50
Ecuación 7. Tubería de bajantes	50
Ecuación 8. Canaleta	51
Ecuación 9. Flujo de caja acumulado	54
Ecuación 10. Ahorros anuales	54

Resumen

La presente investigación analiza la viabilidad técnica y económica de los Sistemas de Captación de Agua de Lluvia (SCALL) como alternativa para la resiliencia hídrica y la gestión sostenible del recurso hídrico en zonas urbanas con clima semiárido, tomando como caso de estudio el municipio de Mineral de la Reforma, Hidalgo, México. Ante la creciente escasez de agua y la presión sobre los sistemas convencionales de abastecimiento, el aprovechamiento del agua pluvial se plantea como una solución descentralizada, accesible y ambientalmente sostenible, capaz de complementar el suministro doméstico y de reducir la dependencia de las redes públicas. La metodología empleada comprendió el análisis técnico del sistema, que consistió en el cálculo del volumen de captación potencial, el diseño hidráulico del sistema, así como la evaluación económica mediante un esquema de costos a precio directo y el cálculo del periodo de retorno de la inversión (ROI) en distintos escenarios de uso: doméstico, comercial y de servicios. Los resultados demuestran que los SCALL son técnicamente factibles y económicamente rentables, ya que pueden construirse con materiales de bajo costo y fácil acceso, lo que permite su implementación mediante procesos de autoconstrucción sin requerir mano de obra especializada. Se comprobó que, bajo condiciones típicas de precipitación en la zona, los sistemas pueden cubrir hasta el 50% de la demanda no potable, lo que contribuye directamente a reducir el consumo de agua potable y los costos asociados al suministro. El periodo de recuperación de la inversión se estimó entre dos y cuatro años, dependiendo de la superficie de captación, la capacidad de almacenamiento y la intensidad pluviométrica. Además, su adopción favorece la sostenibilidad económica al reducir el gasto familiar en agua y los costos municipales de distribución y tratamiento. Desde el punto de vista ambiental, los SCALL promueven la conservación de los acuíferos, reducen la escorrentía superficial y favorecen la recarga hídrica local, lo que contribuye a mitigar los impactos del cambio climático y de las sequías prolongadas. Socialmente, fomentan la participación comunitaria, la educación ambiental y la autonomía hídrica, fortaleciendo la resiliencia local ante periodos de desabasto. En conjunto, el estudio concluye que la implementación de sistemas de captación pluvial constituye una estrategia integral de gestión del agua, con beneficios técnicos, económicos, sociales y ambientales.

Palabras clave: Captación de agua de lluvia, viabilidad económica, resiliencia hídrica, sostenibilidad urbana, retorno de la inversión, SCALL, autoconstrucción.

Abstract

This research examines the technical and economic feasibility of Rainwater Harvesting Systems (RWHS) as an alternative to enhance water resilience and promote sustainable water management in urban areas with semi-arid climates, using the municipality of Mineral de la Reforma, Hidalgo, Mexico, as a case study. In the context of increasing water scarcity and growing pressure on conventional supply systems, rainwater utilization emerges as a decentralized, accessible, and environmentally sustainable solution that can supplement domestic supply and reduce dependence on public networks. The methodology included a technical analysis of the system, which involved estimating the potential catchment volume, designing the hydraulic components, and conducting an economic evaluation using a direct-cost scheme and calculating the return on investment (ROI) under different usage scenarios—domestic, commercial, and service-oriented. The results demonstrate that RWHS are technically viable and economically profitable, as they can be built with low-cost, locally available materials, enabling self-construction without specialized labor. Under typical rainfall conditions in the study area, the systems covered up to 50% of non-potable water demand, thereby reducing potable water consumption and associated supply costs. The investment recovery period was estimated to range from two to four years, depending on catchment surface area, storage capacity, and rainfall intensity. Moreover, their adoption supports economic sustainability by lowering household water expenses and municipal distribution and treatment costs. From an environmental perspective, RWHS promotes aquifer conservation, reduces surface runoff, and enhances local groundwater recharge, thereby helping to mitigate the impacts of climate change and prolonged droughts. Socially, they foster community participation, environmental education, and water self-sufficiency, strengthening local resilience during supply shortages. Overall, the study concludes that implementing rainwater harvesting systems constitutes an integrated water management strategy that delivers technical, economic, social, and environmental benefits.

Keywords: Rainwater harvesting, economic feasibility, water resilience, urban sustainability, return on investment, SCALL, self-construction.

Capítulo 1. Planteamiento de la investigación

1.1 Introducción

El agua ha sido, desde los albores de la humanidad, un recurso esencial para el desarrollo de las civilizaciones. Su disponibilidad ha determinado el crecimiento económico, la producción de alimentos, la preservación de los ecosistemas y, en última instancia, la supervivencia de las sociedades humanas (ONU, 2023). Sin embargo, el crecimiento demográfico acelerado y la expansión urbana han incrementado significativamente la demanda de recursos hídricos, especialmente en los sectores doméstico, comercial y de servicios. Esta presión ha provocado que, en numerosos países en desarrollo, el suministro de agua por habitante se mantenga muy por debajo de los niveles requeridos para garantizar condiciones de vida dignas.

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud y UNICEF -por sus siglas en inglés, *United Nations International Children's Emergency Fund* (2023), alrededor de 2200 millones de personas carecen de acceso a servicios de agua potable gestionados de forma segura, y 3500 millones aún no cuentan con sistemas de saneamiento adecuados. Además, 771 millones de personas carecen incluso de servicios básicos de agua, lo que contribuye a miles de muertes anuales por enfermedades relacionadas con la falta de higiene. El Banco Mundial (2022) advierte que estas deficiencias constituyen uno de los mayores desafíos del siglo XXI, al afectar no solo la salud pública, sino también la productividad económica y la estabilidad social de las comunidades.

La escasez hídrica genera impactos económicos, sociales y sanitarios de gran magnitud. Una gestión deficiente de los recursos hídricos y la dependencia de infraestructuras centralizadas dificultan la cobertura universal del servicio, en particular en regiones semiáridas, donde la disponibilidad natural del agua es limitada. En este contexto, la captación de agua pluvial se presenta como una alternativa estratégica que contribuye a reducir la presión sobre los sistemas convencionales de abastecimiento y a mejorar la resiliencia hídrica de las zonas urbanas.

El aprovechamiento del agua de lluvia es una práctica ancestral. Desde las civilizaciones minoica y romana, hasta las culturas precolombinas de Mesoamérica, se han implementado diversas técnicas para recolectar y almacenar este recurso (Torres, 2019). En la antigüedad, los palacios de Knossos y la Alhambra de Granada empleaban techos inclinados, cisternas y fuentes ornamentales con funciones hidráulicas. En Roma, las viviendas contaban con un *impluvium* -estanque central conectado al *compluvium* del techo- que permitía aprovechar la precipitación para uso doméstico. En América prehispánica, los mayas diseñaron los chultunes, cisternas subterráneas impermeabilizadas con yeso, mientras que en Belice y Campeche se construyeron sistemas de canales y diques que facilitaban el uso del agua durante la estación seca (Torres, 2019).

Durante los siglos XX y XXI, múltiples países han impulsado políticas de captación de agua pluvial adaptadas a sus condiciones climáticas y urbanas. Tailandia, Kenia, Bangladesh, Japón y la India han desarrollado programas nacionales que promueven la instalación de sistemas de captación de aguas pluviales (SCALL) para el consumo doméstico y el riego urbano (Torres, 2019). En China, el proyecto “1-2-1” implementado por el gobierno chino es una estrategia de captación de agua de lluvia creada para suministrar agua potable y de uso agrícola a comunidades rurales ubicadas en regiones áridas y semiáridas del país. Su nombre proviene del modelo de instalación que promueve: una (1) superficie o sistema de captación de agua de lluvia, dos (2) tanques o cisternas para su almacenamiento y una (1) parcela o área destinada al aprovechamiento del recurso, ya sea para consumo humano, riego o uso pecuario. Este esquema, representado por los números “1-2-1”, busca aprovechar de manera eficiente el agua pluvial y ha permitido abastecer a millones de personas y cabezas de ganado, mejorando de forma significativa las condiciones de vida, salud y productividad en zonas con escasez hídrica, este proyecto ha beneficiado a millones de familias rurales mediante la provisión de áreas de captación, tanques de almacenamiento y pequeñas parcelas agrícolas. En Alemania, Canadá y Estados Unidos, la implementación de los SCALL forma parte de estrategias gubernamentales orientadas al ahorro de agua y la sostenibilidad urbana.

En México, los SCALL se han posicionado como una opción viable para abastecer a más de 13 millones de personas en alrededor de 3.3 millones de viviendas (Torres, 2019). Las soluciones tecnológicas incluyen cisternas revestidas con geomembrana, tanques metálicos o flexibles de distintas capacidades y sistemas autoconstruibles de bajo costo. Instituciones como el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) y el Centro Internacional de Demostración y Capacitación en Aprovechamiento del Agua de Lluvia (CIDECALLI-CP) han impulsado proyectos orientados a la captación para consumo humano, la agricultura y el uso doméstico alternativo (Torres, 2019).

En años recientes, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) ha fortalecido la difusión de esta práctica mediante la publicación del Manual para instalar un sistema de captación de agua de lluvia (SCALL), donde se establecen lineamientos técnicos, materiales y procedimientos para su implementación en viviendas con precipitaciones superiores a 900 mm anuales, asegurando una provisión mínima de 80 L diarios por persona (Gobierno de México, 2023). Este manual promueve sistemas de autoconstrucción, de bajo costo y fácil mantenimiento, como alternativa sostenible frente a la escasez de agua en zonas urbanas y rurales.

El incremento en la frecuencia de sequías, la variabilidad climática y el deterioro de los sistemas de distribución han hecho que la captación pluvial cobre creciente relevancia como una solución técnica y económica. Evaluar la viabilidad económica y la sostenibilidad de los SCALL en contextos urbanos semiáridos resulta indispensable para identificar su potencial como estrategia de gestión eficiente del recurso hídrico, especialmente en áreas con usos de suelo doméstico, comercial y

de servicios. En este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo general evaluar la viabilidad económica de los sistemas de captación de aguas pluviales en una zona urbana con clima semiárido, considerando los costos de implementación, los beneficios económicos y su impacto en la reducción del consumo de agua potable, con el fin de determinar su rentabilidad y sostenibilidad a largo plazo. Esta perspectiva se alinea con los esfuerzos nacionales e internacionales para promover la seguridad hídrica, la economía circular y la adaptación urbana al cambio climático.

1.2 Formulación del problema

El acceso al agua potable constituye uno de los principales desafíos globales del siglo XXI, especialmente en regiones donde la disponibilidad del recurso se ve limitada por factores como el crecimiento poblacional, el cambio climático y la sobreexplotación de los acuíferos (UNESCO, 2021). En México, esta situación es particularmente crítica: alrededor de 10 millones de personas carecen de acceso al agua en sus viviendas, mientras que un sector considerable de la población recibe un suministro insuficiente o de baja calidad. La actual crisis de sequía nacional ha intensificado esta problemática, pues siete de cada diez municipios presentan un déficit hídrico que impide satisfacer la demanda básica (Tecnológico de Monterrey, 2022). En este contexto, la captación de agua pluvial se presenta como una alternativa viable para complementar el abastecimiento y reducir la presión sobre las fuentes convencionales.

El Consejo Consultivo del Agua advierte que la crisis hídrica nacional ha alcanzado niveles alarmantes. Cerca del 78% del agua disponible se destina a actividades agropecuarias, mientras que el 23% de los cuerpos de agua superficiales presenta niveles de contaminación que limitan su uso. De los 653 acuíferos identificados en el país, 106 se encuentran sobreexplotados, lo que compromete la disponibilidad futura del recurso. En las zonas urbanas, las pérdidas por fugas alcanzan hasta un 40% del suministro, y solo el 47.5% de las aguas residuales recibe tratamiento adecuado (Tecnológico de Monterrey, 2022).

Asimismo, de acuerdo con Enrique Lomnitz (Tecnológico de Monterrey, 2022), alrededor del 70% del agua utilizada proviene del subsuelo, lo que implica una extracción diaria superior a la capacidad natural de recarga. En el Valle de México, el elevado grado de urbanización ha reducido considerablemente el espacio disponible para la construcción de reservorios o cuerpos de retención. Ejemplo de ello es la zona donde se ubicaba el antiguo lago de Texcoco, actualmente objeto de propuestas que buscan restaurarlo mediante la creación de humedales y lagos artificiales, con el fin de contribuir a la recuperación ecológica y a la sostenibilidad hídrica regionales.

Las consecuencias de esta crisis son múltiples y de carácter transversal. En el ámbito sanitario, la escasez de agua obliga a miles de familias a consumir agua de baja calidad, lo que incrementa la incidencia de enfermedades gastrointestinales e infecciosas. En el plano social, la falta de acceso equitativo profundiza las desigualdades y afecta de manera desproporcionada a comunidades rurales y marginadas. Desde la perspectiva económica, la disponibilidad limitada del recurso reduce la productividad agrícola e industrial, encarece los costos de distribución y obliga a los hogares a destinar una parte significativa de sus ingresos a la compra de agua embotellada o distribuida por pipas. Finalmente, en el ámbito ambiental, la sobreexplotación de los acuíferos ha provocado hundimientos del suelo, pérdida de humedales, disminución de la biodiversidad y desequilibrios ecosistémicos cada vez más severos (Instituto Mexicano para la Competitividad, 2023).

Frente a este panorama, los sistemas de captación de aguas pluviales (SCALL) se presentan como una ecotecnología viable, sustentable y de bajo costo, especialmente en regiones urbanas con climas semiáridos y acceso limitado a fuentes superficiales o subterráneas. Estos sistemas permiten recolectar el agua de lluvia que cae sobre techos u otras superficies impermeables, conducirla a tanques o cisternas y almacenarla para usos posteriores. El agua captada puede emplearse en actividades domésticas -como el riego, la limpieza o el lavado- y, mediante un tratamiento adecuado, también puede destinarse al consumo humano (Instituto de Investigaciones Tecnológicas del Agua, 2023).

Pese a su potencial, la adopción de los SCALL en México sigue siendo limitada por factores económicos, normativos y culturales, así como por la falta de estudios que evalúen su viabilidad económica y sostenibilidad a largo plazo en distintos tipos de uso del suelo urbano. En este sentido, el presente trabajo se orienta a evaluar la viabilidad económica de los SCALL en zonas urbanas con clima semiárido, considerando sus costos de implementación, beneficios económicos y contribución a la reducción del consumo de agua potable, con el propósito de determinar su rentabilidad y potencial como alternativa sostenible de abastecimiento.

1.3 Justificación

El agua es un recurso esencial para la vida, el bienestar social y el desarrollo económico. No obstante, el aumento sostenido de la demanda, los efectos del cambio climático y la sobreexplotación de las fuentes hídricas han generado una crisis mundial en el abastecimiento de agua potable. En México, esta problemática es particularmente grave: entre 20 y 21 millones de personas carecen de acceso diario al agua en sus hogares, lo que refleja una brecha significativa en la cobertura y calidad del servicio (Consejo Consultivo del Agua, 2021). Aun entre quienes cuentan con conexión domiciliaria, el suministro suele ser irregular o insuficiente, lo que

incrementa la inconformidad social y obliga a las familias a buscar alternativas más confiables y sostenibles para cubrir sus necesidades básicas.

Ante este panorama, los SCALL surgen como una estrategia sustentable y económicamente viable para diversificar las fuentes de abastecimiento y fortalecer la seguridad hídrica a nivel doméstico y comunitario. Su adopción permite aprovechar la precipitación pluvial como complemento del suministro convencional, reduciendo la dependencia de las redes centralizadas y el agotamiento de los acuíferos sobreexplotados.

Desde la perspectiva económica, la implementación de los SCALL representa una oportunidad para optimizar el consumo de agua potable y reducir los costos operativos en viviendas, comercios e instituciones. Diversos estudios sobre eficiencia hídrica han demostrado que estos sistemas pueden reducir hasta un 50% el gasto asociado al suministro de agua, particularmente en actividades que no requieren altos niveles de potabilidad, como el riego, la limpieza o el uso en sanitarios. Esta reducción se traduce en beneficios tangibles tanto para los usuarios —al disminuir sus pagos de tarifas— como para los gobiernos locales, al aliviar la presión sobre las infraestructuras hidráulicas y los sistemas de distribución (INFOBAE, 2021).

Si bien la instalación inicial de los SCALL implica una inversión de capital, esta puede recuperarse en el mediano plazo gracias al ahorro generado y, en algunos casos, mediante programas de subsidios e incentivos públicos. En la Ciudad de México, por ejemplo, existen apoyos gubernamentales que cubren hasta el 50% del costo de instalación, lo que ha favorecido su adopción y fortalecido su rentabilidad social y ambiental (INFOBAE, 2021).

En conjunto, la captación pluvial constituye una alternativa económicamente viable, socialmente equitativa y ambientalmente sostenible para enfrentar los desafíos del abastecimiento hídrico en zonas urbanas con clima semiárido. Su incorporación a gran escala podría reducir significativamente la presión sobre los sistemas de agua potable, promover el uso eficiente del recurso y fomentar una cultura de aprovechamiento responsable. En este contexto, evaluar la viabilidad económica de los SCALL resulta indispensable para sustentar decisiones técnicas y políticas que impulsen su implementación como parte de una estrategia integral de gestión hídrica y resiliencia urbana.

1.4 Preguntas de investigación

A partir de lo anterior, se plantean las siguientes preguntas de investigación:

1. ¿Qué beneficios económicos y técnicos genera la implementación de un sistema de captación de aguas pluviales (SCALL) en viviendas ubicadas en zonas urbanas con clima semiárido?
2. ¿En qué medida la instalación y operación de un SCALL requieren mano de obra especializada o pueden realizarse mediante procesos de autoconstrucción?
3. ¿En qué periodo se estima que podría recuperarse la inversión inicial requerida para la implementación de un SCALL mediante el ahorro generado en el consumo de agua potable?
4. ¿De qué manera la captación y el aprovechamiento del agua pluvial contribuyen a mitigar la escasez hídrica y a reducir los costos asociados al mantenimiento y operación de las infraestructuras hidráulicas convencionales?

1.5 Objetivo general

Evaluar la viabilidad económica de los sistemas de captación de aguas pluviales (SCALL) implementados en zonas urbanas de clima semiárido con escasez hídrica y distintos usos de suelo -doméstico, comercial y de servicios-, mediante el análisis de los costos de implementación, los beneficios económicos y la reducción en el consumo de agua potable, con el propósito de determinar su rentabilidad y sostenibilidad a largo plazo.

1.5.1 Objetivos específicos

1. Estimar los costos totales de instalación, operación y mantenimiento de un sistema de captación de aguas pluviales en distintos tipos de uso de suelo urbano, a fin de evaluar la factibilidad técnica y económica de su implementación.
2. Analizar el ahorro económico potencial generado por la sustitución parcial del agua potable por agua pluvial en actividades como el riego, la limpieza y los sanitarios, en sectores domésticos, comerciales y de servicios, identificando el volumen de agua potable sustituido.
3. Comparar la viabilidad económica de los SCALL con la de métodos tradicionales de abastecimiento de agua, destacando sus principales ventajas, limitaciones y áreas de oportunidad en términos de eficiencia y sostenibilidad.
4. Calcular el periodo de retorno de la inversión de los sistemas de captación de aguas pluviales en distintos contextos socioeconómicos y climáticos, con el propósito de determinar su rentabilidad y su relación costo-beneficio.

1.6 Hipótesis

La implementación de sistemas de captación de aguas pluviales (SCALL) en zonas urbanas de clima semiárido es técnica y económicamente viable, ya que pueden construirse con materiales accesibles y de bajo costo, sin requerir mano de obra especializada. Su instalación permite incrementar la disponibilidad de agua en viviendas, comercios y servicios, además de reducir el consumo de agua potable y los costos asociados al suministro convencional, lo que posibilita recuperar la inversión inicial en un periodo aproximado de dos años, según la precipitación y la capacidad de almacenamiento. Asimismo, su adopción contribuye a disminuir la presión sobre la infraestructura hidráulica urbana, lo que favorece la eficiencia económica, la sostenibilidad ambiental y la resiliencia hídrica a largo plazo.

1.7 Alcances

El presente estudio tiene como objetivo evaluar la viabilidad económica de los sistemas de captación de aguas pluviales (SCALL) en una zona urbana con clima semiárido, mediante el análisis de variables relacionadas con los costos de materiales, instalación, operación y mantenimiento, así como de los beneficios económicos derivados de su implementación y de su impacto en la reducción del consumo de agua potable.

La evaluación se realizará a través de un análisis de precios a costo directo, que incluirá los materiales necesarios para la construcción e instalación del sistema. No se considerará el costo de mano de obra en algunos componentes, dado que el proyecto se orienta a la autoconstrucción como estrategia para reducir gastos y demostrar la factibilidad técnica y económica del sistema en contextos domésticos o de pequeña escala.

Asimismo, se realizará un análisis del periodo de retorno de la inversión (ROI o *payback*) con el propósito de estimar el tiempo requerido para recuperar el costo total del sistema, considerando el ahorro generado por la disminución del consumo de agua potable y la reducción de gastos asociados al desabasto, como la compra de agua mediante pipas u otros medios de suministro alternativos.

1.8 Limitaciones

Entre las principales limitaciones identificadas para la implementación y evaluación de los sistemas de captación de aguas pluviales (SCALL) se encuentra la disponibilidad de espacio físico en las viviendas o en las edificaciones urbanas. En muchos casos, las superficies destinadas al

almacenamiento de agua son reducidas, lo que limita la capacidad de los tanques o cisternas requeridos. Esta restricción puede implicar la necesidad de utilizar depósitos verticales o modulares que optimicen el espacio, aunque con menor volumen de almacenamiento, lo que podría incrementar el número de unidades instaladas y, en consecuencia, los costos iniciales del sistema.

Otra limitante relevante es la variabilidad temporal de las precipitaciones, factor determinante del rendimiento y la eficiencia de los SCALL. Si bien el periodo de retorno de inversión (ROI) se estima a partir de los promedios históricos de lluvia, una disminución de la precipitación anual o una distribución irregular de los eventos pluviales puede prolongar el tiempo de recuperación económica y reducir la disponibilidad del recurso. Por tanto, los resultados estarán sujetos a las condiciones climáticas locales y a la variabilidad interanual propia de las zonas semiáridas.

1.9 Descripción de la zona y objeto de estudio

El estudio se desarrollará en una zona urbana del estado de Hidalgo, caracterizada por condiciones climáticas propias de regiones semiáridas (figura 1.1), donde la disponibilidad natural de agua es limitada y la precipitación se concentra en pocos meses del año. Estas condiciones generan una marcada variabilidad estacional que afecta el acceso continuo al recurso hídrico y propicia periodos de sequía que impactan directamente a la población. A ello se suma el crecimiento demográfico y la expansión de las áreas urbanizadas, que incrementan la demanda de agua potable y ejercen presión sobre la infraestructura existente, la cual, en muchos casos, opera al límite de su capacidad.

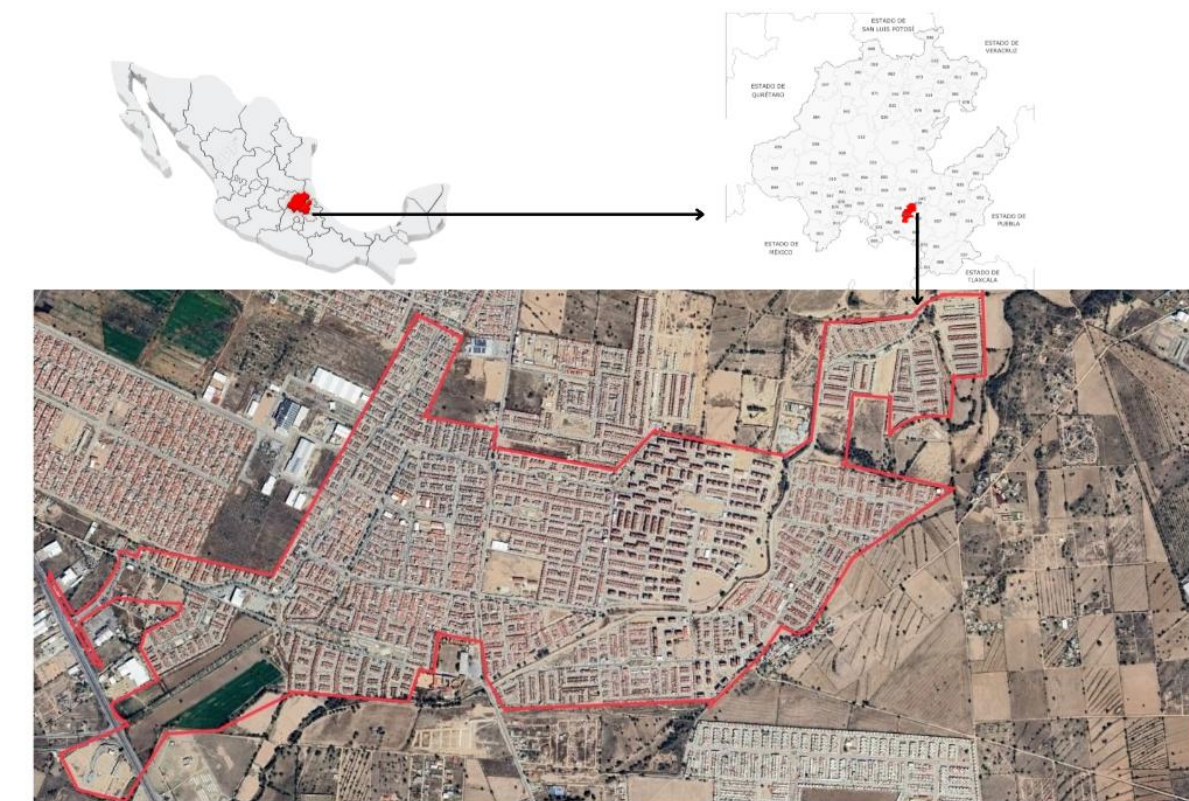


Imagen satelital tomada de Google Earth (© Google, 2025). Datos de imagen: © INEGI. Edición y delimitación realizadas por el autor. Acceso: 08/07/2025.

Figura 1.1 Localización del área de estudio

En este contexto, el presente proyecto se enfoca en evaluar la viabilidad económica de un sistema de captación de aguas pluviales (SCALL) adaptado a diferentes tipologías constructivas urbanas, incluyendo viviendas unifamiliares, dúplex, triplex y cuádruplex, así como edificaciones comerciales y de servicios. Para ello, se identifican y analizan los materiales requeridos para su construcción —desde insumos básicos como tornillos o taquetes hasta componentes principales como tanques de almacenamiento, bombas y sistemas de conducción—, así como los costos asociados a su implementación y los beneficios económicos derivados de su operación.

El análisis contempla la rentabilidad del sistema y su capacidad de recuperar la inversión inicial a largo plazo, considerando factores como los costos de mantenimiento, el ahorro en el consumo de agua potable, posibles incentivos gubernamentales y la reducción de gastos derivados del desabasto. Asimismo, se proyecta que la instalación del SCALL incremente la disponibilidad de agua al incorporar una segunda fuente de abastecimiento complementaria, lo que repercutirá positivamente en el bienestar económico y sanitario de los usuarios al reducir los efectos asociados a la escasez hídrica y al deterioro de la infraestructura hidráulica urbana. Los detalles de la instalación del SCALL y el presupuesto se presentarán en apartados posteriores.

Capítulo 2. Contexto teórico de la investigación

2.1 Introducción

La captación de agua de lluvia (SCALL) se ha posicionado como una alternativa pertinente ante la escasez hídrica, la sobreexplotación de los acuíferos y la presión sobre la infraestructura hidráulica. En ámbitos urbanos y rurales con acceso limitado al agua potable, los SCALL operan como soluciones sustentables, descentralizadas y de bajo impacto ambiental, capaces de mejorar la disponibilidad hídrica para usos domésticos, institucionales y productivos. La evidencia empírica avala su eficacia y versatilidad: en viviendas con techos de $\sim 100 \text{ m}^2$, las tecnologías de bajo impacto —por ejemplo, la captación en azoteas combinada con pavimentos permeables— pueden cubrir al menos el 25 % de la demanda no potable (Lizárraga-Mendiola et al., 2018); en entornos empresariales de León, Guanajuato, se han documentado beneficios económicos y ambientales relevantes (Tagle Zamora et al., 2018). En el plano institucional, se ha demostrado su viabilidad en edificaciones académicas (Manjarrez Hernández, 2020) y agropecuarias (Centeno Reyes y Gamboa Espinoza, 2024). La dimensión social también ha sido explorada: la aceptación comunitaria y la sostenibilidad a largo plazo dependen de factores contextuales (Berrelleza Rendón, 2021). En México, el CIDECALLI-CP (Colegio de Postgraduados, Universidad Autónoma de Chapingo) ha impulsado su uso en el riego de huertos, en la producción animal a pequeña escala y en el abastecimiento escolar y comunitario, lo que ha generado una base empírica sólida para su adopción (Torres, 2019). Este capítulo revisa el estado del conocimiento sobre SCALL —aplicaciones, características técnicas, beneficios y limitaciones— a partir de artículos científicos, tesis y documentos técnicos recientes.

2.2 Metodología de la revisión

Para la búsqueda de la información que fuera de relevancia en este proyecto se empleó la siguiente metodología (Figura 2.1):



Figura 2.1 Determinación de las fuentes de búsqueda

2.2.1 Fuentes de consulta

Para asegurar la calidad y la trazabilidad de la literatura, se emplearon bases de datos y editoriales académicas: Google Scholar, SciELO, Latindex, MDPI, IOPscience, SpringerLink y Taylor & Francis. ResearchGate se utilizó como repositorio complementario (para copias de autor y preprints). Se evitó depender de motores genéricos (Google/Bing) cuando no conducían a documentos arbitrados.

2.2.2 Estrategia de búsqueda

Se definieron descriptores en español e inglés que cubren dimensiones técnicas, económicas y ambientales de los SCALL: “agua de lluvia”, “captación pluvial”, “sistemas de captación de agua de lluvia”, “SCALL”, “cosecha de agua de lluvia”, “viabilidad económica”, “recolección en techos”, “estudios técnicos de SCALL”; y “rainwater harvesting”, “rainwater collection systems”, “technical feasibility of rainwater harvesting”, “economic analysis of SCALL”. Se aplicaron filtros por idioma, año y tipo de documento.

2.2.3 Criterios de exclusión

Se excluyeron trabajos anteriores a 2017 (ya que la revisión bibliográfica se concentró en los 5 años más recientes), investigaciones centradas en tecnologías no equivalentes (zanjas de infiltración, jardines pluviales, barreras verdes) o en aplicaciones a gran escala (aeropuertos, centros comerciales, plantas industriales) por no ser comparables con el enfoque residencial/comercial de pequeña y mediana escala. También se descartaron estudios que carecían de datos técnicos o económicos útiles para el diseño y la operación de SCALL en entornos residenciales.

2.2.4 Criterios de inclusión

Se incorporaron trabajos a partir del año 2017 que evaluaran captación en techos con superficies próximas a 100 m², comparables a viviendas unifamiliares, y que reportaran parámetros técnicos y/o económicos extrapolables a contextos residenciales similares.

2.2.5 Selección final

Tras un cribado sistemático de 46 documentos, con apoyo de herramientas de síntesis para la evaluación preliminar de la relevancia, la claridad metodológica y la aplicabilidad, se seleccionaron 27 referencias para construir el marco teórico y el estado del arte, identificando tendencias, oportunidades y desafíos para SCALL en vivienda unifamiliar.

2.3 Estado actual del conocimiento

2.3.1 Infraestructura apta para SCALL

Los manuales técnicos -como el de la Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México- describen al SCALL como tecnología altamente adaptable a distintas configuraciones civiles debido a la simplicidad y flexibilidad de su diseño (SEDEMA, 2020). El elemento principal es la superficie de captación (losa, cubierta, patio, senderos), que recoge el escurrimiento y lo conduce al almacenamiento y/o al tratamiento. Esta modularidad facilita su implementación en viviendas, comercios, industrias y espacios públicos (plazas, estacionamientos, vialidades), reduciendo los costos de instalación al aprovechar superficies existentes.

2.3.2 Beneficio técnico y desempeño

La factibilidad técnica ha sido verificada en casos reales. En la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM Azcapotzalco), el edificio W (laboratorios) puede cubrir 100% de los servicios de baños y limpieza —tras un aporte externo inicial de 43 m³ durante los tres primeros meses— con un tanque de 5 m³; un mayor volumen permitiría abastecer edificios adicionales (Solórzano et al., 2019). Para viviendas de alrededor de 120 m², se ha estimado un almacenamiento de 5 a 7.5 m³, suficiente para la demanda no potable gran parte del año; en viviendas mayores, el almacenamiento requerido crece y puede afectar la factibilidad técnica/económica (Requejo Salazar y Díaz Coronel, 2019). La metodología de OPS/UNATSABAR (Organización Panamericana de la Salud y la Unidad de Apoyo Técnico para el Saneamiento Básico Rural) considera el análisis mensual de oferta-demanda; este enfoque optimiza el dimensionamiento del tanque (p. ej., 5, 6.1 y 7.5 m³ para 84, 112 y 140 m², respectivamente). En Guamaní-Quito, para 70 m² se observaron captaciones de 8.6 a 11.9 m³ (febrero–abril) y ahorros de hasta 66 % en meses lluviosos (Simbaña et al., 2022).

En síntesis, la implementación es ampliamente replicable en edificaciones con cubierta apta (incluidas naves o complejos deportivos), siempre que el diseño hidrológico y el almacenamiento se ajusten al régimen de precipitación y a la demanda esperada.

2.3.3 Beneficio económico en vivienda

Los SCALL generan ahorros directos al sustituir el agua potable en usos no potables y pueden amortizar la inversión inicial en plazos cortos. En Guamaní-Quito, el ahorro promedio anual fue del 41.36 % del consumo, equivalente a ~USD 115.50; con una inversión de USD 460.76 (en azoteas de 110 m²), el retorno se estimó en 4 años (Simbaña et al., 2022). En la Universidad de Guadalajara (794.87 m²), el ahorro anual alcanzó MXN 13,132.15, además de reducir en 651.72 m³ los escurrimientos hacia las calles (Guzmán Cruz y Gleason Espíndola, 2018). En Perú (azoteas de 89 m²), con una inversión de S/ 2,600 (≈ USD 708.55), se obtuvieron beneficios anuales de S/ 1,260, VAN ≈ S/ 19,911 y TIR de 36%; el costo del agua de lluvia resultó muy inferior al de alternativas como la desalinización (Morales Rojas, 2021).

A escala de ciudad, León, Guanajuato simuló escenarios de adopción en 386,977 viviendas y con diferentes tarifas (MXN 4.95 y 22.1 por m³), con valores anuales agregados de captación equivalentes a MXN 33.6 a 603 millones, según el nivel de adaptación (Tagle Zamora et al., 2018). En el Tecnológico Nacional de México, campus Colima, la captación supuso un ahorro del 23% en el consumo animal (≈ MXN 4,400/año) y una dotación potencial para 50 familias con un consumo

de 150 L/hab/día, considerando 12,360.96 m² de superficie cosechable (Cortés Alcaraz et al., 2021).

En general, los estudios reportan *paybacks* (periodos de retorno de la inversión) típicos de 3 a 5 años, que dependen del tamaño del sistema y del régimen de lluvias.

2.3.4 Materiales y componentes

De acuerdo con SEDEMA (2020) y el IMTA (2021), los SCALL se construyen con insumos disponibles en ferretería: canaletas metálicas o de PVC (diámetro según área y lluvia), soportes, tubería de PVC (tramos y diámetros según trazo), codos (90°/45°) y tes, reducciones, abrazaderas, taquetes y pijas, lija y adhesivo para PVC. Para el pretratamiento y la calidad se requieren mallas/cribas (retención de sólidos), un separador de primeras lluvias y, según el uso final, filtración (por ejemplo, sedimentos, carbón activado) y desinfección (cloro, UV, ozono, plata). El almacenamiento puede realizarse mediante tanques prefabricados o cisternas de concreto, y la conducción presurizada suele requerir una bomba (SEDEMA, 2020; Quintanar et al., 2022).

2.3.5 Accesibilidad de materiales y equipo

Los materiales (PVC, canaletas, mallas, válvulas, bombas, tinacos/cisternas) y el equipo de instalación (taladro y brocas, sierra/segueta, cinta métrica, nivel, llaves, desarmadores, martillo, teflón, sellador, escalera, guantes y gafas) son de uso común y fácil reposición, con estándares adecuados de durabilidad (SEDEMA, 2020; IMTA, 2021). Ello facilita el mantenimiento y la autoconstrucción supervisada.

2.3.6 Costos de instalación y mantenimiento

El costo no es único: varía según las dimensiones, la calidad de los componentes, el almacenamiento y el mercado local. Para viviendas comparables (89 a 112 m²) se reportan inversiones de USD 460.76 a 708.55; el mantenimiento anual se estima entre 2.5 y 3% del CAPEX (*Capital Expenditure* o gasto de capital) (Morales Rojas, 2021; Simbaña et al., 2022; Jamal et al., 2023). Aunque algunos estudios no incluyen operación y mantenimiento (OyM), su magnitud es reducida. La inversión inicial puede mitigarse mediante incentivos públicos y se recupera mediante ahorros en la facturación de agua.

2.3.7 Ahorro hídrico y retorno de inversión

El ahorro potencial varía según la escala y el perfil de uso. En viviendas de 4 a 5 ocupantes, con diseño y tratamiento adecuados, se puede cubrir hasta el 100% de la demanda no potable (riego, limpieza, sanitarios) y, en períodos húmedos, incluso acercarse a la totalidad de la demanda doméstica. En edificios de baja demanda (oficinas administrativas, almacenes, centros culturales) es factible lograr ahorros muy altos debido a la baja intermitencia de uso. En infraestructuras intensivas (plazas comerciales, terminales, hospitales, escuelas), los ahorros típicos se sitúan entre 20 y 50%, condicionados por la superficie captadora o por las azoteas, la capacidad de almacenamiento y los hábitos de consumo.

El periodo de retorno depende en gran medida del régimen pluviométrico: con precipitaciones elevadas y regulares, el ROI se acorta; en contextos de menor lluvia o de alta estacionalidad, se prolonga. En ciudades de Perú, con inversión $\approx$ S/ 2,600 (89 m²) y precipitaciones mensuales que alcanzan 396.2 mm (Tunants, dic.) y 429 mm (Yahuahua, jun.), el retorno puede ser ligeramente superior a 2 años (Morales Rojas, 2021). En Guamaní (Quito), con lluvias más moderadas y un valor de USD 460.76 por m² (110 m²), el retorno se estimó en $\approx$ 4 años (Simbaña et al., 2022). La precipitación media anual, la escala del sistema y la estructura tarifaria determinan la viabilidad económica.

2.3.8 Factores que inciden en el ROI

Entre los principales factores que inciden en el retorno de la inversión se encuentran principalmente el volumen de precipitación, la superficie efectiva de captación y su coeficiente de escurrimiento, el tamaño del tanque y la eficiencia del pretratamiento, el porcentaje de sustitución de agua potable, los costos iniciales (materiales/instalación), la calidad del diseño, su operación y mantenimiento, la demanda del inmueble, así como los incentivos disponibles (Imteaz et al., 2021).

2.3.9 SCALL, su infraestructura y costos operativos

La adopción de SCALL descentraliza la provisión, reduce la extracción, el transporte y el tratamiento en los sistemas públicos y alivia el drenaje pluvial, con beneficios operativos y una

vida útil más prolongada de los activos (Campisano et al., 2012). En México, soluciones como cisternas con geomembrana, depósitos metálicos (de 5 a 5,000 m³ de capacidad) y bolsas flexibles (de 1 a 400 m³) han alcanzado a ~13 millones de personas en 3.3 millones de viviendas (Torres, 2019). En poblaciones donde las demandas de agua son bajas, la perforación de pozos resulta poco económica (ya que implica costos fijos y energéticos elevados), mientras que el SCALL es más eficiente para 146 a 1,575 m³/año (López et al., 2017). El IMTA y el CIDECALLI-CP (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua y el Centro de Investigación y Desarrollo en Captación de Agua de Lluvia – Cuenca del Papaloapan) han mostrado aplicaciones tanto domésticas como productivas, lo que confirma su pertinencia técnica y económica (Torres, 2019).

2.3.10 Resiliencia ante sequías

El SCALL incrementa la autonomía hídrica durante episodios de sequía y desabasto, y puede facilitar la infiltración y disminuir la presión sobre los acuíferos, lo que contribuye a la sostenibilidad y reduce los costos asociados a la escasez (Istchuk y Ghisi, 2023). En consecuencia, constituye una medida costo-efectiva dentro de las estrategias de adaptación y de gestión integrada del recurso.

2.4 Marco conceptual y teórico

2.4.1 Sistema de captación de agua de lluvias (SCALL)

Un sistema de captación de agua de lluvia (SCALL) consiste en un conjunto de componentes —como canaletas, tuberías, filtros, separadores, depósitos y bombas— diseñados para recolectar, almacenar y tratar el agua proveniente de las precipitaciones (SEDEMA, 2020). Estos sistemas pueden adaptarse a distintos propósitos de uso, generalmente clasificados en tres tipos principales:

- a) Captación desde techos limpios, destinada a producir agua potable adecuada para el consumo y el contacto humano.
- b) Captación desde techos comunes, orientada al abastecimiento de usos no potables, como sanitarios, de limpieza, de riego o de procesos industriales.
- c) Captación desde superficies abiertas —como calles o patios—, empleada con fines de infiltración en el subsuelo para la recarga de acuíferos o para actividades agrícolas.

2.4.2 Agua pluvial

Las aguas pluviales provienen de la lluvia que cae de forma natural. En zonas urbanas, este tipo de agua no se absorbe en el suelo, sino que corre por superficies como techos, calles, estacionamientos y otras áreas impermeables. Finalmente, estas aguas terminan en las alcantarillas y en el sistema de drenaje pluvial de la ciudad (Valdivielso, 2024).

2.4.3 Proceso de la lluvia

La lluvia es el resultado de una serie de procesos atmosféricos que forman parte del ciclo hidrológico. El agua presente en la superficie terrestre se transforma en vapor mediante la evaporación y la transpiración, impulsadas principalmente por la radiación solar y el gradiente térmico entre la superficie terrestre y la atmósfera. Este vapor asciende por convección y, al alcanzar capas más frías, se produce la condensación, proceso en el cual el aire alcanza su punto de rocío y el vapor se adhiere a núcleos higroscópicos, formando microgotas. La acumulación y crecimiento de estas gotas originan las nubes.

En la nube, las microgotas continúan colisionando y coalescen hasta alcanzar un tamaño en el que la fuerza gravitatoria supera la resistencia del aire. Cuando esto ocurre, se inicia la precipitación, que puede manifestarse como lluvia, nieve o granizo, según el perfil térmico de la atmósfera. Este proceso constituye la principal entrada de agua dulce al sistema terrestre y es fundamental para el balance hidrológico de cuencas y ecosistemas (*El Ciclo Hidrológico*, 2023).

2.4.4 Superficie de captación

La superficie de captación corresponde al área —por lo general, el techo o la cubierta— en la que se recolecta el agua pluvial destinada a su aprovechamiento. La cantidad de agua que puede obtenerse depende de la extensión de dicha superficie y de la intensidad de las precipitaciones. Asimismo, el material de construcción y su nivel de limpieza influyen directamente en la calidad del agua recolectada: si presenta suciedad o está elaborada con materiales que desprenden sustancias tóxicas o impurezas, el agua resultante tendrá una calidad deficiente (SEDEMA, 2020).

2.4.5 Componentes del SCALL

Los principales elementos que conforman un sistema de captación y almacenamiento de agua de lluvia (SCALL) incluyen diversos componentes estructurales e hidráulicos (Figura 2.2). Entre ellos destacan las canaletas, que pueden ser metálicas o de PVC, cuyo tamaño —de 3", 4", 6" o

mayores— depende tanto del volumen de lluvia esperado como de las dimensiones del área de captación. Para su instalación se utilizan soportes del mismo calibre que la canaleta.

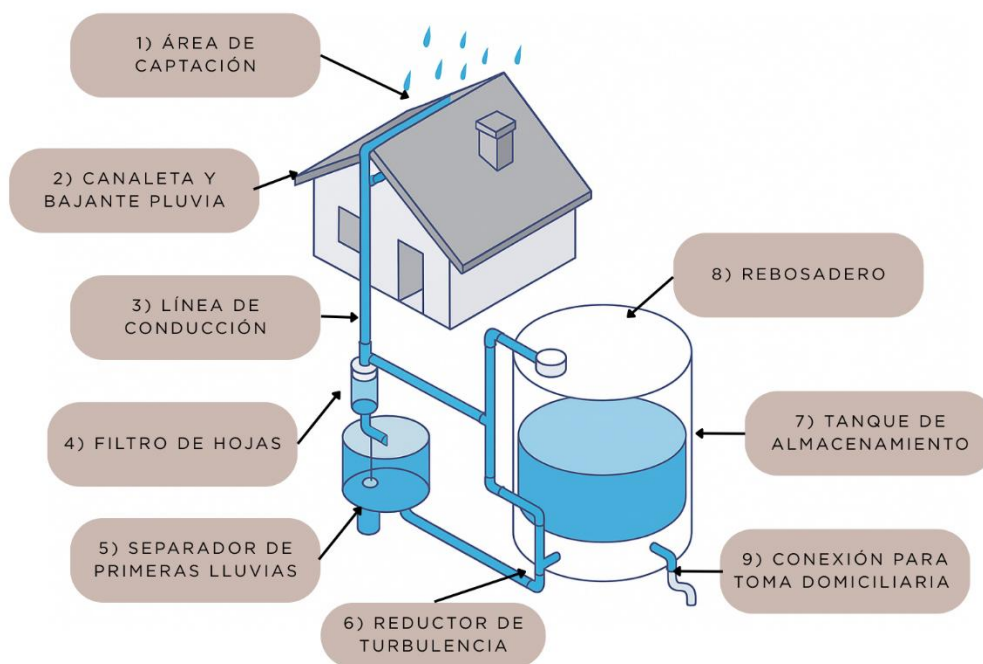


Figura 2.2 Elementos principales que comprenden la instalación de un SCALL

El tubo de conducción, generalmente de PVC con un diámetro aproximado de 4", transporta el agua recolectada hacia el depósito. Este debe fijarse a la pared mediante abrazaderas del mismo diámetro y puede complementarse con codos de 90° o de 45°, así como con tees o reducciones, según la trayectoria y la configuración del sistema. La instalación también requiere taquetes, tornillos, lija y pegamento para PVC, que garantizan la unión y el sellado adecuados de las piezas (Quintanar et al., 2022).

Otros elementos importantes son los filtros, cuya tipología varía según el uso final del agua; las bombas, que facilitan su traslado hasta el punto de destino; y los depósitos de almacenamiento, que pueden ser cisternas prefabricadas o construidas in situ con concreto, con dimensiones y materiales adaptados a las necesidades específicas del sistema (Quintanar et al., 2022).

Pretratamiento

El pretratamiento consiste en las acciones de limpieza que se llevan a cabo mientras el agua de lluvia se traslada desde el techo hasta el sistema de almacenamiento. Su propósito es eliminar impurezas antes de que el agua llegue al tanque, a fin de mantenerlo lo más limpio posible y evitar que el tratamiento final tenga que lidiar con una gran cantidad de contaminantes (SEDEMA, 2020).

Mallas o cribas

Este tipo de filtro se utiliza para impedir el paso de materiales sólidos de mayor tamaño, como ramas, hojas u otros residuos que podrían contaminar el agua o provocar obstrucciones en el sistema. Deben ser de fácil limpieza y, en la mayoría de los casos, se fabrican con tela mosquitera, ya que esta retiene eficazmente una gran cantidad de partículas y tiene un costo reducido (SEDEMA, 2020).

Separador de aguas primarias

Estos dispositivos tienen la función de desviar el agua captada durante los primeros minutos de lluvia, impidiendo que ingrese al sistema de almacenamiento. Esta fase inicial del escurrimiento es la más contaminada, ya que arrastra polvo y otras impurezas acumuladas en las superficies del techo, por lo que presenta una concentración más alta de sustancias nocivas. Existen distintos tipos de sistemas de separación, que pueden construirse con tuberías de PVC o mediante mecanismos especializados diseñados específicamente para este propósito (SEDEMA, 2020).

Filtración química

Los filtros químicos se utilizan en la etapa final del tratamiento del agua como una medida adicional de seguridad, destinada a minimizar la presencia de contaminantes residuales tras la depuración y el almacenamiento del agua. Su implementación resulta especialmente relevante cuando el agua será empleada para consumo o para contacto humano, en particular en entornos urbanos.

El propósito de estos filtros es eliminar partículas finas, compuestos químicos disueltos y otros contaminantes que puedan afectar las características sensoriales del agua, como su color, olor o sabor. Existen diversos tipos de filtros, cada uno diseñado para eliminar contaminantes específicos. En muchos casos, un filtro de sedimentos básico resulta suficiente para obtener una

calidad adecuada; no obstante, cuando el agua se destina al consumo humano, es recomendable incorporar filtros de carbón activado u otros dispositivos de mayor especialización (SEDEMA, 2020).

Desinfección

Los sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL) deben incorporar algún mecanismo de desinfección del agua para garantizar su inocuidad. Este proceso puede realizarse directamente en la cisterna, en el punto de uso o en una etapa intermedia, como un tinaco instalado en la parte superior de la edificación. Entre las técnicas de desinfección más empleadas destacan el cloro, el ozono, la plata coloidal y la radiación ultravioleta (SEDEMA, 2020).

Almacenamiento y conducción

El almacenamiento en un sistema de captación de agua de lluvia (SCALL) puede realizarse mediante cisternas, tanques plásticos, tambos u otros recipientes adecuados. Es fundamental que estos contenedores estén fabricados con materiales no tóxicos, sean opacos y cuenten con cierres herméticos que impidan el ingreso de insectos o animales. Además, deben colocarse de modo que su peso no comprometa la estructura del edificio. En algunos casos, conviene incorporar un rebosadero que permita evacuar el exceso de agua de forma controlada cuando las precipitaciones superan la capacidad del tanque. El volumen óptimo de almacenamiento debe definirse considerando la extensión de la superficie de captación, la precipitación media de la zona y el uso previsto del agua (SEDEMA, 2020).

En determinados contextos, especialmente en zonas rurales, los SCALL pueden diseñarse para operar sin necesidad de energía eléctrica, aprovechando la gravedad o mediante bombas manuales para extraer agua. En contraste, en entornos urbanos, la mayoría de los sistemas incorporan bombas eléctricas que facilitan la extracción del agua del depósito, permitiendo su paso a presión a través de uno o varios filtros y su conducción hasta el punto de uso o hacia un tinaco colocado en el techo (SEDEMA, 2020).

2.4.6 Aprovechamiento del recurso hídrico

El agua de lluvia presenta diversas ventajas, ya que suele ser mucho más limpia que otras fuentes de agua dulce. En la actualidad, se reconoce como un recurso valioso y sostenible, reutilizable

para reducir el consumo de agua en ciertos procesos industriales e incluso tratable para convertirlo en agua potable apta para diversos usos.

Por lo general, la captación pluvial se concentra en determinados meses del año, lo que hace necesario almacenar el recurso para aprovecharlo en las épocas secas. En consecuencia, su uso suele complementarse con el suministro de red u otras fuentes disponibles.

Los sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL) constituyen una alternativa eficiente, accesible y económica para comunidades con disponibilidad limitada de agua potable. Estos sistemas, frecuentemente gestionados a nivel local, permiten disponer de agua cerca de los hogares, reduciendo significativamente el esfuerzo físico y el tiempo dedicado a su transporte desde fuentes lejanas. Asimismo, contribuyen a mejorar la calidad del agua disponible, disminuir la dependencia de suministros externos —como pipas o camiones cisterna— y fortalecer la autonomía hídrica de las comunidades rurales y urbanas más vulnerables, elevando con ello su calidad de vida (Fuentes-Galván et al., 2018).

2.4.7 Periodo de retorno de inversión

El periodo de retorno se define como el tiempo necesario para recuperar la inversión inicial de un proyecto, es decir, el intervalo hasta alcanzar el punto de equilibrio financiero. En términos generales, cuanto más breve sea este periodo, más atractiva será la inversión, mientras que un tiempo de recuperación prolongado suele considerarse menos conveniente (Kagan, 2025). En el caso de los sistemas de captación de agua de lluvia, este indicador resulta fundamental, ya que determina el lapso necesario para recuperar el costo total de la implementación. Dicho periodo puede verse influido por factores externos, tales como el régimen de precipitaciones, la superficie de captación y otras condiciones contextuales, que se detallarán en apartados posteriores.

2.4.8 Beneficio económico

La implementación de un SCALL supone un ahorro económico significativo, ya que, al aprovechar el agua pluvial, se reduce la dependencia de la red de agua potable, lo que implica una disminución sustancial de los costos de suministro, especialmente en edificaciones con altos niveles de consumo. En un estudio realizado en un edificio de la Universidad de Guadalajara, con una superficie de captación de 794.87 m², se estimó que la instalación de un SCALL permitiría ahorros anuales de aproximadamente MXN 13,132.15, sin incluir los beneficios ambientales

asociados a esta práctica (De la Cruz y Gleason, 2018). Otros autores destacan también ventajas económicas adicionales, como la reducción de los costos de agua entubada y del consumo energético en los hogares, la generación de empleo local mediante la construcción y el uso de materiales accesibles, así como la disminución del tiempo dedicado a la recolección de agua. Además, subrayan que esta tecnología constituye una estrategia económicamente sostenible frente a desastres naturales, que, según la ONU, tienen un impacto considerable en la economía y el producto interno bruto (PIB) de los países latinoamericanos (Ávila et al., 2021).

En términos generales, el beneficio económico de estos sistemas es notable, aunque depende de factores como la extensión del área de captación y el régimen de precipitaciones. No obstante, su costo de instalación es relativamente bajo y el periodo de recuperación de la inversión se considera altamente viable.

2.4.9 Beneficio social

Entre los beneficios económicos más relevantes, destaca que el sistema de captación de agua de lluvia proporciona agua de alta calidad, potencialmente apta para el consumo humano. Además, es una tecnología accesible para distintos contextos y tipos de población, incluso en zonas rurales o aisladas, ya que se construye con materiales de bajo costo y fácil acceso. Asimismo, estos sistemas generan beneficios económicos locales, al promover el empleo comunitario y el uso de insumos regionales. Su mantenimiento es sencillo y de bajo costo, lo que facilita su conservación a largo plazo. De igual forma, ofrecen seguridad y comodidad a las familias al reducir el tiempo dedicado a la recolección de agua y garantizar un acceso directo al recurso en los hogares donde se instalan (Ávila et al., 2021).

2.4.10 Beneficios ambientales

El uso del agua de lluvia ofrece múltiples beneficios ambientales, entre ellos la reducción de la necesidad de transportar agua a largas distancias y de realizar procesos costosos de desalinización y potabilización. Además, contribuye a la conservación de los acuíferos al reducir la extracción de agua subterránea, lo que ayuda a preservar las reservas de agua potable. Este aprovechamiento también reduce la contaminación por productos químicos, ya que el agua pluvial es naturalmente más limpia y puede disminuir los riesgos de desbordamientos y erosión del suelo, dependiendo de las características del entorno (Ávila et al., 2021).

Con el crecimiento poblacional, la demanda de agua aumenta, lo que obliga a muchas comunidades a explotar cada vez más los acuíferos para satisfacer sus necesidades y provoca una disminución alarmante de los niveles freáticos en diversas regiones. En este contexto, el uso del agua de lluvia no sólo mitiga la contaminación de las aguas superficiales por fertilizantes o pesticidas, sino que también favorece la limpieza de cuerpos de agua como lagos y estanques. Asimismo, este sistema resulta particularmente adecuado para el riego, ya que evita la construcción de nuevas infraestructuras y aprovecha los techos de las edificaciones como superficies de captación. Al hacerlo, disminuye la dependencia de equipos impulsados por combustibles fósiles, lo que reduce las emisiones contaminantes y promueve un impacto ambiental positivo (Ávila et al., 2021).

2.4.11 Redistribución Interbarrial

Interbarrial se refiere, en el contexto de esta investigación, a la coordinación entre distintos barrios de la zona de estudio con el propósito de compartir, complementar o redistribuir los volúmenes de agua pluvial captados. Este enfoque permite considerar la posibilidad de aprovechar los excedentes generados en áreas comerciales, de servicios o de equipamientos urbanos en barrios residenciales cercanos, promoviendo una gestión más eficiente y equitativa del recurso hídrico.

La relevancia de este concepto se sustenta en los principios de la gestión integrada del recurso hídrico, que destacan la necesidad de articular espacialmente los flujos y disponibilidades de agua entre diferentes unidades territoriales (Allan, 2011), así como en los lineamientos de planificación urbana multiescalar que proponen fortalecer la cooperación entre barrios y sectores urbanos para optimizar la provisión de servicios esenciales (ONU-Hábitat, 2020). Desde esta perspectiva, lo interbarrial constituye un nivel estratégico de análisis que facilita la integración y la distribución del agua captada en un sistema urbano descentralizado.

2.4.12 Valor agregado de este sistema

Existen diversos aspectos de valor agregado asociados al uso de los SCALL, entre los que destaca su capacidad para reducir significativamente la dependencia del suministro municipal de agua. Algunos estudios indican que es posible ahorrar entre un 30% y un 60% del consumo de agua potable en una vivienda, dependiendo de la demanda doméstica y de la superficie de captación disponible (Rahman et al., 2014).

Cuando estos sistemas se combinan con tecnologías de filtración o de infiltración, como pozos o zanjas filtrantes, se logra una disminución notable del volumen de agua doméstica vertida al alcantarillado (Sample y Liu, 2014). Este efecto no solo reduce la carga contaminante y el volumen de aguas residuales que requieren tratamiento, sino que también minimiza el riesgo de infiltración de aguas grises o negras en el subsuelo debido a fugas en la infraestructura sanitaria (Torres y Guevara, 2024).

Asimismo, la disminución temporal de la demanda en los sistemas públicos de abastecimiento conlleva una menor extracción y un menor transporte de recursos hídricos desde otras fuentes, lo que también reduce las pérdidas por fugas en la red de distribución. En conjunto, estos efectos contribuyen a mitigar el impacto ambiental en los ecosistemas y la biodiversidad afectados por la sobreexplotación de acuíferos o la transferencia de agua entre cuencas (Campisano et al., 2012; Sá Silva et al., 2022).

El uso de sistemas de captación pluvial también implica un ahorro energético considerable, ya que reduce la electricidad necesaria para los procesos de captación, bombeo y transporte del agua propios de los sistemas convencionales. Este menor consumo energético se traduce, además, en una reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (Sá Silva et al., 2022).

Finalmente, los SCALL permiten que el exceso de agua recolectada —que no alcanza a almacenarse— se infiltre de manera controlada en el terreno, mediante pozos, fosas sépticas, zanjas o trincheras de infiltración. Este proceso no solo genera un impacto ambiental positivo al reducir la escorrentía superficial, sino que también favorece la recarga del acuífero local, lo que fortalece la sostenibilidad hídrica del entorno (Torres y Guevara, 2024).

2.4.13 Variables que afectan al periodo de retorno

Existen múltiples factores que pueden influir en la duración del periodo de retorno de un sistema de captación de agua de lluvia (SCALL), lo que puede acortarlo o alargarlo según las condiciones del proyecto. Uno de los elementos más determinantes es el área de captación, ya que una superficie mayor permite recolectar un mayor volumen de agua, lo que incrementa el ahorro económico y, en consecuencia, reduce el tiempo de recuperación de la inversión. Otro aspecto clave es la región geográfica, pues los niveles de precipitación varían significativamente entre zonas; las regiones con lluvias más abundantes permiten una recolección mayor y, por tanto, una recuperación más rápida. Además, la demanda de agua influye directamente, ya que el uso previsto -doméstico o industrial- determina el volumen aprovechado y, con ello, la duración del retorno de la inversión (Imteaz et al., 2021).

El mantenimiento y la vida útil del sistema también desempeñan un papel fundamental: un buen cuidado y un reemplazo oportuno de componentes prolongan su vida útil y evitan gastos adicionales. Asimismo, un diseño adecuado, basado en parámetros reales como la precipitación promedio y el tamaño del área de captación, garantiza el dimensionamiento adecuado de los materiales y previene daños estructurales a lo largo del tiempo. Finalmente, es importante considerar los incentivos gubernamentales, ya que en diversos países y regiones existen programas de apoyo económico o subsidios que fomentan la instalación de estos sistemas y pueden acortar significativamente el periodo de retorno (Imteaz et al., 2021).

2.5 Estado actual de la investigación

2.5.1 Tendencias socioeconómicas en la implementación de SCALL en el mundo

En el ámbito internacional, la investigación reciente sobre los sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL) ha evolucionado hacia una comprensión integral que vincula sus dimensiones técnicas, sociales y económicas con los objetivos de sostenibilidad urbana y rural. Diversos estudios coinciden en que estos sistemas no solo representan una alternativa tecnológica para la gestión del recurso hídrico, sino también una herramienta para el desarrollo social y económico, especialmente en contextos con déficit de infraestructura o suministro hídrico irregular.

Desde una perspectiva económica, varios autores evidencian que la implementación de los SCALL reduce significativamente los costos asociados al consumo de agua potable y a la energía empleada en su distribución. Puppala et al. (2023) y Bitterman et al. (2016) destacan que estos sistemas permiten reducir la dependencia de las redes municipales hasta un 60%, generando ahorros acumulados tanto en el sector doméstico como en el comercial. Castelán-Cabañas et al. (2024) documentan que, en viviendas y pequeñas empresas, los usuarios logran una reducción directa de los gastos de agua entubada y de transporte en pipas, lo que se traduce en un alivio económico perceptible, especialmente en zonas semiáridas. De manera similar, Richards et al. (2021) y Liu et al. (2022) enfatizan que, aunque la inversión inicial puede ser considerable, los beneficios financieros se manifiestan a mediano plazo mediante un menor costo de consumo y una reducción de las pérdidas en los sistemas convencionales de abastecimiento.

En relación con el impacto social, los estudios consultados coinciden en que la adopción de los SCALL está estrechamente vinculada a la percepción pública, a la educación ambiental y a la participación comunitaria. Puppala et al. (2023) y Castelán-Cabañas et al. (2024) subrayan la importancia de campañas de capacitación y sensibilización para fomentar la aceptación social de la captación pluvial, especialmente en comunidades urbanas. Liu et al. (2022), a partir de encuestas aplicadas en Shanghái, concluyen que el conocimiento subjetivo sobre la calidad del

agua influye directamente en la disposición de los ciudadanos a adoptar estos sistemas, lo cual coincide con los hallazgos de Belmeziti (2024), quien reporta una relación positiva entre la confianza en la calidad del agua captada y la intención de uso doméstico.

Por su parte, Istchuk y Ghisi (2023) y Liu et al. (2022) demuestran que los beneficios sociales se extienden al ámbito comunitario, ya que la instalación de sistemas colectivos promueve la colaboración local, fortalece la autonomía hídrica y reduce el esfuerzo físico y el tiempo dedicado a la recolección de agua, particularmente en áreas periurbanas y rurales. Estos autores también sugieren que la integración de los SCALL en programas de vivienda social o de infraestructura pública puede potenciar su aceptación, especialmente cuando se combinan con incentivos gubernamentales o subsidios.

Desde el punto de vista ambiental y económico en conjunto, los estudios recientes resaltan el papel de los SCALL en la reducción de la presión sobre los acuíferos y de la demanda de agua entubada, con efectos positivos en la seguridad hídrica y la resiliencia climática (Ali et al., 2022; Belmeziti, 2024). Estos autores concluyen que la eficiencia del sistema depende de la adecuación entre el área de captación, la variabilidad climática y el nivel de demanda, factores que determinan tanto su sostenibilidad financiera como su impacto social.

En síntesis, las investigaciones contemporáneas coinciden en que el desarrollo e implementación de los SCALL no debe limitarse a una solución técnica de gestión hídrica, sino que debe concebirse como una estrategia social y económica de adaptación al cambio climático. Su éxito depende de la combinación de viabilidad económica, aceptación social y apoyo institucional, elementos que actualmente configuran las líneas de acción más relevantes de la agenda global para la gestión descentralizada del agua.

2.5.2 Experiencias en México

En México, los sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL) han desempeñado un papel relevante en la mitigación de la escasez hídrica, tanto en zonas rurales como urbanas. Su implementación reciente refleja un esfuerzo por descentralizar el acceso al agua y promover estrategias de gestión hídrica sostenibles ante los efectos del cambio climático y la sobreexplotación de los acuíferos.

Pérez Ortega (2021) documenta la experiencia del Programa de Sistemas de Captación de Agua de Lluvia de la Ciudad de México, una de las iniciativas más consolidadas en América Latina, orientada a dotar de agua a viviendas ubicadas en zonas con infraestructura deficiente. Este programa ha beneficiado a miles de hogares mediante la instalación de sistemas domésticos, lo

que demuestra que la participación ciudadana y la colaboración institucional son factores determinantes para su éxito. Soares y Valdés-Rodríguez (2024) presentan experiencias en dos comunidades rurales del estado de Veracruz, donde los SCALL se implementaron como estrategia para fortalecer la seguridad hídrica y reducir la vulnerabilidad ante las sequías. Su estudio resalta la viabilidad técnica y social de los sistemas cuando se adaptan a las condiciones locales, promoviendo la autoconstrucción y el mantenimiento comunitario como medios para garantizar su sostenibilidad.

En otro enfoque, Herrera Franco et al. (2022) analizan la situación de la cuenca del río Atoyac, donde las obras hidráulicas tradicionales han mostrado limitaciones frente a la variabilidad climática. Los autores señalan que la gestión descentralizada del agua mediante sistemas pluviales representa una oportunidad para restaurar el equilibrio hidrológico regional y disminuir la presión sobre las fuentes convencionales. Martínez-Saldaña, Ortiz-Álvarez y Ramírez-Soto (2021) destacan el potencial de los SCALL en zonas urbanas, en particular en áreas con infraestructura existente, como la Ciudad de México y Guadalajara. Identifican, sin embargo, los altos costos iniciales y las limitaciones de mantenimiento como los principales obstáculos para su expansión a gran escala. Estas opiniones coinciden con las de Berrelleza Rendón (2021), quien evaluó la factibilidad de los sistemas en comunidades de Sonora y subraya que la aceptación social y la educación ambiental son elementos clave para asegurar la permanencia de los sistemas a lo largo del tiempo.

Por su parte, Gómez Nava (2023) analiza la percepción social en la Ciudad de México y encuentra que muchas familias aún muestran una resistencia inicial a adoptar el sistema debido al desconocimiento técnico y a la falta de información sobre su mantenimiento. No obstante, el estudio confirma que, una vez instalados, los SCALL son valorados por los usuarios por reducir el esfuerzo físico y económico asociado a la obtención de agua. Finalmente, Cantú Vela, Estrada Bouchot y Martínez Rivas (2020) destacan la importancia de promover una gestión descentralizada y participativa, apoyada en políticas públicas que incentiven la instalación de sistemas a nivel local. Los autores subrayan que el fortalecimiento de la colaboración entre comunidades, gobiernos y organizaciones civiles puede ampliar el alcance de los programas y consolidar los SCALL como una estrategia estructural de resiliencia hídrica en México.

En conjunto, las experiencias recientes reflejan que el éxito de los SCALL depende de la interacción entre factores técnicos, económicos y sociales. Si bien los principales desafíos se relacionan con los costos iniciales, la dependencia climática y el mantenimiento, las oportunidades de expansión se sustentan en la educación ambiental, la autogestión comunitaria y el apoyo institucional. Con base en lo anterior, se aprecia que México se perfila como un caso de referencia en América Latina por su avance en la integración de la captación pluvial en las políticas públicas de gestión sostenible del agua.

2.6 Relevancia de la investigación propuesta

La presente investigación adquiere una relevancia destacada en el contexto contemporáneo de la crisis hídrica global, la expansión urbana acelerada y la creciente demanda de recursos naturales, en particular del agua. Ante el agravamiento de los efectos del cambio climático y la presión cada vez mayor sobre los sistemas convencionales de abastecimiento, resulta imperativo explorar alternativas descentralizadas, sostenibles y de bajo impacto ambiental que garanticen el acceso equitativo al recurso hídrico. En este marco, los sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL) se perfilan como una opción viable, adaptable y replicable en diversos contextos, especialmente en entornos urbanos y rurales con infraestructura limitada o suministro irregular.

La importancia de esta investigación radica en su enfoque en la evaluación técnica, económica y operativa de los SCALL aplicados a viviendas unifamiliares, comercios y servicios, así como a escalas de intervención accesibles y de alto potencial de impacto. A diferencia de estudios centrados en aplicaciones industriales o de gran escala, esta tesis prioriza el ámbito doméstico, donde las inversiones requeridas son menores y los beneficios se observan de inmediato. El análisis aborda factores clave como el área de captación, los volúmenes locales de precipitación, los costos de instalación, el tiempo estimado de recuperación de la inversión y el ahorro en el consumo de agua potable, ofreciendo una visión integral y aplicable de la viabilidad del sistema.

Desde una perspectiva técnica, el estudio proporciona información útil para optimizar el diseño y la eficiencia de los sistemas, considerando el uso de materiales accesibles, herramientas básicas y procedimientos de instalación sencillos que pueden ser ejecutados por los propios usuarios o con asistencia técnica mínima. Al demostrar que los SCALL pueden implementarse con recursos locales y económicos, la investigación fomenta su adopción en comunidades que difícilmente podrían acceder a tecnologías más costosas o complejas.

En el ámbito económico, se evidencia que, aunque la inversión inicial pueda representar un reto para algunos sectores, el sistema resulta financieramente rentable a mediano plazo al generar ahorros acumulados en los costos del servicio de agua. Esta conclusión reviste especial relevancia para las comunidades que enfrentan intermitencia en el suministro o dependen de fuentes alternativas, como las pipas, en las que el costo por metro cúbico de agua es considerablemente mayor.

Desde el punto de vista ambiental, la investigación demuestra que el aprovechamiento del agua pluvial reduce la extracción de acuíferos, mitiga la escorrentía superficial y restaura parcialmente el ciclo natural del agua, lo que contribuye a prevenir inundaciones y la erosión del suelo. Este enfoque se encuentra plenamente alineado con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en

particular con el ODS 6: Agua limpia y saneamiento y el ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles.

En el plano social, el estudio resalta el carácter participativo y descentralizado de los SCALL, que permiten a la ciudadanía involucrarse activamente en la gestión de su propio recurso hídrico. La posibilidad de implementar estos sistemas de manera autónoma o colectiva fortalece la autosuficiencia comunitaria y promueve una conciencia ambiental responsable, lo que impulsa el uso racional del agua, como ya se demostró en la Ciudad de México en años recientes (SEDEMA, 2020).

Asimismo, los resultados de esta investigación pueden servir de base para el diseño de políticas públicas y programas gubernamentales de incentivo orientados a la adopción de tecnologías de captación de agua pluvial, especialmente en zonas vulnerables. De igual forma, el conocimiento generado puede emplearse como referencia técnica y educativa en universidades, centros comunitarios, organizaciones sociales y dependencias dedicadas a la gestión del agua.

En síntesis, este trabajo constituye un aporte significativo tanto académico como práctico, al ofrecer una alternativa concreta y aplicable para la gestión sostenible del agua. La implementación de SCALL a nivel doméstico se presenta como una estrategia eficaz y replicable para enfrentar los desafíos actuales y futuros del abastecimiento hídrico, promoviendo la resiliencia, la autosuficiencia y la sostenibilidad en comunidades urbanas y rurales.

Capítulo 3. Metodología

El presente capítulo describe el enfoque metodológico (Figura 3.1) empleado para analizar la viabilidad técnica y económica de los sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL) en distintos tipos de uso de suelo urbano. La metodología integra procedimientos para estimar los costos de instalación, operación y mantenimiento, así como para evaluar el ahorro económico derivado de la sustitución parcial del agua potable en diferentes sectores. Asimismo, se establecen los criterios de comparación con los métodos tradicionales de abastecimiento y se detalla el procedimiento para calcular el periodo de retorno de la inversión bajo diversos escenarios socioeconómicos y climáticos.

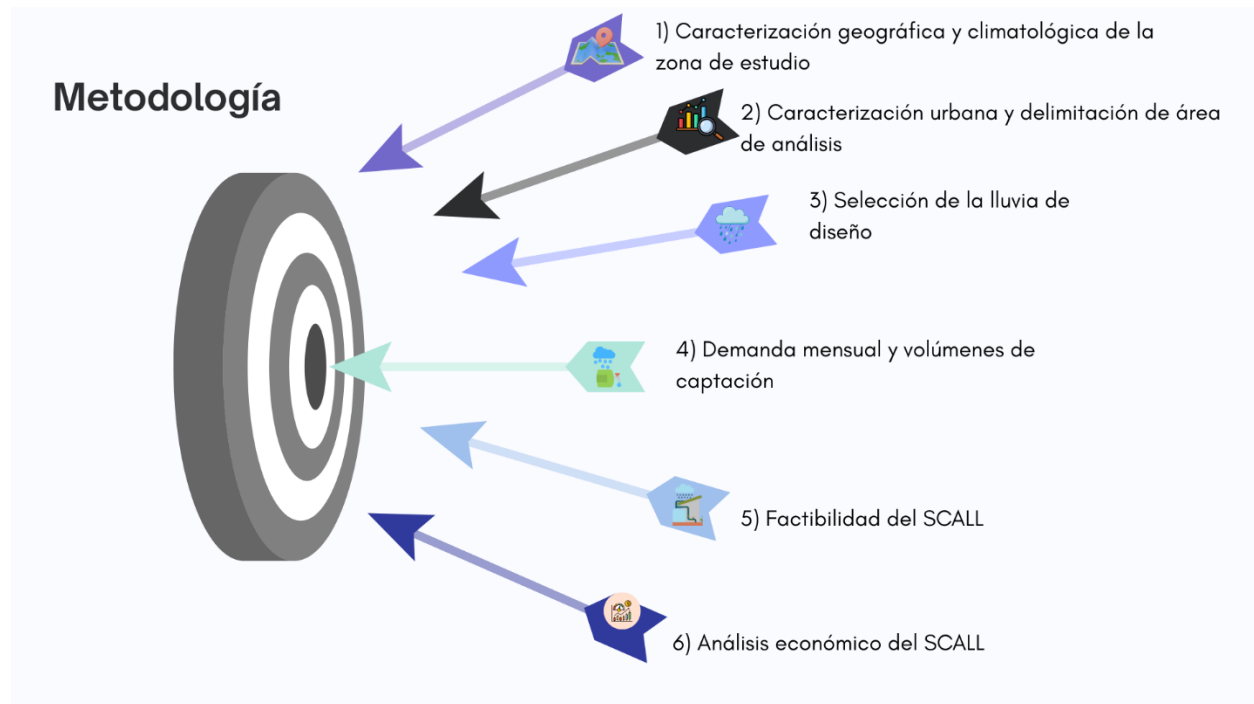


Figura 3.1. Metodología

3.1. Caracterización geográfica y climática de la zona de estudio

La zona de estudio se localizó en un área residencial del municipio de Mineral de la Reforma, en el estado de Hidalgo, México. Sus coordenadas geográficas corresponden a 20°02'46.60" de latitud norte y 98°42'45.04" de longitud oeste, con una altitud promedio de 2,371 metros sobre el nivel del mar (Figura 3.2). Estas condiciones topográficas inciden directamente en las características climáticas y el comportamiento hidrológico del lugar.



Figura 3.2. Ubicación de la zona de estudio

Imagen satelital tomada de Google Earth (© Google, 2025). Datos de imagen: © INEGI. Edición y delimitación realizada por el autor. Acceso: 08/07/2025.

El municipio presenta un clima templado semiárido, caracterizado por una estacionalidad marcada de las precipitaciones. Las lluvias se concentran entre mayo y octubre, mientras que el resto del año predomina un clima seco, especialmente en el periodo invernal. La precipitación media anual varía entre 162 y 710 mm, y la temperatura promedio anual es de aproximadamente 15 °C (Tabla 3.1), registrando los valores más altos en abril y mayo, con máximas de 24.6 °C y 24.1 °C, respectivamente. Estas condiciones reflejan un entorno de alta variabilidad climática, con potencial para la captación pluvial, pero también con desafíos asociados a la disponibilidad temporal del recurso (Volpi-León et al., 2024).

Tabla 3.1. Promedios mensuales de precipitación y temperatura

Mes	Promedio Precipitación (mm)	Promedio de temperatura (°C)
Enero	30.40	14.8
Febrero	28.20	16.1
Marzo	46.01	18.1
Abril	53.15	18.1
Mayo	79.04	20.4
Junio	91.14	18.4
Julio	94.56	17.8
Agosto	90.69	18.1
Septiembre	73.91	18.4
Octubre	49.99	16.1
Noviembre	37.86	14.7
Diciembre	38.84	14.4
Promedio Anual	59.48	17.1

Elaboración propia con datos de las Normales Climatológicas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN-CONAGUA, s.f.).

3.2 Caracterización urbana y delimitación del área de análisis

El área residencial analizada abarca una superficie total de 3,002,622.27 m², distribuida en distintas categorías de uso del suelo urbano. A continuación, se presentan estas categorías y los criterios necesarios para la evaluación de este proyecto (Tabla 3.2).

Tabla 3.2. Distribución del uso de suelo y potencial de captación pluvial en la zona

Categoría de uso del suelo	Superficie (m ²)	Porcentaje del área total (%)	Potencial de captación pluvial	Consideraciones técnicas relevantes
Azoteas residenciales, comerciales y de servicios	823,054.09	27.41	Alto	Superficies impermeables que favorecen la recolección directa; requieren mantenimiento periódico y sistemas de filtrado.
Áreas verdes y jardines públicos	261,800.22	8.72	Medio	Los potenciales de infiltración y de recarga contribuyen al balance hídrico urbano.
Vialidades y aceras	1,256,923.15	41.86	Bajo	Limitadas por la contaminación superficial; posibles aplicaciones en sistemas de drenaje sostenible.
Suelo descubierto o sin pavimentar	660,844.81	22.01	Variable	Dependiendo de la permeabilidad y la pendiente, pueden emplearse en estrategias de infiltración.
Total	3,002,622.27	100	—	—

La distribución del uso del suelo refleja una heterogeneidad funcional del espacio urbano, en la que las azoteas representan la principal superficie de interés para la captación de agua pluvial, seguidas de las áreas verdes, que aportan beneficios indirectos mediante la infiltración y la regulación hidrológica. En contraste, las vialidades y superficies descubiertas presentan potenciales limitados o condicionados, según el tipo de recubrimiento y el grado de contaminación superficial.

Esta caracterización cuantitativa permite dimensionar la capacidad de captación potencial del área de estudio y establecer criterios de priorización para el diseño de sistemas SCALL, atendiendo a la relación entre el uso del suelo, la morfología urbana y la eficiencia esperada del sistema.

3.3 Selección de la lluvia de diseño

Para estimar el volumen de precipitación aprovechable en la zona de estudio, se realizó un análisis hidrometeorológico basado en los registros históricos de las estaciones climatológicas más cercanas y circundantes a la microcuenca donde se ubica el fraccionamiento residencial analizado. Las estaciones seleccionadas, de acuerdo con las claves oficiales de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), fueron: 13001, 13022, 13115, 13079, 13009, 13020 y 13133 (Figura 3.3).



Imagen satelital de Google Earth ©2025, datos de EMAs: SMN–CONAGUA (2025).

Figura 3.3 Estaciones climatológicas tomadas en cuenta para el estudio

El proceso de depuración y tratamiento de los datos consistió en sustituir los valores nulos por 0 para mantener la continuidad de las series temporales. Posteriormente, se identificaron los periodos en los que la mayoría de las estaciones presentaban registros coincidentes, determinándose como periodo histórico de análisis el comprendido entre 1981 y 2023. En los casos en que hubo meses sin registro de precipitación, los valores faltantes se estimaron mediante el promedio aritmético de los meses equivalentes de los años anteriores y posteriores, lo que asegura la consistencia interna de la base de datos. Una vez completada la serie, se elaboró una tabla dinámica con la que se obtuvo el valor promedio mensual de precipitación,

independiente del año, lo que permitió caracterizar el comportamiento estacional del régimen pluvial en la zona de estudio.

Para verificar la homogeneidad y la representatividad estadística de los datos, se aplicó un análisis de tendencia mediante el coeficiente de determinación (R^2). Los resultados mostraron una alta variabilidad interanual, reflejo de las condiciones semiáridas y de la marcada estacionalidad que caracteriza a la región. Con base en la metodología de Bigurra-Alzati et al. (2020), quienes utilizaron un percentil superior al 50 para definir los valores representativos de precipitación mensual aprovechable, en este estudio se seleccionó el percentil 80 (Pp 80). Este umbral permitió estimar el volumen de lluvia mensual cosechable en techos y superficies impermeables, con el objetivo de dimensionar el potencial real de captación del sistema en condiciones de alta disponibilidad pluvial (Figura 3.4).

De esta manera, el análisis de la precipitación de diseño permitió establecer los parámetros de entrada fundamentales para la evaluación técnica del SCALL, asegurando la consistencia estadística y la representatividad climática de los datos utilizados en el modelado posterior.

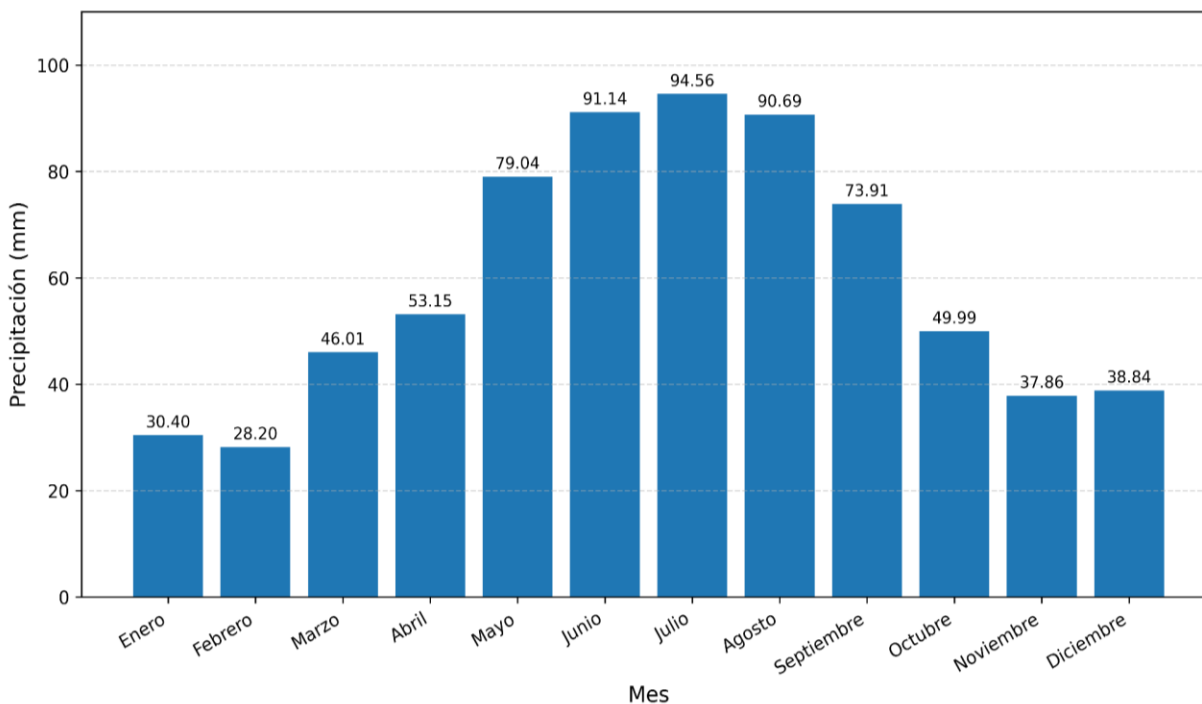


Figura 3.4 Distribución mensual de la lluvia de diseño

3.4 Demanda mensual y volúmenes de captación

Para estimar la demanda de agua en la zona de estudio se consideraron dos escenarios complementarios:

- a) Condiciones ideales, correspondientes a los volúmenes que deberían cubrirse conforme a los estándares técnicos de dotación de agua por habitante.
- b) Condiciones reales, que reflejan la disponibilidad efectiva de agua en el sitio analizado.

El cálculo inicial de la demanda diaria se realizó multiplicando el consumo promedio diario por persona (LPD) por el número estimado de habitantes de cada tipo de edificación. Posteriormente, los resultados se expresaron en metros cúbicos (m³) para facilitar el análisis comparativo entre los distintos tipos de edificación (Ecuación 1):

$$\text{Demanda diaria total (L)} = L \times \text{persona} \times \text{día} \times \text{número de personas} \quad (\text{Ec. 1})$$

$$\text{Demanda diaria (m}^3\text{)} = \frac{\text{Demanda diaria total (L)}}{1000}$$

En la siguiente Tabla 3.3 se sintetizan las demandas correspondientes al tipo de edificación y las dos condiciones previamente citadas:

Tabla 3.3 Demanda de agua por persona considerando las dos condiciones

Tipo de edificación	Personas*	Dotación ideal (LPD)**	m³/día (ideal)	Dotación real (LPD)	m³/día (real)
Casa unifamiliar	3.6	125	0.45	42	0.151
Casa dúplex	7.2	125	0.9	42	0.302
Casa triplex	10.8	125	1.35	42	0.454
Casa cuádruplex	14.4	125	1.8	42	0.605
Comercio	4	40	0.16	17	0.068
Servicios	268	20	5.36	20	5.36

*INEGI (2023); **CONAGUA (s.f.)

En la zona de estudio, el problema de cortes en el abastecimiento de agua a la población es recurrente, por lo que en este estudio se consideró que el organismo regulador abastece con un tercio de la dotación ideal, salvo en los espacios destinados a servicios (escuelas), donde el suministro se garantiza al cien por ciento (condición ideal). Una vez calculadas las dotaciones diarias, se obtuvo la demanda mensual de agua para cada infraestructura multiplicando el volumen diario por el número de días del mes.

3.5 Factibilidad técnica del SCALL

3.5.1 Cálculo del volumen de lluvia cosechable

La evaluación técnica del SCALL se basó en la caracterización de las distintas edificaciones ubicadas en la zona de estudio: viviendas unifamiliares, dúplex, triplex, cuádruplex, así como

establecimientos comerciales y de servicios. Para cada tipo de edificación se definieron los siguientes parámetros:

a) Superficie de captación (A , m^2): corresponde al área útil de la azotea disponible para la recolección de agua de lluvia.

b) Número de usuarios promedio (N): estimado con base en la densidad habitacional de cada edificación, lo que permitió asociar la dotación pluvial captada al consumo per cápita (CONAGUA, s.f.).

c) Características de la superficie de captación: se adoptó un coeficiente de escurrimiento ($K_c = 0.85$), determinado por el material predominante de las cubiertas (concreto). Además, se aplicó un factor de ajuste ($f_a = 0.765$) para descontar las pérdidas por retención de las primeras lluvias, absorción del material y evaporación (Volpi-León et al., 2024).

d) Precipitación promedio mensual con una probabilidad de ocurrencia del 80% ($P_p 80$, mm).

Con estos parámetros se calculó el volumen potencial de lluvia cosechable (V_{pac}) mediante la siguiente Ecuación 2:

$$V_{pac} = \left(\frac{P_p 80}{1000} \times A \times K_c \right) \times f_a \quad (\text{Ec. 2})$$

Esta ecuación convierte la precipitación (en milímetros) en un volumen (en metros cúbicos), normalizado según las condiciones de cada edificación.

Esta etapa tuvo como objetivo determinar la capacidad del SCALL para compensar parcialmente el déficit hídrico derivado de la escasez del suministro público. En la zona de estudio, la dotación ideal y la real se presentan en la Tabla 3.2. Se consideró que, en situaciones de escasez, la población tiende a racionar el consumo; a partir de esta premisa, se asumió que al menos el 50% de la dotación diaria real se destina a necesidades básicas (higiene y consumo humano) (Gobierno del Estado de Guanajuato, 2022).

Para estimar la capacidad del SCALL para reducir el desabasto se estableció el siguiente criterio técnico de viabilidad:

Si $V_{pac} \geq 0.5 \times$ la dotación real, el sistema SCALL se considera técnicamente viable.

Si $V_{pac} < 0.5 \times$ la dotación real, el sistema no es técnicamente viable.

3.5.2 Diseño hidráulico del SCALL

El sistema de captación se compone de diversos materiales y dispositivos; no obstante, algunos elementos clave deben dimensionarse específicamente en función del volumen de captación mensual, pues de ello depende evitar la sobresaturación y asegurar un funcionamiento eficiente a plena capacidad (SEDEMA, 2020). Dependiendo del tipo de edificación analizada, el SCALL prestará servicio a un número determinado de usuarios (personas). Ver Figuras 3.3 a 3.5.



Figura 3.5 Esquema representativo de la distribución individual del agua para consumo a partir de una misma superficie de captación en viviendas



Figura 3.6 Esquema representativo de la distribución individual del agua para consumo a partir de una misma superficie de captación en comercios



Figura 3.7 Esquema representativo de la distribución individual del agua para consumo a partir de una misma superficie de captación en servicios

A continuación, se desglosan los procedimientos para dimensionar el SCALL (Figura 3.6):

Superficie de captación

La superficie útil (m^2) se calculó como el producto de las dimensiones en planta del techo (Ecuación 3).

$$\text{Superficie de captación} = B \times h \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde B corresponde al largo (m) de la azotea y h, al ancho (m).

Longitud de canaleta

Considerando el escurrimiento por un solo borde, la canaleta se dispone únicamente en ese lado de la edificación (como en B).

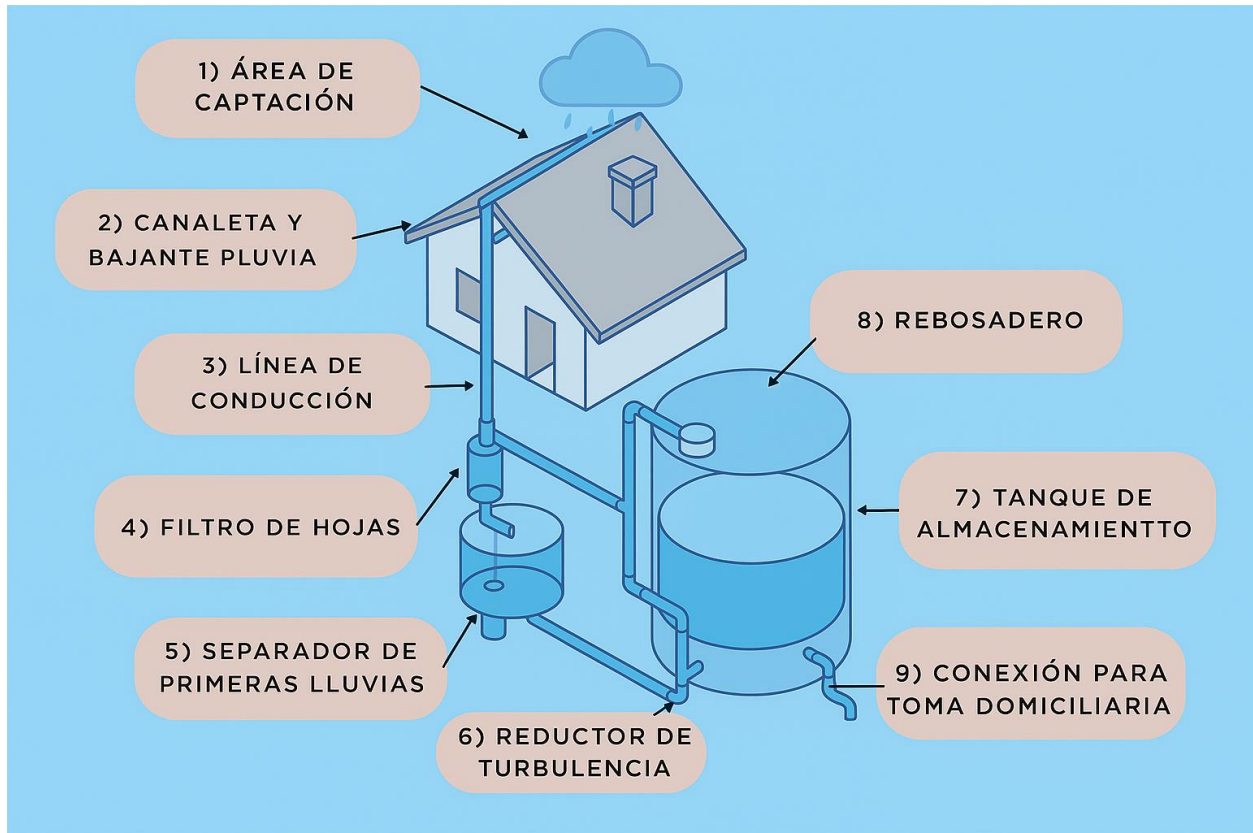


Figura 3.8 Componentes principales del SCALL

Número de bajantes

Con la longitud definida, se determinó el número de bajantes (orificios de descarga) mediante la Ecuación 4:

$$\text{Número de bajantes} = \frac{\text{Longitud de canaleta}}{6} \quad (\text{Ec. 4})$$

Área tributaria por bajante

Una vez conocido el número de bajantes, se estimó el área de techo (m^2) que aporta a cada una (Ecuaciones 5 y 6):

$$\text{Longitud del tramo} = \frac{\text{Longitud de canaleta}}{\text{Número de bajantes}} \quad (\text{Ec. 5})$$

$$\text{Área por bajantes} = \text{Longitud del tramo} \times \text{longitud del otro tramo} \quad (\text{Ec. 6})$$

Diámetro de las tuberías de bajantes

El diámetro (pulgadas) de cada bajante se calculó a partir del área tributaria (Ecuación 7):

$$\text{Tuberías de bajantes} = 0.368 \sqrt{\text{Área de cada bajante}} \quad (\text{Ec. 7})$$

Diámetro de canaleta

El elemento receptor principal (canaleta, cm) se dimensionó como (Ecuación 8):

$$Canaleta = 0.557\sqrt{\text{Área de cada bajante}} \quad (\text{Ec. 8})$$

Tanque de almacenamiento

El dimensionamiento del tanque se basó en un balance mensual. Se restó la demanda mensual al volumen de captación mensual. Si el resultado fue negativo, ese mes no se acumula (no cubre el 100 % de la demanda) y se pasa al mes siguiente. Si fue positivo, el excedente se suma al mes siguiente y al volumen captado de ese mes (Severis, 2019). Este procedimiento se repitió mes a mes, buscando el pico de almacenamiento (el valor más cercano a cero y no negativo), que define la capacidad requerida: suficiente para cubrir la demanda sin desbordar ni vaciar. Se evaluaron dos escenarios de tanque (real e ideal); para los cálculos subsiguientes se adoptó el escenario real, pues corresponde al volumen efectivamente recolectado.

La siguiente Tabla 3.4 resume las principales dimensiones y parámetros hidráulicos determinados para cada tipo de edificación incluida en el estudio. Los valores se obtuvieron mediante el cálculo del volumen de captación mensual y la aplicación de las ecuaciones del diseño hidráulico correspondientes. En cada caso, se definieron la superficie de captación, la longitud de la canaleta, el número de bajantes, el área tributaria por bajante, los diámetros calculados y los diámetros comerciales adoptados, así como la capacidad óptima del tanque de almacenamiento. Estos valores permitieron establecer configuraciones realistas, adaptadas a las condiciones estructurales y funcionales de cada tipo de infraestructura.

Tabla 3.4 Parámetros hidráulicos de diseño del SCALL por tipo de infraestructura

Características hidráulicas	Casa unifamiliar	Casa dúplex	Casa tríplex	Casa cuádruplex	Comercios	Servicios
Superficie de captación (m ²)	41.4	58.2	32.7	21.5	75	1,154.00
Longitud de canaleta (m)	6.43	7.63	5.72	4.64	8.66	33.97
Número de bajadas	2	2	1	1	2	6
Área de cada bajada (m ²)	20.7	29.1	32.7	21.5	37.5	192.32

Diámetro de tuberías de bajada (")	1.6	1.9	2.1	1.7	2.25	5.1
Diámetro comercial utilizado (")	3	3	3	3	3	6
Diámetro de canaleta (")	2.5	3	3.1	2.5	3.4	7.7
Diámetro comercial utilizado (")	4	4	4	4	4	8
Capacidad del tanque (L)	750	1,200	750	450	750	10,000

En lo referente a los diámetros calculados, estos deben ajustarse al valor comercial inmediatamente superior con el propósito de garantizar la correcta operación del sistema. Esta práctica se adopta para asegurar que, en caso de presentarse una posible insuficiencia en la capacidad de conducción, exista un margen de seguridad que permita transportar de manera eficiente los caudales estimados. Con ello, se elimina el riesgo de subdimensionamiento y se promueve un funcionamiento más estable, confiable y seguro del sistema de captación pluvial. En el Anexo 1 se presenta el análisis de costos y materiales a precio directo.

3.6 Análisis económico del SCALL

El análisis económico constituye una fase fundamental dentro de la evaluación integral del sistema de captación de agua de lluvia, ya que permite determinar su viabilidad financiera en los diferentes tipos de edificaciones urbanas —viviendas unifamiliares, dúplex, triplex, cuádruplex, comercios y servicios—. Esta evaluación busca determinar si la inversión inicial destinada a la instalación, operación y mantenimiento del sistema puede recuperarse mediante el ahorro económico generado por la sustitución parcial o total del agua proveniente de la red pública o del suministro mediante pipas.

Desde un enfoque metodológico, el análisis adoptado en este estudio se estructura en cuatro etapas interrelacionadas, que integran criterios técnicos, económicos y financieros, siguiendo los lineamientos propuestos por Severis et al. (2019). Estas etapas comprenden: (1) la definición de escenarios de valoración económica; (2) la proyección del flujo de caja acumulado; (3) el cálculo de indicadores de rentabilidad; y (4) la comparación de escenarios para diferentes usos y contextos socioeconómicos.

3.6.1 Etapa 1. Escenarios de valoración económica

Una vez verificada la viabilidad técnica del SCALL, se establecieron los escenarios de aprovechamiento del agua pluvial con el fin de cuantificar su beneficio hídrico en términos monetarios. Para ello, se consideraron dos condiciones de uso diferenciadas:

a) Escenario doméstico no potable

En este caso, el agua captada se destina a actividades de apoyo doméstico como la limpieza, el riego de jardines o el llenado de sanitarios. El valor económico del recurso se estimó a partir del costo promedio del suministro mediante pipas, ya que este constituye el principal medio alternativo de abastecimiento en zonas urbanas con limitaciones de la red pública.

b) Escenario de consumo humano

Este escenario incorpora los costos adicionales asociados a la potabilización del agua de lluvia, incluidos los gastos de filtración y desinfección. El valor del recurso se calculó con base en el precio promedio de un garrafón de 20 litros de las marcas comerciales más comunes del mercado regional.

En ambos casos, el volumen de agua captado por el SCALL se tradujo a unidades monetarias (MXN) mediante la siguiente relación general:

$$\text{Valor del agua} = \text{Volumen captado} \times \text{Precio unitario}$$

Esta conversión permitió estimar los ahorros mensuales y anuales potenciales, diferenciando los beneficios derivados del uso doméstico no potable de los vinculados al consumo humano. Dichas proyecciones constituyen la base del análisis financiero posterior.

3.6.2 Etapa 2. Proyección del flujo de caja acumulado

El segundo paso consistió en construir un modelo de flujo de caja acumulado (FCA_t) que permite proyectar el comportamiento financiero del sistema a lo largo de su vida útil. Este procedimiento permite visualizar el momento en que los ahorros generados compensan la inversión inicial, estableciendo así el punto de equilibrio o el periodo de retorno de la inversión (*payback*).

El análisis se fundamentó en dos componentes esenciales: la inversión inicial (I_0), que incluye los costos de instalación, materiales de conducción, tanque de almacenamiento, equipos de bombeo y dispositivos de potabilización, además de un 10% adicional destinado a operación y mantenimiento (OyM); y los ahorros anuales (A_t), que representan el valor económico asociado a la sustitución del agua de red o del consumo de pipas y garrafones.

Las ecuaciones utilizadas fueron (Ecuaciones 9 y 10):

$$FCA_t = FCA_{t-1} + A_t \quad (\text{Ec. 9})$$

$$A_t = V_{\text{scat}} \times P_{\text{agua}} \quad (\text{Ec. 10})$$

Donde:

V_{scat} corresponde al volumen sustituido por el SCALL en el año t ; P_{agua} equivale al precio unitario del agua según el escenario evaluado.

El sistema se considera económicamente viable cuando el flujo de caja acumulado alcanza o supera el monto de la inversión inicial ($FCA_t \geq I_0$). Esta condición define el año de recuperación o “payback”, que señala el momento en que el usuario comienza a percibir beneficios netos del sistema.

3.6.3 Etapa 3. Indicadores de rentabilidad y sostenibilidad económica

Para complementar la evaluación financiera, se calcularon indicadores que permiten estimar la rentabilidad y la sostenibilidad económica del SCALL a mediano y largo plazo. Estos indicadores se derivan del flujo de caja y ofrecen una visión integral del desempeño financiero del sistema.

a) Valor Actual Neto (VAN)

El VAN determina la rentabilidad del proyecto descontando los flujos futuros a valor presente, considerando una tasa mínima de rendimiento (i) asociada al costo de oportunidad del capital:

$VAN = \sum Ft / (1 + i)^t - I_0$. Un VAN positivo ($VAN > 0$) indica que los beneficios económicos superan los costos, lo que valida la viabilidad del proyecto.

b) Tasa Interna de Retorno (TIR)

La TIR es la tasa de rendimiento que iguala el VAN a cero. Su valor refleja la rentabilidad intrínseca del sistema; cuando la $TIR > i$, se considera que el proyecto es rentable y financieramente sustentable.

c) Relación Beneficio/Costo (B/C)

Este indicador expresa la proporción entre los beneficios acumulados y los costos totales del sistema:

$B/C = \text{Beneficios} / \text{Costos}$. Un valor $B/C > 1$ indica que los beneficios económicos superan los costos de instalación y operación, lo que confirma la viabilidad financiera del sistema.

d) Periodo de Recuperación (Payback)

Este indicador complementa el flujo de caja acumulado (FCA) al indicar el número de años necesarios para recuperar la inversión total. Su utilidad radica en que permite comparar

alternativas de diseño o de escala del SCALL y priorizar aquellas con retornos más cortos o sostenibles.

3.6.4 Etapa 4. Evaluación comparativa de escenarios

En la última etapa se llevó a cabo una evaluación comparativa de escenarios, con el objetivo de analizar la variación de los resultados económicos bajo diferentes condiciones de uso y contexto. Se estudiaron tres casos representativos: (1) Vivienda unifamiliar con sustitución de pipas (uso no potable); (2) Vivienda unifamiliar con sustitución de garrafrones (uso potable); y (3) Comercio con sustitución de pipas (uso no potable). A diferencia de la evaluación técnica del SCALL (en la que se evaluaron distintos tipos de viviendas), en esta etapa se seleccionó únicamente la vivienda unifamiliar por su viabilidad.

Esta comparación permitió estimar el ahorro neto anual y el año de recuperación de la inversión, así como identificar los escenarios en los que el SCALL ofrece un mayor retorno financiero. Los resultados evidencian que la viabilidad del sistema depende tanto de las condiciones climáticas locales —que determinan la cantidad de agua cosechable— como de los patrones de consumo y de las tarifas del agua en cada zona.

Capítulo 4. Resultados y discusión

4.1 Introducción

En este capítulo se presentan los resultados del análisis del potencial de los sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL) como una alternativa viable para enfrentar la escasez hídrica en la zona de estudio. En primer término, se examinó la capacidad técnica de captación con el fin de determinar el tamaño óptimo del tanque de almacenamiento, de modo que este asegure la disponibilidad continua del recurso y compense, en el tiempo, las deficiencias del suministro convencional. Posteriormente, se analizó el potencial de redistribución de los volúmenes excedentes, es decir, aquellos que superan la demanda de los usuarios con superficie de captación suficiente. Dichos excedentes representan un recurso estratégico, pues podrían destinarse al abastecimiento de viviendas que carecen de la superficie mínima de azotea necesaria para el aprovechamiento autónomo del agua pluvial, lo que favorece una distribución más equitativa del recurso.

4.2 Viabilidad técnica del SCALL

Los valores detallados en las Tablas 4.1 y 4.2 evidencian una brecha significativa entre el agua necesaria y el agua efectivamente consumida, excepto en el rubro de servicios, donde la demanda real no se raciona.

Tabla 4.1 Demanda mensual ideal de agua (m³)

Mes	Unifamiliar	Dúplex	Tríplex	Cuádruplex	Comercial	Servicios
E	13.95	27.9	41.85	55.8	4.96	166.16
F	12.6	25.2	37.8	50.4	4.48	150.08
M	13.95	27.9	41.85	55.8	4.96	166.16
A	13.5	27	40.5	54	4.8	160.8
M	13.95	27.9	41.85	55.8	4.96	166.16

J	13.5	27	40.5	54	4.8	160.8
J	13.95	27.9	41.85	55.8	4.96	166.16
A	13.95	27.9	41.85	55.8	4.96	166.16
S	13.5	27	40.5	54	4.8	160.8
O	13.95	27.9	41.85	55.8	4.96	166.16
N	13.5	27	40.5	54	4.8	160.8
D	13.95	27.9	41.85	55.8	4.96	166.16

Tabla 4:2 Demanda mensual real de agua (m³)

Mes	Unifamiliar	Dúplex	Tríplex	Cuádruplex	Comercial	Servicios
E	4.65	9.3	13.95	18.6	1.653	166.16
F	4.2	8.4	12.6	16.8	1.493	150.08
M	4.65	9.3	13.95	18.6	1.653	166.16
A	4.5	9	13.5	18	1.600	160.8
M	4.65	9.3	13.95	18.6	1.653	166.16
J	4.5	9	13.5	18	1.600	160.8

J	4.65	9.3	13.95	18.6	1.653	166.16
A	4.65	9.3	13.95	18.6	1.653	166.16
S	4.5	9	13.5	18	1.600	160.8
O	4.65	9.3	13.95	18.6	1.653	166.16
N	4.5	9	13.5	18	1.600	160.8
D	4.65	9.3	13.95	18.6	1.653	166.16

Con base en la información contenida en las Tablas 4.1 y 4.2, se observa que la zona de estudio enfrenta un déficit considerable entre la demanda óptima de agua potable y el volumen efectivamente suministrado (al menos del 33.3%), lo que evidencia una condición de escasez que afecta directamente la calidad de vida de los habitantes. Posteriormente, se evaluó el potencial técnico de los sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL) en los distintos tipos de edificaciones. En la Tabla 4.3 se muestran los volúmenes acumulados de agua pluvial aprovechable (Vpac) estimados a lo largo del periodo de análisis.

Tabla 4.3 Volúmenes de agua de lluvia cosechables en distintos tipos de edificaciones (m³)

Mes	Unifamiliar	Dúplex	Tríplex	Cuádruplex	Comercial	Servicios
E	0.818	1.150	0.646	0.426	1.482	22.807
F	0.759	1.067	1.067	0.395	1.375	21.160
M	1.238	1.741	1.741	0.644	2.244	34.524
A	1.431	2.011	2.011	0.744	2.592	39.880
M	2.128	2.991	2.991	1.106	3.854	59.306

J	2.453	3.449	3.449	1.276	4.445	68.391
J	2.545	3.578	3.578	1.324	4.611	70.954
A	2.441	3.432	3.432	1.270	4.422	68.048
S	1.990	2.797	2.797	1.035	3.604	55.462
O	1.346	1.892	1.892	0.700	2.438	37.508
N	1.019	1.433	1.433	0.530	1.846	28.409
D	1.046	1.470	1.470	0.544	1.894	29.147

Al comparar la información de las Tablas 4.1 a 4.3, se advierte que el volumen de agua captada (Vpac) resulta insuficiente para satisfacer por completo tanto la dotación ideal como la real. Sin embargo, bajo el supuesto de que la población adopta un uso racional del recurso hídrico en contextos de escasez, se evaluó el potencial de los sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL) para cubrir al menos el 50% de la dotación real (Dreal50). Los resultados de este análisis se presentan en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4 Potencial del SCALL para compensar la Dreal50 para necesidades esenciales o básicas

Mes	Unifamiliar	Dúplex	Tríplex	Cuádruplex	Comercial	Servicios
E	0.176	0.124	0.046	0.023	0.897	0.137
F	0.163	0.115	0.076	0.021	0.832	0.127
M	0.266	0.187	0.125	0.035	1.357	0.208
A	0.308	0.216	0.144	0.040	1.568	0.240

M	0.458	0.322	0.214	0.059	2.331	0.357
J	0.528	0.371	0.247	0.069	2.688	0.412
J	0.547	0.385	0.257	0.071	2.789	0.427
A	0.525	0.369	0.246	0.068	2.675	0.410
S	0.428	0.301	0.200	0.056	2.180	0.334
O	0.289	0.203	0.136	0.038	1.474	0.226
N	0.219	0.154	0.103	0.028	1.117	0.171
D	0.225	0.158	0.105	0.029	1.146	0.175

Los resultados presentados en la Tabla 4.4 evidencian que la factibilidad de implementar los SCALL depende en gran medida del tipo de edificación y de la estacionalidad de las precipitaciones. En las viviendas unifamiliares, se observa que, a partir de mayo, el volumen de agua captada (VPac) supera el 50% de la dotación real destinada al consumo básico (Dreal50), alcanzando sus valores más altos en junio, julio y agosto (0.528, 0.547 y 0.525, respectivamente). Esto sugiere que, durante la temporada de lluvias, este tipo de vivienda puede cubrir de forma autónoma una proporción considerable de sus necesidades hídricas esenciales. No obstante, durante los períodos secos, la cobertura se reduce significativamente, lo que evidencia la necesidad de complementar el abastecimiento con otras fuentes de agua.

En contraste, las tipologías multifamiliares —dúplex, tríplex y cuádruplex— no alcanzan en ningún mes del año el umbral del 50% de cobertura (Dreal50). Incluso en los periodos de mayor precipitación, los valores permanecen por debajo de 0.40 para las viviendas dúplex y son todavía menores en los tríplex y cuádruplex. Este comportamiento confirma que dichas configuraciones no son autosuficientes y requieren estrategias complementarias, como la redistribución de los excedentes generados en otros sectores.

Por su parte, las áreas comerciales muestran valores superiores a la unidad en la mayoría de los meses de marzo a diciembre, lo que implica que pueden satisfacer por completo su demanda y,

además, generar excedentes hídricos. Estos volúmenes adicionales representan una oportunidad estratégica para implementar mecanismos de redistribución comunitaria, sustentados en un dimensionamiento adecuado de los tanques de almacenamiento, con el fin de reducir la variabilidad estacional y avanzar hacia una gestión del recurso más equitativa y sostenible.

En cuanto a las áreas de servicios, aunque sus volúmenes de captación no alcanzan el umbral del 50% (D_{real50}), se aproximan a dicho umbral entre junio y agosto. Esta condición se explica por el número de usuarios potencialmente demandantes del agua captada (V_{Pac}). Cabe señalar que el análisis se realizó considerando de manera independiente cada tipología de edificación en la zona de estudio. Esto abre la posibilidad de que, en futuras etapas, se evalúe la integración de excedentes generados en áreas de servicios con los de viviendas cercanas, a fin de promover una redistribución interbarrial coordinada de los volúmenes disponibles procedentes de distintos sectores, como el comercial y el de servicios.

4.3 Mitigación del déficit hídrico con agua de lluvia

Como se describió en la sección metodológica, la estimación de la capacidad de los sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL) para reducir el déficit hídrico se basó en el criterio de que el volumen aprovechable debía cubrir al menos el 50% de la dotación real. Este umbral se consideró adecuado para garantizar el abastecimiento de las necesidades básicas del hogar en contextos de escasez severa. Para desarrollar el análisis, se aplicó el método de Rippl (Severis et al., 2019), restringiendo la evaluación de la capacidad de almacenamiento a las viviendas unifamiliares y a las áreas comerciales, ya que únicamente en estos casos el volumen captado (V_{pac}) alcanzó valores iguales o superiores a 0.5, como se muestra en la Tabla 4.4.

A fin de otorgar mayor solidez a la evaluación, los resultados se analizaron con un nivel de confiabilidad del 90%, considerando que los datos de precipitación utilizados provienen de registros históricos representativos de la zona de estudio y están respaldados por siete estaciones climatológicas. Además, dado que los volúmenes de lluvia cosechable ya habían sido corregidos por pérdidas por evaporación y salpicaduras, y se habían excluido las primeras precipitaciones para asegurar la calidad del agua, se adoptó una eficiencia de captación de 1. Los resultados obtenidos mediante este procedimiento se presentan en la Tabla 4.5.

Tabla 4.5. Resultados del balance mensual entre volumen requerido (Dreal50) y volumen captado (Vpac) para viviendas unifamiliares y áreas comerciales

Mes	Dreal50 (L) Unifamiliar	Dreal50 (L) Comercios	Vpac (L) Unifamiliar	Vpac (L) Comercios	$\Delta(t) =$ Dreal50 – Vpac Unifamiliar	$\Delta(t) =$ Dreal50 – Vpac Comercios	Suma acumulada $S(t) =$ $\text{MAX}(0,$ $S\{t-1\}+\Delta t)$ Unifamiliar	Suma acumulada $S(t) = \text{MAX}(0,$ $S\{t-1\}+\Delta t)$ Comercios
E	2,325.00	1,653.33	818.178	1,482.25	-1,506.82	-171.083	0	0
F	2,100.00	1,493.33	759.061	1,375.15	-1,340.94	-118.182	0	0
M	2,325.00	1,653.33	1,238.49	2,243.71	-1,086.51	590.371	0	590.371
A	2,250.00	1,600.00	1,430.62	2,591.78	-819.379	991.782	0	1,582.15
M	2,325.00	1,653.33	2,127.51	3,854.30	-197.487	2,200.97	0	3,783.12
J	2,250.00	1,600.00	2,453.42	4,444.73	203.421	2,844.73	203.421	6,627.86
J	2,325.00	1,653.33	2,545.36	4,611.30	220.364	2,957.97	423.786	9,585.83
A	2,325.00	1,653.33	2,441.10	4,422.42	116.102	2,769.08	539.888	12,354.91
S	2,250.00	1,600.00	1,989.60	3,604.45	-260.402	2,004.45	279.485	14,359.36
O	2,325.00	1,653.33	1,345.54	2,437.64	-979.46	784.311	0	15,143.67
N	2,250.00	1,600.00	1,019.12	1,846.28	-1,230.89	246.277	0	15,389.95
D	2,325.00	1,653.33	1,045.58	1,894.23	-1,279.42	240.896	0	15,630.84
Total (L)	—	—	—	—	—	—	1,446.58	95,048.05

Los resultados presentados en la Tabla 4.5 evidencian un marcado contraste en la disponibilidad hídrica entre las viviendas unifamiliares y los establecimientos comerciales a lo largo del año. En el caso de las viviendas unifamiliares, durante los primeros cinco meses (enero a mayo), el volumen captado de agua pluvial (Vpac) resulta insuficiente para cubrir el 50% de la dotación real (Dreal50), lo que genera déficits mensuales acumulados. A partir de junio se observa un cambio de tendencia: la captación supera la demanda en 203 L (equivalente al 9.04%), lo que marca el inicio de un periodo de superávit. Esta condición favorable se mantiene en julio y agosto, alcanzando los niveles más altos de cobertura con 18.23% y 23.22%, respectivamente, y se prolonga hasta septiembre (12.42%). Sin embargo, a partir de octubre, los volúmenes vuelven a descender por debajo de la demanda mínima, restableciendo un patrón deficitario que persiste hasta diciembre.

Dado que la disponibilidad efectiva de viviendas unifamiliares se concentra únicamente durante los meses de mayor precipitación, se recomienda el uso de tanques de almacenamiento con una capacidad promedio de 360 a 400 litros. Esta dimensión resulta suficiente para acumular los excedentes registrados durante la temporada húmeda y mantener una reserva operativa durante los meses secos. En periodos de déficit, dichos depósitos pueden complementarse con agua del

sistema público y servir como reservorios estratégicos para asegurar el abastecimiento doméstico ante escasez o interrupciones del suministro.

En contraste, los establecimientos comerciales muestran un comportamiento significativamente más favorable. Desde marzo hasta diciembre, los volúmenes captados exceden de forma constante la demanda, generando superávits sostenidos que podrían compensar los déficits de los dos primeros meses (enero y febrero) y, aun así, mantener un volumen acumulado final de aproximadamente 95,048 L. El máximo se alcanzó en julio, con un excedente de 2,958 L, reflejando una disponibilidad muy superior a los requerimientos mínimos.

Este comportamiento confirma la viabilidad técnica de los sistemas SCALL como una medida efectiva para complementar la dotación que el suministro convencional no logra cubrir por completo. Dado que la disponibilidad de agua pluvial se concentra durante diez meses al año, se recomienda la instalación de cisternas con capacidad aproximada de 9,000 a 10,000 litros en los comercios. Esta capacidad permitiría aprovechar de manera óptima los excedentes captados, garantizar la continuidad del abastecimiento y contribuir a una gestión más eficiente y sostenible del recurso hídrico urbano.

4.3.1 Potencial de redistribución interbarrial del agua pluvial captada en zonas comerciales

La Tabla 4.6 presenta los resultados del análisis mensual del volumen de agua de lluvia disponible en áreas comerciales y su capacidad potencial para complementar la dotación básica de los hogares con déficit hídrico. Este análisis se basó en la precipitación promedio mensual (Pp 80), en el volumen real de agua requerido por vivienda (Dreal) y en el volumen de agua pluvial captada y disponible en los comercios, entendido este último como el excedente susceptible de redistribuirse a zonas residenciales deficitarias.

Tabla 4.6. Volúmenes excedentes de agua pluvial en zonas comerciales y capacidad potencial de redistribución hacia usuarios domésticos

Mes	Pp 80 (m)	Dreal – Vivienda (m ³ /usuario)	Volumen disponible en comercios (m ³)	Cobertura a nuevos usuarios (No. usuarios)
E	0.03	1.292	0.897	0.694
F	0.028	1.167	0.832	0.713
M	0.046	1.292	1.357	1.051
A	0.053	1.25	1.568	1.254

M	0.079	1.292	2.331	1.805
J	0.091	1.25	2.688	2.151
J	0.095	1.292	2.789	2.159
A	0.091	1.292	2.675	2.071
S	0.074	1.25	2.18	1.744
O	0.05	1.292	1.474	1.141
N	0.038	1.25	1.117	0.893
D	0.039	1.292	1.146	0.887

El análisis revela que el periodo comprendido entre mayo y septiembre concentra los mayores volúmenes de agua pluvial disponible ($\geq 2.0 \text{ m}^3$), lo cual coincide con la temporada de lluvias más intensas. Durante estos meses, cada establecimiento comercial posee la capacidad de satisfacer la dotación equivalente a entre 1.8 y 2.2 nuevos usuarios domésticos, lo que confirma un elevado potencial de redistribución interbarrial del recurso. En contraste, de enero a marzo y de octubre a diciembre, la cobertura disminuye notablemente, hasta valores inferiores a un usuario, lo que pone de manifiesto la marcada estacionalidad del régimen pluviométrico.

El promedio anual de cobertura, estimado en 1.38 usuarios domésticos por comercio, demuestra que, bajo condiciones representativas, los 1,081 establecimientos comerciales identificados en el área de estudio podrían aportar volúmenes suficientes para complementar parcialmente la dotación de agua de viviendas cercanas, al menos para cubrir requerimientos básicos. De forma agregada, este potencial de redistribución permitiría abastecer a aproximadamente 1,492 usuarios adicionales, equivalentes a 414 viviendas unifamiliares con un promedio de 3.6 ocupantes por hogar.

4.4 Evaluación económica de los sistemas de captación de agua de lluvia

El análisis económico del SCALL tuvo como objetivo evaluar su factibilidad financiera y su rentabilidad potencial en distintos escenarios de aplicación. Para ello, se estimaron los flujos netos de caja anuales derivados de los ahorros obtenidos al sustituir parcialmente el consumo de agua convencional —proveniente de pipas o garrafones— por agua pluvial aprovechable. Con base en estos flujos, se calcularon los principales indicadores financieros: Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR), Relación Beneficio/Costo (B/C) y periodo de recuperación de la inversión (*Payback*).

Los resultados permiten comparar el comportamiento económico del SCALL en tres contextos:

- a) Vivienda unifamiliar (a): sustitución parcial de agua proveniente de pipas (uso no potable).

- b) Vivienda unifamiliar (b): sustitución de garrafones para consumo humano (uso potable).
- c) Comercio (a): sustitución del agua transportada en pipas (uso no potable).

Estos escenarios permiten valorar el potencial del SCALL como alternativa sostenible para reducir los costos de abastecimiento, fortalecer la resiliencia hídrica y fomentar el aprovechamiento eficiente del recurso en zonas urbanas con disponibilidad limitada de agua potable.

4.4.1 Flujo de caja neto y recuperación de la inversión

El análisis de los flujos de caja netos permite visualizar la evolución temporal de los ahorros generados por la implementación del SCALL y determinar el momento en que los beneficios acumulados igualan o superan la inversión inicial (I_0). La trayectoria del flujo de efectivo acumulado constituye un indicador esencial de la viabilidad económica de cada escenario (Tabla 4.7).

Tabla 4.7 Comparación general y análisis de viabilidad del SCALL

Escenario	Ahorro neto anual (MXN)	Año de recuperación	Resultado acumulado (año 20) (MXN)	Viabilidad económica
Vivienda unifamiliar (a)- Sustitución de pipas	74.62	No recupera	-9,819	No viable (recuperación posterior a 20 años)
Vivienda unifamiliar (b) - Sustitución de garrafones	1,503.06	9	17,357.92	Altamente viable
Comercio (a) - Sustitución de pipas	245.56	No recupera	-6,937	No viable (recuperación posterior a 20 años)

En el escenario de vivienda unifamiliar (a), la sustitución parcial del agua adquirida mediante pipas genera un ahorro anual mínimo de MXN 74.62. El flujo acumulado permanece negativo durante los 20 años evaluados, sin alcanzar la amortización de la inversión inicial de MXN 11,311.28, lo que genera un déficit final de MXN 9,819. Esto evidencia que el SCALL no resulta

financieramente viable en contextos en los que el costo del agua por pipa es bajo o la sustitución de volumen es limitada.

Por el contrario, en el escenario de vivienda unifamiliar (b), correspondiente a la sustitución del consumo de garrafones, el ahorro anual se incrementa significativamente (MXN 1,503.06) debido al alto costo del agua embotellada. El punto de equilibrio se alcanza en el noveno año y, al finalizar la vida útil del sistema (20 años), se obtiene un saldo positivo de MXN 17,357.92, equivalente a un retorno del 130% sobre la inversión inicial. Este escenario demuestra una alta viabilidad económica, con recuperación a mediano plazo y beneficios sostenidos a largo plazo.

En el escenario comercial (a), el ahorro anual promedio es moderado (MXN 245.56), lo que resulta insuficiente para recuperar la inversión de MXN 11,848.66 durante el periodo de vida útil. Aunque el flujo acumulado muestra una tendencia ascendente, el déficit final (-MXN 6,937) confirma su inviabilidad financiera en las condiciones actuales. Sin embargo, la rentabilidad podría alcanzarse si se incrementaran las tarifas de agua transportada, se registraran años de mayor precipitación o se ampliara la capacidad de captación.

4.4.2 Rentabilidad y sostenibilidad económica del SCALL

Los resultados financieros permiten identificar diferencias claras en la rentabilidad y la sostenibilidad económica del SCALL según el contexto de uso (Tabla 4.8). Estas variaciones dependen principalmente del tipo de fuente de agua sustituida y del nivel de ahorro alcanzado.

Tabla 4.8 Indicadores de rentabilidad y viabilidad económica del SCALL

Escenario	Inversión inicial (MXN)	Ahorro anual (MXN)	Valor presente de beneficios (MXN)	VAN (i = 2%)	TIR (%)	Payback (años)	Relación B/C
Vivienda (a) – Sustitución de pipas	11,312.28	74.62	1,221.14	-10,091.14	-16%	No recupera (20 años)	0.11
Vivienda (b) – Sustitución de garrafones	12,704.28	1,503.06	24,578.19	11,874	8%	9	1.93

Comercio							
(a) –						No	
Sustitución	11,849.66	245.56	4,016.26	–7,833	–9%	recupera	0.34
de pipas						(20 años)	

De acuerdo con los resultados, se identifican tres patrones de desempeño:

- En vivienda (a) y comercio (a), los indicadores financieros (VAN y TIR) son negativos, lo que confirma la falta de rentabilidad a lo largo del ciclo de vida del sistema (20 años). Los ahorros anuales resultan insuficientes para amortizar la inversión, aunque el flujo de efectivo mejora ligeramente con el tiempo.
- En vivienda (b), los indicadores muestran un desempeño financiero favorable: el VAN positivo (MXN 11,874), la TIR superior a la tasa mínima aceptable ($8\% > 2\%$) y una relación B/C de 1.93, lo que indica un retorno cercano al doble de la inversión inicial.
- La rentabilidad del SCALL depende directamente del costo del agua sustituida: cuanto mayor sea el precio del recurso sustituido, mayor será la ganancia neta.

Por tanto, el SCALL es económicamente viable únicamente en contextos en los que sustituye al agua embotellada o al agua de alto costo unitario, mientras que su implementación en entornos con tarifas bajas o de consumo moderado no resulta rentable desde una perspectiva estrictamente financiera. No obstante, en todos los escenarios analizados, el sistema aporta beneficios ambientales, sociales y de resiliencia urbana, por lo que su adopción se justifica como una medida estratégica para la gestión sostenible del agua y la adaptación a la escasez hídrica.

A partir de estos resultados, se plantea como una alternativa deseable la incorporación de un incentivo gubernamental del 50% sobre el costo inicial del SCALL —similar al programa implementado por la Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México (INFOBAE, 2021)—, que tendría un impacto sustancial en la viabilidad económica de este tipo de soluciones, especialmente en los escenarios en los que actualmente se identifican bajos niveles de rentabilidad. A continuación, se presenta el escenario detallado.

4.4.3 Efecto general de un subsidio en los indicadores económicos

La incorporación de un subsidio del 50% del costo inicial del SCALL, tal como el implementado por INFOBAE (2021) en la Ciudad de México, modifica significativamente la rentabilidad y la viabilidad de este tipo de tecnologías.

Al reducir el monto de la inversión inicial, se acortan los periodos de recuperación, aumenta la rentabilidad y se mejora la relación beneficio/costo, sin alterar los flujos anuales de ahorro.

En términos económicos, este incentivo convierte al SCALL de una medida ambientalmente favorable en una alternativa financieramente atractiva y socialmente accesible, particularmente en contextos urbanos con altos costos de agua potable o con escasez recurrente del suministro. En la siguiente Tabla 4.9 se presenta el contraste al aplicarse el subsidio:

Tabla 4.9 Impacto del subsidio en los principales indicadores económicos

Escenario	VAN original (MXN)	VAN con subsidio (MXN)	Incremento relativo (%)	<i>Payback</i> original (años)	<i>Payback</i> con subsidio (años)
Vivienda (a) - Pipas	-10,091	-4,400	56.40%	No recupera	23-24
Vivienda (b) - Garrafones	11,874	18,200	53.20%	9	5
Comercio (a) - Pipas	-7,833	-1,400	82.10%	No recupera	18-19

Los resultados presentados (Tabla 4.9) evidencian una mejora significativa en la viabilidad económica del sistema de captación de agua de lluvia (SCALL) al aplicar un subsidio del 50%. En el caso de la vivienda unifamiliar (a), si bien el ahorro anual continúa siendo limitado, la reducción del costo inicial a la mitad permite disminuir el déficit financiero en un 56%, acercando el proyecto al umbral de rentabilidad. Aunque el periodo de recuperación se mantiene próximo a la vida útil del sistema (20 años), esta mejora lo convierte en una alternativa marginalmente viable, sobre todo si se valoran sus beneficios ambientales y sociales, como la disminución de la presión sobre las fuentes convencionales y el fortalecimiento de la resiliencia hídrica doméstica.

En el escenario correspondiente a la vivienda unifamiliar (b), los efectos del subsidio resultan particularmente favorables. La reducción de la inversión inicial incrementa el Valor Actual Neto (VAN) en más del 50% y eleva la Tasa Interna de Retorno (TIR) del 8% al 14%, superando ampliamente la tasa mínima de rendimiento esperada. Además, el periodo de recuperación (*Payback*) se acorta de nueve a cinco años, lo que consolida al SCALL como una inversión altamente rentable y sostenible en viviendas que sustituyen el uso de agua embotellada, particularmente en contextos donde su costo unitario es elevado.

Por su parte, en el escenario comercial (a), el subsidio mejora notablemente los indicadores de desempeño económico. El VAN se aproxima al equilibrio (-1,400 MXN) y la recuperación de la inversión se lograría durante la vida útil del sistema, de 18 a 19 años. Aunque los beneficios financieros aún resultan limitados, esta condición podría revertirse mediante la implementación de políticas complementarias, como la redistribución de excedentes pluviales entre sectores

cercanos o el ajuste de las tarifas del agua suministrada por pipas. De esta manera, el incentivo gubernamental no solo incrementa la factibilidad económica del SCALL, sino que también abre la posibilidad de integrar estrategias de gestión comunitaria del agua que fortalezcan la sostenibilidad urbana y promuevan el uso equitativo de los recursos hídricos alternativos.

4.5 Discusión

El presente apartado analiza los resultados de la evaluación técnica y económica de los sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL) en un entorno urbano semiárido, y los contrasta con experiencias nacionales e internacionales que permiten contextualizar su potencial y sus limitaciones. A partir de este contraste, se discuten los factores que determinan la efectividad del SCALL como estrategia de mitigación de la escasez hídrica, su papel dentro de modelos de compensación interbarrial, las condiciones que definen su rentabilidad económica —incluido el escenario con subsidio gubernamental del 50%— y los elementos que facilitan su aceptación social y su adaptación tecnológica en territorios con características climáticas y socioeconómicas semejantes.

4.5.1 Capacidad del SCALL para mitigar la escasez hídrica

Los resultados confirman que el SCALL posee un alto potencial técnico para mitigar los efectos de la escasez hídrica en zonas urbanas semiáridas, siempre que se cuente con superficies de captación adecuadas y se considere la marcada estacionalidad de las precipitaciones. Este comportamiento es coherente con estudios realizados en diversas ciudades mexicanas, como la Ciudad de México, Puebla y Guadalajara, donde los programas de captación implementados por SEDEMA (2020) han demostrado que los sistemas bien dimensionados pueden cubrir entre cinco y ocho meses de la demanda anual doméstica, siempre que se mantenga un seguimiento operativo continuo (Pérez Ortega, 2021; Gómez Nava, 2023).

A nivel internacional, la evidencia también muestra una correspondencia con este patrón. En regiones semiáridas de Australia, India y el norte de África, los sistemas de cosecha de lluvia actúan como un complemento descentralizado de las redes tradicionales, aportando resiliencia durante las temporadas húmedas (Ranaee et al., 2021; Nandi y Gonela, 2022). Investigaciones de Słyś y Stec (2020) y de Belmeziti (2024) reportan eficiencias superiores al 60% en viviendas unifamiliares, mientras que en edificaciones multifamiliares estas eficiencias descienden notablemente debido a la menor relación entre el área de captación y el número de usuarios. De forma análoga, en el presente estudio, solo las viviendas unifamiliares y las áreas comerciales

superaron el umbral del 50% de cobertura (Dreal50) durante la temporada lluviosa, lo que refuerza la necesidad de adaptar el diseño del SCALL a las características constructivas y a las densidades urbanas locales.

La aplicación de un subsidio gubernamental del 50% sobre el costo inicial del sistema aumenta aún más este potencial, al reducir las barreras económicas de adopción y favorecer su implementación en sectores de ingresos medios o bajos. Con dicho incentivo, los sistemas alcanzan una cobertura funcionalmente más equitativa, extendiendo sus beneficios a hogares que, sin apoyo financiero, difícilmente podrían acceder a tecnologías de captación.

4.5.2 Potencial interbarrial y compensación del déficit hídrico

El enfoque interbarrial constituye una de las principales contribuciones de este estudio, al cuantificar los excedentes de volumen generados en áreas comerciales y su capacidad para compensar los déficits en viviendas con superficies de captación reducidas. Los resultados muestran que cada establecimiento puede aportar agua equivalente al consumo de 1.8 a 2.2 usuarios domésticos adicionales durante los meses de mayor precipitación, configurando un modelo de redistribución hídrica solidaria entre sectores urbanos.

Esta visión trasciende el uso individual del SCALL y se articula con propuestas contemporáneas de justicia hídrica y de gobernanza cooperativa (Bitterman et al., 2016; Leveque et al., 2024). Experiencias documentadas en la Ciudad de México y en Cuernavaca han mostrado que los sistemas colectivos instalados en escuelas, mercados o centros comunitarios pueden transferir los excedentes a redes vecinales de distribución mediante acuerdos con las autoridades locales (Herrera Franco et al., 2022; Soares y Valdés-Rodríguez, 2024). De manera concordante, Vardon et al. (2025) y Castelán-Cabañas et al. (2024) subrayan que los modelos cooperativos reducen las pérdidas por evaporación y fortalecen la apropiación social del recurso.

El escenario de subsidio refuerza este enfoque, ya que permitiría incrementar el número de unidades comerciales o comunitarias equipadas con sistemas SCALL, ampliando la red de almacenamiento y distribución interbarrial. En este sentido, el subsidio no solo impulsa la adopción tecnológica, sino que también potencia su efecto sistémico al convertir las edificaciones comerciales en nodos de resiliencia hídrica urbana, desde los cuales podría establecerse una red descentralizada de abastecimiento complementario.

4.5.3 Viabilidad económica según tipo de consumo y aplicación del subsidio

El análisis financiero confirma que la rentabilidad del SCALL depende directamente del tipo de consumo sustituido y de las tarifas locales del agua, coincidiendo con lo reportado por Rodríguez de Sá Silva et al. (2022) y Puppala et al. (2023). En los escenarios originales, la sustitución de agua embotellada (garrafrones) presenta los indicadores más favorables, con un Valor Actual Neto (VAN) positivo, una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 8% y un periodo de recuperación de 9 años, mientras que la sustitución de agua de pipas no logra amortizar la inversión en un horizonte de 20 años.

Sin embargo, la incorporación del subsidio del 50% transforma significativamente este panorama. En el caso de las viviendas que sustituyen garrafrones, el VAN se incrementa en más del 50%; la TIR asciende al 14% y el *Payback* se reduce a cinco años, lo que consolida al SCALL como una inversión altamente rentable y sostenible. En el caso de los comercios, el subsidio permite equilibrar el flujo de caja y recuperar la inversión en un plazo de 18 a 19 años, situando el proyecto dentro del margen de viabilidad económica.

Estos resultados concuerdan con experiencias internacionales en países donde los programas de incentivo financiero han permitido masificar el uso de tecnologías de captación, reduciendo los costos iniciales y generando beneficios sociales y ambientales sostenibles. En el contexto mexicano, la combinación de incentivos económicos, participación ciudadana y redes cooperativas de redistribución hídrica podría consolidar al SCALL como una herramienta efectiva de adaptación urbana ante la escasez hídrica estructural, fortaleciendo la equidad en el acceso al recurso y promoviendo una transición hacia modelos de gestión del agua descentralizados y resilientes.

Conclusiones y recomendaciones

El presente estudio confirma que los sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL) constituyen una alternativa técnica viable para mitigar la escasez hídrica en zonas urbanas semiáridas, en particular en viviendas unifamiliares y en edificaciones comerciales. En ambos casos, los volúmenes captados superaron el 50% de la dotación real (D_{real50}) durante la temporada lluviosa, lo que evidencia su potencial para complementar de manera significativa el abastecimiento convencional. En cambio, las tipologías multifamiliares (dúplex, tríplex y cuádruplex) mostraron un desempeño limitado debido a la baja proporción entre la superficie disponible para la captación y el número de usuarios, lo que restringe su eficiencia hidráulica y reduce la autosuficiencia hídrica del sistema.

Desde la perspectiva económica, los resultados evidencian que la viabilidad financiera del SCALL depende del tipo de fuente de agua que se sustituye. Los escenarios en los que el sistema reemplaza agua embotellada o de alto costo unitario mostraron un Valor Actual Neto (VAN) positivo, una Tasa Interna de Retorno (TIR) superior al costo de oportunidad y una recuperación de la inversión en el mediano plazo, durante la vida útil del sistema. Cabe destacar que la instalación, operación y mantenimiento básico del SCALL no requieren mano de obra especializada, ya que sus componentes son sencillos, modulares y de fácil ensamblaje. Esta característica disminuye los costos indirectos asociados, reduce la dependencia de servicios técnicos externos y facilita que las propias comunidades gestionen y mantengan sus sistemas, lo que fortalece su accesibilidad y adoptabilidad. Por el contrario, cuando el SCALL sustituye el agua proveniente de pipas, la rentabilidad disminuye considerablemente, aunque el sistema mantiene un valor agregado en términos ambientales y sociales al reducir la demanda de fuentes convencionales y fomentar prácticas sostenibles de uso del recurso.

Asimismo, el análisis interbarrial desarrollado en este estudio demuestra que los excedentes de agua generados en las edificaciones comerciales pueden redistribuirse a viviendas con déficit hídrico, lo que constituye un modelo de compensación solidaria y de resiliencia urbana. Este enfoque descentralizado amplía la concepción tradicional del SCALL y lo integra en esquemas comunitarios de gestión del agua, promoviendo la equidad en el acceso al recurso y fortaleciendo la autonomía hídrica local frente a escenarios de escasez estructural.

La incorporación hipotética de un subsidio gubernamental del 50% sobre el costo inicial del sistema, como el implementado en la Ciudad de México, mostró una mejora sustancial en la rentabilidad en todos los escenarios analizados. En viviendas que sustituyen el agua embotellada, el periodo de recuperación se reduce de nueve a cinco años y la rentabilidad se incrementa en más del 50%, mientras que en los comercios se alcanza la recuperación dentro de la vida útil del sistema (18–19 años). Este hallazgo confirma que las políticas de incentivo público son

determinantes para acelerar la adopción del SCALL, facilitar su implementación y consolidarlo como una herramienta de gestión hídrica sostenible y equitativa.

Limitaciones del estudio y proyecciones futuras

Las principales limitaciones del estudio se deben a su alcance geográfico y temporal: está centrado en una zona urbana específica del centro de México y se basa en registros históricos de precipitaciones. No se incorporaron proyecciones de cambio climático ni escenarios de variabilidad interanual, lo que podría modificar los patrones de captación y almacenamiento en el futuro. Además, se asumió una eficiencia constante del sistema ($\eta = 1$) y un mantenimiento óptimo, condiciones que en la práctica pueden variar por factores operativos, técnicos o socioeconómicos.

En el componente económico, los cálculos se realizaron bajo precios fijos y sin considerar fluctuaciones tarifarias, ni integrar variables sociales como la aceptación, la percepción o la disposición al pago de los usuarios, que influyen directamente en la adopción de tecnologías hídricas. Por ello, se recomienda que futuras investigaciones amplíen la evaluación hacia un enfoque multidimensional, incorporando:

- a) Un análisis de sensibilidad del sistema ante escenarios climáticos futuros.
- b) La modelación de costos variables con base en la inflación y en los precios reales del agua.
- c) La evaluación social de la aceptación, la participación comunitaria y el impacto distributivo del SCALL.

El desarrollo de estos estudios complementarios permitirá refinar los indicadores de viabilidad técnica, económica y social, y contribuir al diseño de políticas públicas de fomento e incentivos que fortalezcan la adopción masiva de tecnologías de captación pluvial en zonas urbanas semiáridas. En conjunto, los resultados de esta investigación reafirman que el SCALL, apoyado por esquemas de cooperación y subsidio, puede consolidarse como una solución estratégica para la resiliencia hídrica urbana, integrando beneficios ambientales, económicos y sociales en la gestión sostenible del agua.

Referencias

1. Ali, S., & Sang, Y.-F. (2022). Implementing rainwater harvesting systems as a novel approach for saving water and energy in flat urban areas. *Sustainable Cities and Society*, Volume 89, 104304. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104304>
2. Allan, T. (2011). *Virtual water: Tackling the threat to our planet's most precious resource*. I.B. Tauris.
3. Ávila, J., Cerón, D., & Esteban, K. (2021). Diseño e implementación de un sistema de captación de agua de lluvia en la Universidad Politécnica de Juventino Rosas [Tesis de licenciatura, Universidad Politécnica de Juventino Rosas].
4. Banco Mundial (2022). *Water resources management*. World Bank. <https://www.worldbank.org/en/topic/waterresourcesmanagement>
5. Belmeziti, A. (2024). Assessing rainwater harvesting scenarios to mitigate potable water storage needs in Algerian individual houses under intermittent supply. *Journal of Environmental Management*, 370, 122466. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.122466>
6. Berrelleza Rendón, A. (2021). Evaluación de la adopción social de Sistemas de Captación de Agua de Lluvia (SCALL) en El Cópore, Zinacantepec, Estado de México [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco].
7. Bigurra-Alzati, C. A., Lucho-Constantino, C. A., Lizárraga-Mendiola, L. G., & Martínez-Ortiz, J. A. (2020). Alternativas para contrarrestar los efectos del sellado antropogénico del suelo. *Pädi: Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 8(15), 56–62. <https://doi.org/10.29057/icbi.v8i15.5241>
8. Bitterman, P., Tate, E., Van Meter, K. J., & Basu, N. B. (2016). Water security and rainwater harvesting: A conceptual framework and candidate indicators. *Applied Geography*, 76, 75–84.
9. Campisano, A., & Modica, C. (2012). Optimal sizing of storage tanks for domestic rainwater harvesting in Sicily. *Resources, Conservation and Recycling*, 63, 9–16. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.03.007>
10. Cantú Vela, N. C., Estrada Bouchot, A. E., & Martínez García-Sancho, E. R. (2020). Problemáticas de la adopción socio-tecnológica en programas sociales. El caso de los Sistemas de Captación de Agua de Lluvia en la CDMX [Informe técnico]. UAM.
11. 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>
12. Centeno Reyes, P. K., & Gamboa Espinoza, J. M. (2024). Propuesta de un prediseño de sistema de captación de agua de lluvia SCALL para uso agropecuario en Costa Rica [Tesis]. Universidad de Costa Rica.

13. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Programa Nacional Hídrico 2020–2024. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/conagua>
14. Consejo Consultivo del Agua, A. C. (2021). Informe nacional del agua 2021: El agua en México, retos y oportunidades. Consejo Consultivo del Agua. <https://www.aguas.org.mx/publicaciones/informe-nacional-del-agua-2021.pdf>
15. Cortés-Alcaraz, S. A., Ramírez-Rivera, M. P., Chung-Alonso, P., & Arceo-Díaz, S. (2021). Captación de lluvia como alternativa para el ahorro de agua potable. *Revista CienciaUANL*, 24(107), 8–15.
16. De la Cruz, U., & Gleason, J. (2018). Beneficios económicos de implementar un sistema de captación de agua de lluvia en la Universidad de Guadalajara. *Vivienda y Comunidades Sustentables*, 4, 11–20.
17. De Sá Silva, A. C. R., Bimbato, A. M., Balestieri, J. A. P., & Vilanova, M. R. N. (2022). Exploring environmental, economic and social aspects of rainwater harvesting systems: A review. *Sustainable Cities and Society*, 76, 103475. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103475>
18. El ciclo hidrológico. (2023, 24 marzo). Administración Nacional Oceánica y Atmosférica. Recuperado 25 de noviembre de 2025, de <https://www.noaa.gov/jetstream/atmosphere/hydro>
19. Fuentes-Galván, M., Medel, J. O., & Hernández, L. A. (2018). Roof Rainwater Harvesting in Central Mexico: Uses, Benefits, and Factors of Adoption. *Water*, 10(2), 116. <https://doi.org/10.3390/w10020116>
20. Gobierno del Estado de Guanajuato. (2022). Programa Estatal Hídrico 2022–2040. Comisión Estatal del Agua de Guanajuato (CEAG). <https://ceag.guanajuato.gob.mx>
21. Gobierno de México. (2023). Aguas en México: ¿escasez o mala gestión? Resumen ejecutivo. Instituto Mexicano para la Competitividad (IMCO). https://imco.org.mx/wp-content/uploads/2023/02/Resumen-ejecutivo_Aguas-en-Mexico.pdf
22. Gómez-Nava, M. J. (2023). Aceptación de opciones alternas de fuentes de agua: el caso de la Ciudad de México [Tesis/informe]. Red del Agua / UNAM. <https://agua.org.mx/biblioteca/tesis-aceptacion-de-opciones-alternas-de-fuentes-de-agua-el-caso-de-la-ciudad-de-mexico-unam/>
23. Herrera Franco, G., Carrión-Mero, P., Montalván-Burbano, N., Mora-Frank, C., & Berrezueta, E. (2022). Bibliometric Analysis of Groundwater's Life Cycle Assessment Research. *Water*, 14(7), 1082. <https://doi.org/10.3390/w14071082>
24. Imteaz, M. A., Bayatvarkeshi, M., & Karim, M. R. (2021). Developing Generalised Equation for the Calculation of PayBack Period for Rainwater Harvesting Systems. *Sustainability*, 13(8), 4266. <https://doi.org/10.3390/su13084266>

25. Instituto de Investigaciones Tecnológicas del Agua, A.C. (IITAAC). (2023, abril 13). Sistemas de captación de agua de lluvia. IITAAC. <https://www.iitaac.org.mx/sistemas-de-captacion-de-agua-de-lluvia/>
26. Infobae. (2021, marzo 3). Así puedes obtener en CDMX el subsidio de 50% para un sistema de captación de lluvia. Infobae. <https://www.infobae.com/america/mexico/2021/03/03/asi-puedes-obtener-en-cdmx-el-subsidio-de-50-para-obtener-un-sistema-de-captacion-de-lluvia/>
27. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua [IMTA]. (2021). Manual de captación de agua de lluvia. IMTA.
28. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2023). Estadísticas del Agua en México 2023. INEGI. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825197376>
29. Istchuk, R. N., & Ghisi, E. (2023). Influence of Design Variables on the Financial Feasibility of Rainwater Harvesting Systems. *Water*, 15(6), 1112. <https://doi.org/10.3390/w15061112>
30. Jamal, A. H. M. S. I. M., et al. (2023). Development of a fabricated first-flush rainwater harvested technology to meet freshwater scarcity in Dhaka, Bangladesh. *Heliyon*, 9(1), e13027. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13027>
31. Kagan, J. (2025, abril 5). Payback Period: Definition, Formula, and Calculation. Investopedia. <https://www.investopedia.com/terms/p/paybackperiod.asp>
32. Leveque, B., Irakiza Shyaka, A., Ndong, M., Jalbert, J., Burnet, J.-B., Kammoun, R., Dorner, S., & Bichai, F. (2024). Assessing the vulnerability of urban drinking water intakes to water scarcity under global change: A bottom-up approach. *Environmental Challenges*, 15, 100885. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2024.100885>
33. Liu, Y., Li, G., Zeng, P., Zhang, X., Tian, T., Feng, H., & Che, Y. (2022). Challenge of rainwater harvesting in Shanghai, China: A public psychological perspective. *Journal of Environmental Management*, 318, 115584. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115584>
34. Lizárraga-Mendiola, L., Bigurra-Alzati, C. A., Lagarda-García, F. O., Montiel-Palma, S., & Del Refugio González-Sandoval, M. (2018). Las tecnologías de bajo impacto como alternativa para aprovechar el agua de lluvia en viviendas unifamiliares. *PÄDI Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 5(10). <https://doi.org/10.29057/icbi.v5i10.2933>
35. López-Hernández, N. A., Palacios-Vélez, O. L., Anaya-Garduño, M., Chávez-Morales, J., Rubiños-Panta, J. E., & García-Carrillo, M. (2017). Diseño de sistemas de captación del agua de lluvia: alternativa de abastecimiento hídrico. <https://www.redalyc.org/journal/2631/263153306016/html/>
36. Manjarrez Hernández, D. (2020). Propuesta de implementación de un sistema de captación de agua de lluvia (SCALL) en la Facultad de Odontología de la

Universidad Autónoma del Estado de México.
<http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/111970>

37. Martínez-Saldaña, T., Ortiz-Álvarez, M., & Ramírez-Soto, R. (2021). Gestión del agua y sustentabilidad hídrica en regiones áridas de México. En A. H. López & L. García (Eds.), *Agua y desarrollo sostenible en contextos rurales* (pp. 85–104). Universidad Autónoma Chapingo.
38. Morales Rojas, E. (2021). Validación técnica y económica de un sistema de captación y tratamiento de agua de lluvia diseñado para su uso masificado en comunidades nativas. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía]. <https://repositorio.concytec.gob.pe/handle/20.500.12390/3189>
39. Nandi, S., & Gonela, V. (2022). Rainwater harvesting for domestic use: A systematic review and outlook from the utility policy and management perspectives. *Utilities Policy*, 77, 101383. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2022.101383>
40. Organización de las Naciones Unidas (ONU-Hábitat). (2020). *Guía de planificación urbana integrada*. United Nations Human Settlements Programme.
41. Pérez Ortega, V. (2021). Oportunidades y retos del programa Cosecha de Lluvia de la Ciudad de México, 2020 [Tesis de Maestría, UNAM, Instituto de Ingeniería]. <https://repositorio.unam.mx/contenidos/3627301>
42. Puppala, H., Ahuja, J., Tamvada, J. P., & Peddinti, P. R. T. (2023). New technology adoption in rural areas of emerging economies: The case of rainwater harvesting systems in India. *Technological Forecasting and Social Change*, 196, 122832. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122832>
43. Quintanar, C. T., Kurek, R. K. M., Correa, C. G., & Álvarez, J. C. C. (2022). ¿Cómo hacer un Sistema de Captación de Agua de Lluvia (SCALL) en mi escuela? <https://doi.org/10.24850/b-imta-2022-06>
44. 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, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2014/721357>
45. Ranaee, E., Abbasi, A. A., Tabatabaee Yazdi, J., & Ziyadee, M. (2021). Feasibility of rainwater harvesting and consumption in a Middle Eastern semiarid urban area. *Water*, 13(15), 2130. <https://doi.org/10.3390/w13152130>
46. Requejo Salazar, J. M. (2019, noviembre 22). Sistema de captación de agua pluvial en una vivienda unifamiliar para fines sanitarios y uso doméstico en la ciudad de Jaén – Perú [Tesis de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Jaén].
47. Richards, S., Rao, L., Connelly, S., Raj, A., Raveendran, L., & Helliwell, R. (2021). Sustainable water resources through harvesting rainwater and the effectiveness of a low-cost water treatment. *Journal of Environmental Management*, 286, 112223. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112223>

48. Sample, D. J., & Liu, J. (2014). Optimizing rainwater harvesting systems for the dual purposes of water supply and runoff capture. *Journal of Cleaner Production*, 75, 174–194. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.03.075>
49. Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México (SEDEMA), Isla Urbana, Instituto Internacional de Recursos Renovables (irri). (2020). Cosechar la lluvia: Manual para instalarlo en tu vivienda. Sedema/iu/irri.
50. Severis, R. M., Silva, F. A. D., Wahrlich, J., Skoronski, E., & Simioni, F. J. (2019). Economic analysis and risk-based assessment of the financial losses of domestic rainwater harvesting systems. *Resources, Conservation and Recycling*, 146, 206–217. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.03.040>
51. Servicio Meteorológico Nacional (SMN). (s.f.). Normales climatológicas por estado. Comisión Nacional del Agua. Recuperado el 12 de junio de 2026, de Normales climatológicas por estado
52. Simbaña, I., Quitiaquez, W., Ramírez, L., & Saquina, D. (2022). Estudio de viabilidad de un sistema de captación de agua lluvia en Guamaní – Quito. *Revista Científica Unanchay*, 1(1), 47–63.
53. Słyś, D., & Stec, A. (2020). Centralized or Decentralized Rainwater Harvesting Systems: A Case Study. *Resources*, 9(1), 5. <https://doi.org/10.3390/resources9010005>
54. Soares, D., & Valdés-Rodríguez, O. A. (2024). El impacto de la cosecha de agua de lluvia en la calidad de vida de mujeres rurales mejicanas. *Teuken Bidikay*, 15(24). <https://doi.org/10.33571/teuken.v15n24a7>
55. Solórzano-Villarreal, J. O., Gómez-Núñez, J., & Peñaranda-Osorio, C. V. (2019). Metodología para estimar la relación de consumo y captación de agua lluvia en un edificio en la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 10(6), 178–196. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2019-06-07>
56. Tagle Zamora, D., Azamar Alonso, A., & Caldera Ortega, A. (2018). Contribuciones hídricas y económicas de la cosecha de agua de lluvia en viviendas del municipio de León, Guanajuato. En *El modelo económico y su influencia en el desarrollo sustentable de cinco municipios de Guanajuato*. Redalyc.
57. Tecnológico de Monterrey. (2022). Captación de agua de lluvia, una solución que nos cae del cielo. *Futuro Ciudades*. <https://futurociudades.tec.mx/es/captacion-de-agua-de-lluvia>
58. Torres, J. M., & Guevara, A. (2024, agosto 22). Algunas bondades de los sistemas de captación de agua de lluvia [Artículo en línea]. CENTRUS. <https://centrus.iberomex.mx/index.php/2024/08/22/algunas-bondades-de-los-sistemas-de-captacion-de-agua-de-lluvia/>

59. Torres, R. (2019). *La captación del agua de lluvia como solución en el pasado y el presente. Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, XL(2).
60. UNESCO. (2021). *Informe Mundial sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2021: El valor del agua*. UNESCO.
61. United Nations. (2023). *Agua | Naciones Unidas*. <https://www.un.org/es/global-issues/water>
62. Valdivielso, A. (2024, mayo 23). *¿Qué son las aguas pluviales? iAgua*. <https://www.iagua.es/respuestas/que-son-aguas-pluviales>
63. Vardon, M. J., Le, T. H. L., Martinez-Lagunes, R., Pule, O. B., Schenau, S., May, S., & 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>
64. 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>
65. World Health Organization (WHO). (2023, septiembre 13). *Agua para consumo humano*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
66. Zamora, D. T., Ortega, A. C., & González, J. A. R. (2022). *Evaluación de un sistema de captación de agua de lluvia en una empresa de León, Guanajuato. Vivienda y Comunidades Sustentables*, (12), 147–163.

Anexos

Anexo 1:

Nº	Módulo	Material / Elemento	Unidad de medida	Precio a costo directo (\$)
1	Canaletas y fijaciones	Canaletas	m	\$ 169.33
		Abrazaderas	pza	\$ 30.00
		Tornillos	pza	\$ 0.45
		Taquetes	pza	\$0.60
2	Bajada de agua pluvial	Tubo PVC Ø 2"	m	\$ 103.16
		Codo PVC 90°	pza	\$24.00
		Codo PVC 45°	pza	\$ 20.00
		Tee PVC	pza	\$ 24.00
		Pegamento para PVC	L	\$ 119.00
		Abrazadera para PVC	pza	\$ 20.00
		Lija para uniones	pza	\$ 22.00
		Tela mosquitera	m²	\$50.00
		Separador de primeras lluvias	pza	\$ 2300.00
		Tornillos y taquetes	pza	\$ 1.05
		Tanque de almacenamiento	pza	\$20,000.0/1500.0
3 4	Almacenamiento de agua recolectada Salida de servicio (distribución y tratamiento)	Cople de unión	pza	\$ 56.00
		Reductor de turbulencia	pza	\$ 700.00
		Bomba sumergible	pza	\$ 2497.00
		Conector de estanque	pza	\$ 19.00
		Tubo PVC Ø 2"	m	\$ 22.30
		Tubo PVC Ø 1"	m	\$ 21.67
		Clorador	pza	\$ 689.00
		Cople reductor 1" a 2"	pza	\$ 14.00
		Codo PVC 90°	pza	\$ 11.00
		Filtro de carbón activado	pza	\$ 1392.00
		Pegamento para PVC	L	\$ 119.00
		Lija para uniones	pza	\$ 22.00
		Tubo PVC Ø 4"	m	\$ 33.33
		Codo PVC Ø 4" a 90°	pza	\$ 24.00
		Tela mosquitera	m²	\$ 50.00
		Cubeta 20 L	pza	\$ 100.00
		Pegamento para PVC	L	\$ 119.00
		Lija para uniones	pza	\$ 22.00
5	Rebosadero			

Nº	Módulo	Material / Elemento	Unidad de medida	Precio a costo directo (\$)
6	Salida de desfogue	Tubo PVC Ø 1"	m	\$ 21.57
		Codo PVC Ø 1"	pza	\$ 11.00
		Válvula de globo Ø 1"	pza	\$ 99.00
		Pegamento para PVC	L	\$ 119.00
		Lija para uniones	pza	\$ 22.00
		Abrazadera Ø 1"	pza	\$ 3.00
		Tornillos y taquetes	pza	\$ 1.05

Anexo 2:

Demanda diaria total ideal en casa unifamiliar, cálculo de precipitaciones y diámetros de tuberías, así como de la canaleta.

	LPD	PERSONAS	LP	M3
Demanda Diaria total =	125	3.6	450	0.45

CÁLCULO DE LA DEMANDA MENSUAL												
MES	ENE	FEB	MAR	ABRIL	MAYO	JUN	JUL	AGOSTO	SEP	OCTUBRE	NOV	DIC
DIAS	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
M3	13.95	12.6	13.95	13.5	13.95	13.5	13.95	13.95	13.5	13.95	13.5	13.95

Cálculo del volumen de captación

	B	H	
AREA DEL TECHO =	6.434	6.434	41.396356
KC =			0.765

PRECIPITACION PROMEDIO AL MES (MM)												
MES	ENE	FEB	MAR	ABRIL	MAYO	JUN	JUL	AGOSTO	SEP	OCTUBRE	NOV	DIC
DIAS	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
MM	30.40	28.20	46.01	53.15	79.04	91.14	94.56	90.69	73.91	49.99	37.86	38.84

CÁLCULO DEL VOLUMEN DE CÁPTACION MENSUAL												
MES	ENE	FEB	MAR	ABRIL	MAYO	JUN	JUL	AGOSTO	SEP	OCTUBRE	NOV	DIC
M3	0.963	0.893	1.457	1.683	2.503	2.886	2.995	2.872	2.341	1.583	1.199	1.230

DIMENSIONAMIENTO DE BAJADAS DE AGUA Y CANALETAS

LONGITUD =	6.434	M
------------	-------	---

Nbajadas =	2
------------	---

Longitud del tramo =	3.217	m
Longitud otro lado =	6.434	m

Ad =	20.698178
------	-----------

Diámetro de tubería de bajadas =	1.67422521	pulgadas
----------------------------------	------------	----------

Diámetro de canaletas =	2.53408544	pulgadas
-------------------------	------------	----------

VOLUMEN DE PRIMERAS AGUAS A ELIMINAR

V _e , total (m3) =	0.107630526	m3	107.630526	litros
-------------------------------	-------------	----	------------	--------

Anexo 3:

Demanda diaria total real en casa unifamiliar, cálculo de precipitaciones y diámetros de tuberías, así como de la canaleta

	LPD	PERSONAS	LP	M3
Demanda Diaria total =	42	3.6	151.2	0.1512

CÁLCULO DE LA DEMANDA MENSUAL												
MES	ENE	FEB	MAR	ABRIL	MAYO	JUN	JUL	AGOSTO	SEP	OCTUBRE	NOV	DIC
DÍAS	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
M3	4.6872	4.2336	4.6872	4.536	4.6872	4.536	4.6872	4.6872	4.536	4.6872	4.536	4.6872

Cálculo del volumen de captación

	B	H			
AREA DEL TECHO =	6.434	6.434	41.39636	9.2628	2.573
KC =			0.765		

PRECIPITACION PROMEDIO AL MES (MM)												
MES	ENE	FEB	MAR	ABRIL	MAYO	JUN	JUL	AGOSTO	SEP	OCTUBRE	NOV	DIC
DÍAS	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
MM	30.40	28.20	46.01	53.15	79.04	91.14	94.56	90.69	73.91	49.99	37.86	38.84

CÁLCULO DEL VOLUMEN DE CAPTACION MENSUAL												
MES	ENE	FEB	MAR	ABRIL	MAYO	JUN	JUL	AGOSTO	SEP	OCTUBRE	NOV	DIC
M3	0.963	0.893	1.457	1.683	2.503	2.886	2.995	2.872	2.341	1.583	1.199	1.230

DIMENSIONAMIENTO DE BAJADAS DE AGUA Y CANALETAS

LONGITUD =	6.434	M
------------	-------	---

Nbajadas =	2	Longitud del tramo =	3.217	m
		Longitud otro lado =	6.434	m

Ad =	20.63618
------	----------

metro de tubería de bajad	1.674225	pulgadas
---------------------------	----------	----------

Diámetro de canaletas =	2.534085	pulgadas
-------------------------	----------	----------

VOLUMEN DE PRIMERAS AGUAS A ELIM

V e, total (m	0.107631	m3	107.6305	litros
---------------	----------	----	----------	--------

Anexo 4:

Demanda diaria total ideal en casa dúplex, cálculo de precipitaciones y diámetros de tuberías, así como de la canaleta.

	LPD	PERSONAS	LP	M3
Demanda Diaria total =	125	7.2	900	0.9

CÁLCULO DE LA DEMANDA MENSUAL												
MES	ENE	FEB	MAR	ABRIL	MAYO	JUN	JUL	AGOSTO	SEP	OCTUBRE	NOV	DIC
DÍAS	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
M3	27.9	25.2	27.9	27	27.9	27	27.9	27.9	27	27.9	27	27.9

Cálculo del volumen de captación

	B	H	
AREA DEL TECHO =	7.629	7.628	58.194012
KC =			0.765

PRECIPITACION PROMEDIO AL MES (MM)												
MES	ENE	FEB	MAR	ABRIL	MAYO	JUN	JUL	AGOSTO	SEP	OCTUBRE	NOV	DIC
DÍAS	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
MM	30.40	28.20	46.01	53.15	79.04	91.14	94.56	90.69	73.91	49.99	37.86	38.84

CÁLCULO DEL VOLUMEN DE CÁPTACION MENSUAL												
MES	ENE	FEB	MAR	ABRIL	MAYO	JUN	JUL	AGOSTO	SEP	OCTUBRE	NOV	DIC
M3	1.353	1.255	2.048	2.366	3.519	4.058	4.210	4.037	3.291	2.225	1.685	1.729

DIMENSIONAMIENTO DE BAJADAS DE AGUA Y CANALETAS

LONGITUD =	7.629	M
------------	-------	---

Nbajadas =	2	Longitud del tramo =	3.8145	m
Ad =	29.097006	Longitud otro lado =	7.628	m

Netro de tubería de bajad	1.98505238	pulgadas
---------------------------	------------	----------

Diámetro de canaletas =	3.00454939	pulgadas
-------------------------	------------	----------

VOLUMEN DE PRIMERAS AGUAS A ELIMIN.

V e, total (m	0.15130443	m3	151.304431	litros
---------------	------------	----	------------	--------

Anexo 5:

Demanda diaria total real en casa dúplex, cálculo de precipitaciones y diámetros de tuberías, así como de la canaleta.

	LPD	PERSONAS	LP	M3
Demanda Diaria total =	42	7.2	302.4	0.3024

CALCULO DE LA DEMANDA MENSUAL												
MES	ENE	FEB	MAR	ABRIL	MAYO	JUN	JUL	AGOSTO	SEP	OCTUBRE	NOV	DIC
DIAS	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
M3	9.3744	8.4672	9.3744	9.072	9.3744	9.072	9.3744	9.3744	9.072	9.3744	9.072	9.3744

Cálculo del volumen de captación

	B	H	
AREA DEL TECHO =	7.629	7.628	58.194012
KC =			0.765

PRECIPITACION PROMEDIO AL MES (MM)												
MES	ENE	FEB	MAR	ABRIL	MAYO	JUN	JUL	AGOSTO	SEP	OCTUBRE	NOV	DIC
DIAS	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
MM	30.40	28.20	46.01	53.15	79.04	91.14	94.56	90.69	73.91	49.99	37.86	38.84

CÁLCULO DEL VOLUMEN DE CÁPTACION MENSUAL												
MES	ENE	FEB	MAR	ABRIL	MAYO	JUN	JUL	AGOSTO	SEP	OCTUBRE	NOV	DIC
M3	1.353	1.255	2.048	2.366	3.519	4.058	4.210	4.037	3.291	2.225	1.685	1.729

DIMENSIONAMIENTO DE BAJADAS DE AGUA Y CANALETAS

LONGITUD =	7.629	M
------------	-------	---

Nbajadas =	2	Longitud del tramo =	3.8145	m
Ad =	29.097006	Longitud otro lado=	7.628	m

Diámetro de tubería de baja	1.98505238	pulgadas
-----------------------------	------------	----------

Diámetro de canaletas	3.00454939	pulgadas
-----------------------	------------	----------

VOLUMEN DE PRIMERAS AGUAS A ELIMINAR

V e, total (n)	0.15130443	m3	151.304431	litros
----------------	------------	----	------------	--------

Anexo 6:

Demanda diaria total ideal en casa triplex, cálculo de precipitaciones y diámetros de tuberías, así como de la canaleta.

	LPD	PERSONAS	LP	M3
Demanda Diaria total =	125	10.8	1350	1.35

CALCULO DE LA DEMANDA MENSUAL												
MES	ENE	FEB	MAR	ABRIL	MAYO	JUN	JUL	AGOSTO	SEP	OCTUBRE	NOV	DIC
DIAS	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
M3	41.85	37.8	41.85	40.5	41.85	40.5	41.85	41.85	40.5	41.85	40.5	41.85

Cálculo del volumen de captación

	B	H	
AREA DEL TECHO =	5.72	5.715	32.6898
KC =			0.765

PRECIPITACION PROMEDIO AL MES (MM)												
MES	ENE	FEB	MAR	ABRIL	MAYO	JUN	JUL	AGOSTO	SEP	OCTUBRE	NOV	DIC
DIAS	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
MM	30.40	28.20	46.01	53.15	79.04	91.14	94.56	90.69	73.91	49.99	37.86	38.84

CÁLCULO DEL VOLUMEN DE CÁPTACION MENSUAL												
MES	ENE	FEB	MAR	ABRIL	MAYO	JUN	JUL	AGOSTO	SEP	OCTUBRE	NOV	DIC
M3	0.760	0.705	1.151	1.329	1.977	2.279	2.365	2.268	1.848	1.250	0.947	0.971

DIMENSIONAMIENTO DE BAJADAS DE AGUA Y CANALETAS

LONGITUD =	5.72	M
------------	------	---

Nbajadas =	1
------------	---

Longitud del tramo =	5.72	m
Longitud otro lado =	5.715	m

Ad =	32.6898
------	---------

metro de tubería de bajad	2.1040398	pulgadas
---------------------------	-----------	----------

Diametro de canaletas =	3.1846472	pulgadas
-------------------------	-----------	----------

VOLUMEN DE PRIMERAS AGUAS A ELIMINAR

V _e , total (m ³)	0.0849935	m ³	84.99348	litros
--	-----------	----------------	----------	--------

Anexo 7:

Demanda diaria total real en casa triplex, cálculo de precipitaciones y diámetros de tuberías, así como de la canaleta.

	LPD	PERSONAS	LP	M3
Demanda Diaria total =	42	10.8	453.6	0.4536

CÁLCULO DE LA DEMANDA MENSUAL												
MES	ENE	FEB	MAR	ABRIL	MAYO	JUN	JUL	AGOSTO	SEP	OCTUBRE	NOV	DIC
DIAS	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
M3	14.0616	12.7008	14.0616	13.608	14.0616	13.608	14.0616	14.0616	13.608	14.0616	13.608	14.0616

Cálculo del volumen de captación

	B	H	
AREA DEL TECHO =	5.72	5.715	32.6898
KC =			0.765

PRECIPITACION PROMEDIO AL MES (MM)												
MES	ENE	FEB	MAR	ABRIL	MAYO	JUN	JUL	AGOSTO	SEP	OCTUBRE	NOV	DIC
DIAS	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
MM	30.40	28.20	46.01	53.15	79.04	91.14	94.56	90.69	73.91	49.99	37.86	38.84

CÁLCULO DEL VOLUMEN DE CÁPTACION MENSUAL												
MES	ENE	FEB	MAR	ABRIL	MAYO	JUN	JUL	AGOSTO	SEP	OCTUBRE	NOV	DIC
M3	0.760	0.705	1.151	1.329	1.977	2.279	2.365	2.268	1.848	1.250	0.947	0.971

DIMENSIONAMIENTO DE BAJADAS DE AGUA Y CANALETAS

LONGITUD =	5.72	M
------------	------	---

Nbajadas =	1	Longitud del tramo =	5.72	m
		Longitud otro lado=	5.715	m

Ad =	32.6898
------	---------

metro de tubería de bajad	2.1040398	pulgadas
---------------------------	-----------	----------

Diámetro de canaletas =	3.1846472	pulgadas
-------------------------	-----------	----------

VOLUMEN DE PRIMERAS AGUAS A ELIMINAR

V e, total (m3)	0.0849935	m3	84.99348	litros
-----------------	-----------	----	----------	--------

Anexo 8:

Demanda diaria total ideal en casa cuádruplex, cálculo de precipitaciones y diámetros de tuberías, así como de la canaleta.

	LPD	PERSONAS	LP	M3
Demanda Diaria total =	125	14.4	1800	1.8

CALCULO DE LA DEMANDA MENSUAL												
MES	ENE	FEB	MAR	ABRIL	MAYO	JUN	JUL	AGOSTO	SEP	OCTUBRE	NOV	DIC
DIAS	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
M3	55.8	50.4	55.8	54	55.8	54	55.8	55.8	54	55.8	54	55.8

Cálculo del volumen de captación

	B	H	
AREA DEL TECHO =	4.64	4.64	21.5296
KC =			0.765

PRECIPITACION PROMEDIO AL MES (MM)												
MES	ENE	FEB	MAR	ABRIL	MAYO	JUN	JUL	AGOSTO	SEP	OCTUBRE	NOV	DIC
DIAS	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
MM	30.40	28.20	46.01	53.15	79.04	91.14	94.56	90.69	73.91	49.99	37.86	38.84

CÁLCULO DEL VOLUMEN DE CÁPTACION MENSUAL												
MES	ENE	FEB	MAR	ABRIL	MAYO	JUN	JUL	AGOSTO	SEP	OCTUBRE	NOV	DIC
M3	0.501	0.464	0.758	0.875	1.302	1.501	1.557	1.494	1.217	0.823	0.624	0.640

DIMENSIONAMIENTO DE BAJADAS DE AGUA Y CANALETAS

LONGITUD =	4.64	M
------------	------	---

Nbajadas =	1	Longitud del tramo =	4.64	m
		Longitud otro lado=	4.64	m

Ad =	21.5296
------	---------

metro de tubería de bajad	1.70752	pulgadas
---------------------------	---------	----------

Diámetro de canaletas =	2.58448	pulgadas
-------------------------	---------	----------

VOLUMEN DE PRIMERAS AGUAS A ELIMIN

V e, total (m	0.055977	m3	55.97696	litros
---------------	----------	----	----------	--------

Anexo 9:

Demanda diaria total real en casa cuádruplex, cálculo de precipitaciones y diámetros de tuberías, así como de la canaleta.

	LPD	PERSONAS	LP	M3
Demanda Diaria total =	42	14.4	604.8	0.6048

CALCULO DE LA DEMANDA MENSUAL												
MES	ENE	FEB	MAR	ABRIL	MAYO	JUN	JUL	AGOSTO	SEP	OCTUBRE	NOV	DIC
DIAS	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
M3	18.7488	16.9344	18.7488	18.144	18.7488	18.144	18.7488	18.7488	18.144	18.7488	18.144	18.7488

Cálculo del volumen de captación

	B	H	
AREA DEL TECHO =	4.64	4.64	21.5296
KC =			0.765

PRECIPITACION PROMEDIO AL MES (MM)												
MES	ENE	FEB	MAR	ABRIL	MAYO	JUN	JUL	AGOSTO	SEP	OCTUBRE	NOV	DIC
DIAS	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
MM	30.40	28.20	46.01	53.15	79.04	91.14	94.56	90.69	73.91	49.99	37.86	38.84

CÁLCULO DEL VOLUMEN DE CÁPTACION MENSUAL												
MES	ENE	FEB	MAR	ABRIL	MAYO	JUN	JUL	AGOSTO	SEP	OCTUBRE	NOV	DIC
M3	0.501	0.464	0.758	0.875	1.302	1.501	1.557	1.494	1.217	0.823	0.624	0.640

DIMENSIONAMIENTO DE BAJADAS DE AGUA Y CANALETAS

LONGITUD =	4.64	M
------------	------	---

Nbajadas =	1
------------	---

Longitud del tramo =	4.64	m
Longitud otro lado=	4.64	m

Ad =	21.5296
------	---------

Diametro de tuberia de bajadas =	1.70752	pulgadas
----------------------------------	---------	----------

Diametro de canaletas =	2.58448	pulgadas
-------------------------	---------	----------

VOLUMEN DE PRIMERAS AGUAS A ELIMINAR

V e, total (m3) =	0.055977	m3	55.97696	litros
-------------------	----------	----	----------	--------

Anexo 10:

Demanda diaria total ideal en comercios, cálculo de precipitaciones y diámetros de tuberías, así como de la canaleta.

	LPD	PERSONAS	LP	M3
Demanda Diaria total =	40	4	160	0.16

CALCULO DE LA DEMANDA MENSUAL												
MES	ENE	FEB	MAR	ABRIL	MAYO	JUN	JUL	AGOSTO	SEP	OCTUBRE	NOV	DIC
DÍAS	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
M3	4.96	4.48	4.96	4.8	4.96	4.8	4.96	4.96	4.8	4.96	4.8	4.96

Cálculo del volumen de captación

	B	H	
AREA DEL TECHO =	8.66	8.66	74.9956
KC =			0.765

PRECIPITACION PROMEDIO AL MES (MM)												
MES	ENE	FEB	MAR	ABRIL	MAYO	JUN	JUL	AGOSTO	SEP	OCTUBRE	NOV	DIC
DÍAS	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
MM	30.40	28.20	46.01	53.15	79.04	91.14	94.56	90.69	73.91	49.99	37.86	38.84

CÁLCULO DEL VOLUMEN DE CÁPTACION MENSUAL												
MES	ENE	FEB	MAR	ABRIL	MAYO	JUN	JUL	AGOSTO	SEP	OCTUBRE	NOV	DIC
M3	1.744	1.618	2.640	3.049	4.534	5.229	5.425	5.203	4.241	2.868	2.172	2.229

DIMENSIONAMIENTO DE BAJADAS DE AGUA Y CANALETAS

LONGITUD =	8.66	M
------------	------	---

Nbajadas =	2
------------	---

Longitud del tramo =	4.33	m
Longitud otro lado=	8.66	m

Ad =	37.4978
------	---------

metro de tubería de bajad	2.2534645	pulgadas
---------------------------	-----------	----------

Diámetro de canaletas =	3.4108144	pulgadas
-------------------------	-----------	----------

LUMEN DE PRIMERAS AGUAS A ELIMIN

V e, total (m	0.1949886	m3	194.98856	litros
---------------	-----------	----	-----------	--------

Anexo 11:

Demanda diaria total real en comercios, cálculo de precipitaciones y diámetros de tuberías, así como de la canaleta.

	LPD	PERSONAS	LP	M3
Demanda Diaria total =	17	4	68	0.068

CÁLCULO DE LA DEMANDA MENSUAL												
MES	ENE	FEB	MAR	ABRIL	MAYO	JUN	JUL	AGOSTO	SEP	OCTUBRE	NOV	DIC
DIAS	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
M3	2.108	1.904	2.108	2.04	2.108	2.04	2.108	2.108	2.04	2.108	2.04	2.108

Cálculo del volumen de captación

	B	H	
AREA DEL TECHO =	8.66	8.66	74.9956
KC =			0.765

PRECIPITACION PROMEDIO AL MES (MM)												
MES	ENE	FEB	MAR	ABRIL	MAYO	JUN	JUL	AGOSTO	SEP	OCTUBRE	NOV	DIC
DIAS	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
MM	30.40	28.20	46.01	53.15	79.04	91.14	94.56	90.69	73.91	49.99	37.86	38.84

CÁLCULO DEL VOLUMEN DE CÁPTACION MENSUAL												
MES	ENE	FEB	MAR	ABRIL	MAYO	JUN	JUL	AGOSTO	SEP	OCTUBRE	NOV	DIC
M3	1.744	1.618	2.640	3.049	4.534	5.229	5.425	5.203	4.241	2.868	2.172	2.229

DIMENSIONAMIENTO DE BAJADAS DE AGUA Y CANALETAS

LONGITUD =	8.66	M
------------	------	---

Nbajadas =	2
------------	---

Longitud del tramo =	4.33	m
Longitud otro lado =	8.66	m

Ad =	37.4978
------	---------

metro de tubería de baja	2.25346446	pulgadas
--------------------------	------------	----------

Diámetro de canaletas =	3.41081441	pulgadas
-------------------------	------------	----------

LUMEN DE PRIMERAS AGUAS A ELIMIN

V e, total (m	0.19498856	m3	194.98856	litros
---------------	------------	----	-----------	--------

Anexo 12:

Demanda diaria total real en servicios, cálculo de precipitaciones y diámetros de tuberías, así como de la canaleta.

	LPD	PERSONAS	LP	M3
Demanda Diaria total =	20	268	5360	5.36

CÁLCULO DE LA DEMANDA MENSUAL												
MES	ENE	FEB	MAR	ABRIL	MAYO	JUN	JUL	AGOSTO	SEP	OCTUBRE	NOV	DIC
DÍAS	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
M3	166.16	150.08	166.16	160.8	166.16	160.8	166.16	166.16	160.8	166.16	160.8	166.16

Cálculo del volumen de captación

	B	H	
AREA DEL TECHO =	33.97	33.97	1153.9609
KC =			0.765

PRECIPITACION PROMEDIO AL MES (MM)												
MES	ENE	FEB	MAR	ABRIL	MAYO	JUN	JUL	AGOSTO	SEP	OCTUBRE	NOV	DIC
DÍAS	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
MM	30.40	28.20	46.01	53.15	79.04	91.14	94.56	90.69	73.91	49.99	37.86	38.84

CÁLCULO DEL VOLUMEN DE CÁPTACION MENSUAL												
MES	ENE	FEB	MAR	ABRIL	MAYO	JUN	JUL	AGOSTO	SEP	OCTUBRE	NOV	DIC
M3	26.832	24.894	40.616	46.917	69.772	80.460	83.476	80.056	65.249	44.127	33.422	34.290

DIMENSIONAMIENTO DE BAJADAS DE AGUA Y CANALETAS

LONGITUD =	33.97	M
------------	-------	---

Nbajadas =	6	Longitud del tramo =	5.66166667	m
		Longitud otro lado=	33.97	m

Ad =	192.326817
------	------------

Diametro de tubería de bajadas =	5.10349555	pulgadas
----------------------------------	------------	----------

Diametro de canaletas =	7.7245843	pulgadas
-------------------------	-----------	----------

VOLUMEN DE PRIMERAS AGUAS A ELIMINAR

V e, total (m3) =	3.00029834	m3	3000.29834	litros
-------------------	------------	----	------------	--------

Anexo 13:

Análisis de costos y periodo de recuperación en una casa tipo unifamiliar considerando el agua para usos potables

CANALETA					Unidad PZA
Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	recio Materi	Importe
Materiales					
	Canaleta 4"	m	6.434	\$106.00	\$682.00
	Abrazadera 4"	PZA	13	\$30.00	\$390.00
	Tornillos #8 X 1-1/2	PZA	26	\$0.45	\$11.57
	Taquetes 1 1/2"	PZA	26	\$0.60	\$15.60
Mano de obra					
		jor			\$0.00
Equipo					
		hr			
			TOTAL=		\$1,099.17

PVC					Unidad PZA
Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	recio Materi	Importe
Materiales					
	Tubo de PVC de 3"	m	6.8255	\$36.00	\$245.72
	Codo de 90° de 3"	PZA	6	\$17.00	\$102.00
	Tee de 3 "	PZA	1	\$24.00	\$24.00
	Codo de 45° de 3 "	PZA	0	\$20.00	\$0.00
	Pegmento para pvc TANGIT TODA PRESIÓN PEGAME	PZA	1	\$119.00	\$119.00
	Abrazaderas de tubo de pvc	PZA	6	\$20.00	\$120.00
	LUA PARA PLOMERO 1 METRO	PZA	1	\$22.00	\$22.00
	TELA MOSQUITERA POR METRO 120 X 100 CM NEG	PZA	1	\$50.00	\$50.00
	SEPARADOR DE PRIMERAS LLUVIAS (TLALOQUITC	PZA	1	\$2,300.00	\$2,300.00
	Tornillos #8 X 1-1/2	PZA	50	\$0.45	\$22.25
	Taquetes 1 1/2"	PZA	50	\$0.60	\$30.00
Mano de obra					
		jor			\$0.00
Equipo					
		hr			
			TOTAL=		\$3,084.97

Tanque de almacenamiento					Unidad PZA
Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	recio Materi	Importe
Materiales					
	Tinaco Dipaj 750 Espados Reducidos 750l Negro	PZA	1.0000	\$2,100.00	\$2,100.00
	Tubo de PVC de 4" (6mts)	m	0.0000	\$33.00	\$0.00
	Pegmento para pvc TANGIT TODA PRESIÓN PEGAME	PZA	0	\$119.00	\$0.00
Mano de obra					
		jor			\$0.00
Equipo					
		hr			
			TOTAL=		

Salida de servicio					Unidad PZA
Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	recio Materi	Importe
Materiales					
	copie de 4" a 3"	PZA	2.0000	\$56.00	\$112.00
	Reductor de Turbulencia LU Axolote	PZA	1.0000	\$700.00	\$700.00
	Bomba Sumergible Evans Para Cisterna 1hp 115w 30	PZA	1.0000	\$2,497.00	\$2,497.00
	Conector estanque de 2"	PZA	1	\$15.00	\$15.00
	Tubo de PVC de 2"	m	0.5	\$22.30	\$11.15
	clorador (Clorador Automático Dispensador De Clor)	PZA	1	\$693.00	\$693.00
	Reduccion de 2" a 1"	PZA	1	\$14.00	\$14.00
	Tubo de 1"	m	2.5	\$21.67	\$54.18
	Codos de 90° de 1"	PZA	2	\$11.00	\$22.00
	Filtro Carbon Activado 1 Pulgada	PZA	1	\$1,392.00	\$1,392.00
	Pegmento para pvc TANGIT TODA PRESIÓN PEGAME	PZA	1	\$119.00	\$119.00
	LUA PARA PLOMERO 1 METRO	PZA	1	\$22.00	\$22.00
Mano de obra					
		jor			\$0.00
Equipo					
		hr			
			TOTAL=		\$5,539.33

REBOSADERO					Unidad PZA
Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	recio Materi	Importe
Materiales					
	Tubo de PVC de 4" (6mts)	m	1.0000	\$33.33	\$33.33
	Codo de 90° de 4"	PZA	2	\$24.00	\$48.00
	TELA MOSQUITERA POR METRO 120 X 100 CM NEG	PZA	1	\$50.00	\$50.00
	cubeta 20 litros	PZA	1	\$100.00	\$100.00
	Pegmento para pvc TANGIT TODA PRESIÓN PEGAME	PZA	1	\$119.00	\$119.00
	LUA PARA PLOMERO 1 METRO	PZA	1	\$22.00	\$22.00
Mano de obra					
		jor			\$0.00
Equipo					
		hr			
			TOTAL=		\$372.33

Salida de desfogue (vaciado completo)					Unidad PZA
Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	recio Materi	Importe
Materiales					
	Tubo de pvc de 1"	M	1.0000	\$21.67	\$21.67
	codo de pvc de 1" 90°	PZA	1	\$11.00	\$11.00
	Valvula globo	PZA	1	\$99.00	\$99.00
	Pegmento para pvc TANGIT TODA PRESIÓN PEGAME	PZA	0	\$119.00	\$0.00
	LUA PARA PLOMERO 1 METRO	PZA	0	\$22.00	\$0.00
	abrazaderas de pvc de 1"	PZA	3	\$3.00	\$9.00
	Tornillos #8 X 1-1/2	PZA	10	\$0.45	\$4.45
	Taquetes 1 1/2"	PZA	10	\$0.60	\$6.00
Mano de obra					
		jor			\$0.00
Equipo					
		hr			
			TOTAL =		\$151.12

TOTAL =

\$12,296.92

Coste de mantenimiento (3%) y costo por adicionales (7%)

\$13,526.61

	AÑOS		FLUJO DE EFECTIVO		FLUJO DE EFECTIVO ACOMULADO	
	0		-\$13,526.61			
	1		\$ 63,743.90		\$ 63,743.90	
	2		\$ 63,743.90		\$ 127,487.80	
	3		\$ 63,743.90		\$ 191,231.70	
	4		\$ 63,743.90		\$ 254,975.60	
	5		\$ 63,743.90		\$ 318,719.50	
	6		\$ 63,743.90		\$ 382,463.39	
	7		\$ 63,743.90		\$ 446,207.29	
	Periodo de recuperacion de la inversión					

0.192911

Anexo 14:

Análisis de costos y periodo de recuperación en una casa tipo unifamiliar considerando el agua para usos no potables

CANALETA						Unidad PZA
Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	precio Material	Importe	
Materiales						
	Canaleta 4"	m	6,434	\$106.00	\$682.00	
	Abrazadera 4"	PZA	13	\$30.00	\$390.00	
	Tornillos #8 X 1-1/2	PZA	26	\$0.45	\$11.57	
	Taquetes 1 1/2"	PZA	26	\$0.60	\$15.60	
Mano de obra						
		Jor			\$0.00	
Equipo						
		hr				
TOTAL=					\$1,099.17	

PVC						Unidad PZA
Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	precio Material	Importe	
Materiales						
	Tubo de PVC de 3"	m	6,8255	\$36.00	\$245.72	
	Codo de 90° de 3"	PZA	6	\$17.00	\$102.00	
	Tee de 3 "	PZA	1	\$24.00	\$24.00	
	Codo de 45° de 3 "	PZA	0	\$20.00	\$0.00	
	Pegmento para pvc TANGIT TODA PRESIÓN PEGAME	PZA	1	\$119.00	\$119.00	
	Abrazaderas de tubo de pvc	PZA	6	\$20.00	\$120.00	
	LUA PARA PLOMERO 1 METRO	PZA	1	\$22.00	\$22.00	
	TELA MOSQUITERA POR METRO 120 X 100 CM NEG	PZA	1	\$50.00	\$50.00	
	SEPARADOR DE PRIMERAS LLUVIAS (TLALOQUITO	PZA	1	\$2,300.00	\$2,300.00	
	Tornillos #8 X 1-1/2	PZA	50	\$0.45	\$22.25	
	Taquetes 1 1/2"	PZA	50	\$0.60	\$30.00	
Mano de obra						
		Jor			\$0.00	
Equipo						
		hr				
TOTAL=					\$3,084.97	

Tanque de almacenamiento						Unidad PZA
Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	precio Material	Importe	
Materiales						
	Tinaco Dipal 750 Espados Reducidos 750l Negro	PZA	1,0000	\$2,100.00	\$2,100.00	
	Tubo de PVC de 4" (6mts)	m	0,0000	\$33.00	\$0.00	
	Pegmento para pvc TANGIT TODA PRESIÓN PEGAME	PZA	0	\$119.00	\$0.00	
Mano de obra						
		Jor			\$0.00	
Equipo						
		hr				

Salida de servicio						Unidad PZA
Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	precio Material	Importe	
Materiales						
	copie de 4" a 3"	PZA	2,0000	\$56.00	\$112.00	
	Reductor de Turbulencia IU Axolote	PZA	1,0000	\$700.00	\$700.00	
	Bomba Sumergible Evans Para Cisterna 1hp 115v 30	PZA	1,0000	\$2,497.00	\$2,497.00	
	Conector estanque de 2"	PZA	1	\$19.00	\$19.00	
	Tubo de PVC de 2"	m	0.5	\$22.30	\$11.15	
	clorador (Clorador Automático Dispensador De Clor)	PZA	1	\$689.00	\$689.00	
	Reduccion de 2" a 1"	PZA	1	\$14.00	\$14.00	
	Tubo de 1"	m	2.5	\$21.67	\$54.18	
	Codos de 90° de 1"	PZA	2	\$11.00	\$22.00	
					\$0.00	
	Pegmento para pvc TANGIT TODA PRESIÓN PEGAME	PZA	1	\$119.00	\$119.00	
	LUA PARA PLOMERO 1 METRO	PZA	1	\$22.00	\$22.00	
Mano de obra						
		Jor			\$0.00	
Equipo						
		hr				
TOTAL=					\$4,147.33	

REBOSADERO						Unidad PZA
Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	precio Material	Importe	
Materiales						
	Tubo de PVC de 4" (6mts)	m	1,0000	\$33.33	\$33.33	
	Codo de 90° de 4"	PZA	2	\$24.00	\$48.00	
	TELA MOSQUITERA POR METRO 120 X 100 CM NEG	PZA	1	\$50.00	\$50.00	
	cupeta 20 litros	PZA	1	\$100.00	\$100.00	
	Pegmento para pvc TANGIT TODA PRESIÓN PEGAME	PZA	1	\$119.00	\$119.00	
	LUA PARA PLOMERO 1 METRO	PZA	1	\$22.00	\$22.00	
Mano de obra						
		Jor			\$0.00	
Equipo						
		hr				
TOTAL=					\$372.33	

Salida de desfogue (vacido completo)						Unidad PZA
Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	precio Material	Importe	
Materiales						
	Tubo de pvc de 1"	M	1,0000	\$21.67	\$21.67	
	codo de pvc de 1" 90°	PZA	1	\$11.00	\$11.00	
	Valvula globo	PZA	1	\$99.00	\$99.00	
	Pegmento para pvc TANGIT TODA PRESIÓN PEGAME	PZA	0	\$119.00	\$0.00	
	LUA PARA PLOMERO 1 METRO	PZA	0	\$22.00	\$0.00	
	abrazaderas de pvc de 1"	PZA	3	\$3.00	\$9.00	
	Tornillos #8 X 1-1/2	PZA	10	\$0.45	\$4.45	
	Taquetes 1 1/2"	PZA	10	\$0.60	\$6.00	
Mano de obra						
		Jor			\$0.00	
Equipo						
		hr				
TOTAL =					\$151.12	

TOTAL = \$19,994.92

Coste de mantenimiento (3%) y costo por adicionales (7%) \$11,995.41

AÑOS	FLUJO DE EFECTIVO	FLUJO DE EFECTIVO ACOMULADO
0	-\$11,995.41	
1	\$ 3,164.59	\$ 3,164.59
2	\$ 3,164.59	\$ 6,329.18
3	\$ 3,164.59	\$ 9,493.77
4	\$ 3,164.59	\$ 12,658.36
5	\$ 3,164.59	\$ 15,822.95
6	\$ 3,164.59	\$ 18,987.54
7	\$ 3,164.59	\$ 22,152.14
8	\$ 3,164.59	\$ 25,316.73

Periodo de recuperacion de la inversión

3.445917

Anexo 15:

Análisis de costos y periodo de recuperación en una casa tipo dúplex considerando el agua para usos potables

CANALETA					Unidad PZA
Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	recio Materi	Importe
Materiales					
	Canaleta 4"	m	7.629	\$106.00	\$808.67
	Abrazadera 4"	PZA	16	\$30.00	\$480.00
	Tornillos #8 X 1-1/2	PZA	32	\$0.45	\$14.34
	Taquetes 1 1/2"	PZA	32	\$0.60	\$19.20
Mano de obra					
		jor			\$0.00
Equipo					
		hr			
TOTAL=					\$1,322.11
PVC					Unidad PZA
Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	recio Materi	Importe
Materiales					
	Tubo de PVC de 3"	m	9.3255	\$36.00	\$335.72
	Codo de 90° de 3"	PZA	6	\$17.00	\$102.00
	Tee de 3 "	PZA	3	\$24.00	\$72.00
	Codo de 45° de 3 "	PZA	2	\$20.00	\$40.00
	Pegmento para pvc TANGIT TODA PRESIÓN PEGAME	PZA	1	\$119.00	\$119.00
	Abrazaderas de tubo de pvc	PZA	6	\$20.00	\$120.00
	LUA PARA PLOMERO 1 METRO	PZA	1	\$22.00	\$22.00
	TELA MOSQUITERA POR METRO 120 X 100 CM NEG	PZA	1	\$50.00	\$50.00
	SEPARADOR DE PRIMERAS LLUVIAS (TLALOQUITO	PZA	1	\$2,300.00	\$2,300.00
	Tornillos #8 X 1-1/2	PZA	60	\$0.45	\$26.70
	Taquetes 1 1/2"	PZA	60	\$0.60	\$36.00
Mano de obra					
		jor			\$0.00
Equipo					
		hr			
TOTAL=					\$3,223.42
Tanque de almacenamiento					Unidad PZA
Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	recio Materi	Importe
Materiales					
	Tinaco Agua 1200 Litros Negro Bícapa Azteca	PZA	2.0000	\$2,819.00	\$5,698.00
	Tubo de PVC de 4" (6 mts)	m	0.0000	\$33.00	\$0.00
	Pegmento para pvc TANGIT TODA PRESIÓN PEGAME	PZA	0	\$119.00	\$0.00
Mano de obra					
		jor			\$0.00
Equipo					
		hr			
TOTAL=					\$5,698.00
Salida de servicio					Unidad PZA
Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	recio Materi	Importe
Materiales					
	copie de 4" a 3"	PZA	2.0000	\$36.00	\$112.00
	Reductor de Turbulencia IU Axolote	PZA	1.0000	\$700.00	\$700.00
	Bomba Sumergible Evans Para Sistema 1hp 115v 30	PZA	1.0000	\$2,497.00	\$2,497.00
	Conector estanque de 2"	PZA	1	\$13.00	\$13.00
	Tubo de PVC de 2"	m	0.5	\$22.30	\$11.15
	clorador (Clorador Automático Dispensador De Clor)	PZA	1	\$689.00	\$689.00
	Reduccion de 2" a 1"	PZA	1	\$14.00	\$14.00
	Tubo de 1"	m	2.5	\$21.67	\$54.18
	Codos de 90° de 1"	PZA	2	\$11.00	\$22.00
	Filtro Carbon Activado 1 Pulgada	PZA	1	\$1,392.00	\$1,392.00
	Pegmento para pvc TANGIT TODA PRESIÓN PEGAME	PZA	1	\$119.00	\$119.00
	LUA PARA PLOMERO 1 METRO	PZA	1	\$22.00	\$22.00
Mano de obra					
		jor			\$0.00
Equipo					
		hr			
TOTAL=					\$5,539.33
REBOCADERO					Unidad PZA
Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	recio Materi	Importe
Materiales					
	Tubo de PVC de 4" (6 mts)	m	1.0000	\$33.33	\$33.33
	Codo de 90° de 4"	PZA	2	\$24.00	\$48.00
	TELA MOSQUITERA POR METRO 120 X 100 CM NEG	PZA	1	\$50.00	\$50.00
	cubeta 20 litros	PZA	1	\$100.00	\$100.00
	Pegmento para pvc TANGIT TODA PRESIÓN PEGAME	PZA	1	\$119.00	\$119.00
	LUA PARA PLOMERO 1 METRO	PZA	1	\$22.00	\$22.00
Mano de obra					
		jor			\$0.00
Equipo					
		hr			
TOTAL=					\$372.33
Salida de desfogue (vaciado completo)					Unidad PZA
Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	recio Materi	Importe
Materiales					
	Tubo de pvc de 1"	M	1.0000	\$21.67	\$21.67
	codo de pvc de 1" 90°	PZA	1	\$11.00	\$11.00
	Valvula globo	PZA	1	\$99.00	\$99.00
	Pegmento para pvc TANGIT TODA PRESIÓN PEGAME	PZA	0	\$119.00	\$0.00
	LUA PARA PLOMERO 1 METRO	PZA	0	\$22.00	\$0.00
	abrazaderas de pvc de 1"	PZA	3	\$3.00	\$9.00
	Tornillos #8 X 1-1/2	PZA	10	\$0.45	\$4.45
	Taquetes 1 1/2"	PZA	10	\$0.60	\$6.00
Mano de obra					
		jor			\$0.00
Equipo					
		hr			
TOTAL =					\$151.12
TOTAL =					\$16,306.31
Coste de mantenimiento (3%) y costo por adicionales (7%)					\$17,936.94
AÑOS		FLUJO DE EFECTIVO		FLUJO DE EFECTIVO ACOMULADO	
0		-\$17,936.94			
1		\$	89,609.66	\$	89,609.66
2		\$	89,609.66	\$	179,219.31
3		\$	89,609.66	\$	268,828.97
4		\$	89,609.66	\$	358,438.62
5		\$	89,609.66	\$	448,048.28
6		\$	89,609.66	\$	537,657.94
Periodo de recuperacion de la inversión				0.181970	

Anexo 16:

Análisis de costos y periodo de recuperación en una casa tipo dúplex considerando el agua para usos no potables

CANALETA					Unidad PZA
Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	recio Materi	Importe
	Materiales				
	Canaleta 4"	m	7.629	\$106.00	\$808.67
	Abrazadera 4"	PZA	16	\$30.00	\$480.00
	Tornillos #8 X 1-1/2	PZA	32	\$0.45	\$14.24
	Taquetes 1 1/2"	PZA	32	\$0.60	\$19.20
	Mano de obra	jor			\$0.00
	Equipo	hr			
				TOTAL=	\$1,322.11

PVC					Unidad PZA
Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	recio Materi	Importe
	Materiales				
	Tubo de PVC de 3"	m	9.3255	\$36.00	\$335.72
	Codo de 90° de 3"	PZA	6	\$17.00	\$102.00
	Tee de 3"	PZA	3	\$24.00	\$72.00
	Codo de 45° de 3"	PZA	2	\$20.00	\$40.00
	Pegmento para pvc TANGIT TODA PRESIÓN PEGAME	PZA	1	\$119.00	\$119.00
	Abrazaderas de tubo de pvc	PZA	6	\$20.00	\$120.00
	LUA PARA PLOMERO 1 METRO	PZA	1	\$22.00	\$22.00
	TELA MOSQUITERA POR METRO 120 X 100 CM NEG	PZA	1	\$50.00	\$50.00
	SEPARADOR DE PRIMERAS LLUVIAS (TLALOQUITO)	PZA	1	\$2,300.00	\$2,300.00
	Tornillos #8 X 1-1/2	PZA	60	\$0.45	\$26.70
	Taquetes 1 1/2"	PZA	60	\$0.60	\$36.00
	Mano de obra	jor			\$0.00
	Equipo	hr			
				TOTAL=	\$3,223.42

Tanque de almacenamiento					Unidad PZA
Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	recio Materi	Importe
	Materiales				
	Tinaco Agua 1200 Litros Negro Bicapa Azteca	PZA	2.0000	\$2,819.00	\$5,698.00
	Tubo de PVC de 4" (6 mts)	m	0.0000	\$33.00	\$0.00
	Pegmento para pvc TANGIT TODA PRESIÓN PEGAME	PZA	0	\$119.00	\$0.00
	Mano de obra	jor			\$0.00
	Equipo	hr			
				TOTAL=	\$5,698.00

Salida de servicio					Unidad PZA
Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	recio Materi	Importe
	Materiales				
	copple de 4" a 3"	PZA	2.0000	\$56.00	\$112.00
	Reductor de Turbulencia LU Axolote	PZA	1.0000	\$700.00	\$700.00
	Bomba Sumergible Evans Para Cisterna 1hp 115v 30"	PZA	1.0000	\$2,497.00	\$2,497.00
	Conector estanque de 2"	PZA	1	\$15.00	\$15.00
	Tubo de PVC de 2"	m	0.5	\$22.30	\$11.15
	clorador (Clorador Automático Dispensador De Clor)	PZA	1	\$689.00	\$689.00
	Reduccion de 2" a 1"	PZA	1	\$14.00	\$14.00
	Tubo de 1"	m	2.5	\$21.67	\$54.18
	Codos de 90° de 1"	PZA	2	\$11.00	\$22.00
	Pegmento para pvc TANGIT TODA PRESIÓN PEGAME	PZA	1	\$119.00	\$119.00
	LUA PARA PLOMERO 1 METRO	PZA	1	\$22.00	\$22.00
	Mano de obra	jor			\$0.00
	Equipo	hr			
				TOTAL=	\$4,147.33

REBOSADERO					Unidad PZA
Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	recio Materi	Importe
	Materiales				
	Tubo de PVC de 4" (6 mts)	m	1.0000	\$33.33	\$33.33
	Codo de 90° de 4"	PZA	2	\$24.00	\$48.00
	TELA MOSQUITERA POR METRO 120 X 100 CM NEG	PZA	1	\$50.00	\$50.00
	cubeta 20 litros	PZA	1	\$100.00	\$100.00
	Pegmento para pvc TANGIT TODA PRESIÓN PEGAME	PZA	1	\$119.00	\$119.00
	LUA PARA PLOMERO 1 METRO	PZA	1	\$22.00	\$22.00
	Mano de obra	jor			\$0.00
	Equipo	hr			
				TOTAL=	\$372.33

Salida de desfogue (variado completo)					Unidad PZA
Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	recio Materi	Importe
	Materiales				
	Tubo de pvc de 1"	M	1.0000	\$21.67	\$21.67
	codo de pvc de 1" 90°	PZA	1	\$11.00	\$11.00
	Valvula globo	PZA	1	\$95.00	\$95.00
	Pegmento para pvc TANGIT TODA PRESIÓN PEGAME	PZA	0	\$119.00	\$0.00
	LUA PARA PLOMERO 1 METRO	PZA	0	\$22.00	\$0.00
	abrazaderas de pvc de 1"	PZA	3	\$3.00	\$9.00
	Tornillos #8 X 1-1/2	PZA	10	\$0.45	\$4.45
	Taquetes 1 1/2"	PZA	10	\$0.60	\$6.00
	Mano de obra	jor			\$0.00
	Equipo	hr			
				TOTAL =	\$151.12
				TOTAL =	\$14,914.31
	Coste de mantenimiento (3%) y costo por adicionales (7%)				\$16,405.74

AÑOS	FLUJO DE EFECTIVO	FLUJO DE EFECTIVO ACOMULADO
0	-\$16,405.74	
1	\$ 4,448.71	\$ 4,448.71
2	\$ 4,448.71	\$ 8,897.41
3	\$ 4,448.71	\$ 13,346.12
4	\$ 4,448.71	\$ 17,794.83
5	\$ 4,448.71	\$ 22,243.53
6	\$ 4,448.71	\$ 26,692.24
	Periodo de recuperacion de la inversión	3.352504

Anexo 17:

Análisis de costos y periodo de recuperación en una casa tipo triplex considerando el agua para usos potables

CANALETA					Unidad PZA
Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	recio Materi	Importe
	Materiales				
	Canaleta 4"	m	5.72	\$106.00	\$606.32
	Abrazadera 4"	PZA	12	\$30.00	\$360.00
	Tornillos #8 X 1-1/2	PZA	24	\$0.45	\$10.68
	Taquetes 1 1/2"	PZA	24	\$0.60	\$14.40
	Mano de obra				
		jor			\$0.00
	Equipo				
		hr			
				TOTAL=	\$991.40
PVC					Unidad PZA
Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	recio Materi	Importe
	Materiales				
	Tubo de PVC de 3"	m	11.8255	\$36.00	\$425.72
	Codo de 90° de 3"	PZA	6	\$17.00	\$102.00
	Tee de 3"	PZA	3	\$24.00	\$72.00
	Codo de 45° de 3"	PZA	2	\$20.00	\$40.00
	Pegmento para pvc TANGIT TODA PRESIÓN PEGAME	PZA	1	\$119.00	\$119.00
	Abrazaderas de tubo de pvc	PZA	6	\$20.00	\$120.00
	LUA PARA PLOMERO 1 METRO	PZA	1	\$22.00	\$22.00
	TELA MOSQUITERA POR METRO 120 X 100 CM NEG	PZA	1	\$50.00	\$50.00
	SEPARADOR DE PRIMERAS LLUVIAS (TLALOQUITO	PZA	1	\$2,300.00	\$2,300.00
	Tornillos #8 X 1-1/2	PZA	70	\$0.45	\$31.15
	Taquetes 1 1/2"	PZA	70	\$0.60	\$42.00
	Mano de obra				
		jor			\$0.00
	Equipo				
		hr			
				TOTAL=	\$3,323.87
Tanque de almacenamiento					Unidad PZA
Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	recio Materi	Importe
	Materiales				
	Tinaco Dipa/ 750 Espados Reducidos 750l Negro	PZA	3.0000	\$2,100.00	\$6,300.00
	Tubo de PVC de 4" (6 mts)	m	0.0000	\$33.00	\$0.00
	Pegmento para pvc TANGIT TODA PRESIÓN PEGAME	PZA	0	\$119.00	\$0.00
	Mano de obra				
		jor			\$0.00
	Equipo				
		hr			
				TOTAL=	\$6,300.00
Salida de servicio					Unidad PZA
Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	recio Materi	Importe
	Materiales				
	cople de 4" a 3"	PZA	2.0000	\$56.00	\$112.00
	Reductor de Turbulencia LU Axolote	PZA	1.0000	\$700.00	\$700.00
	Bomba Sumergible Evans Para Cisterna 1hp 115v 30	PZA	1.0000	\$2,497.00	\$2,497.00
	Conector estanque de 2"	PZA	1	\$19.00	\$19.00
	Tubo de PVC de 2"	m	0.5	\$22.30	\$11.15
	clorador (Clorador Automático Dispensador De Clor)	PZA	1	\$689.00	\$689.00
	Reduccion de 2" a 1"	PZA	1	\$14.00	\$14.00
	Tubo de 1"	m	2.5	\$21.67	\$54.18
	Codos de 90° de 1"	PZA	2	\$11.00	\$22.00
	Filtro Carbon Activado 1 Pulgada	PZA	1	\$1,392.00	\$1,392.00
	Pegmento para pvc TANGIT TODA PRESIÓN PEGAME	PZA	1	\$119.00	\$119.00
	LUA PARA PLOMERO 1 METRO	PZA	1	\$22.00	\$22.00
	Mano de obra				
		jor			\$0.00
	Equipo				
		hr			
				TOTAL=	\$5,599.33
REPOSADERO					Unidad PZA
Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	recio Materi	Importe
	Materiales				
	Tubo de PVC de 4" (6 mts)	m	1.0000	\$33.33	\$33.33
	Codo de 90° de 4"	PZA	2	\$24.00	\$48.00
	TELA MOSQUITERA POR METRO 120 X 100 CM NEG	PZA	1	\$50.00	\$50.00
	cubeta 20 litros	PZA	1	\$100.00	\$100.00
	Pegmento para pvc TANGIT TODA PRESIÓN PEGAME	PZA	1	\$119.00	\$119.00
	LUA PARA PLOMERO 1 METRO	PZA	1	\$22.00	\$22.00
	Mano de obra				
		jor			\$0.00
	Equipo				
		hr			
				TOTAL=	\$372.33
Salida de desfogue (vaciado completo)					Unidad PZA
Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	recio Materi	Importe
	Materiales				
	Tubo de pvc de 1"	M	1.0000	\$21.67	\$21.67
	codo de pvc de 1" 90°	PZA	1	\$11.00	\$11.00
	Válvula globo	PZA	1	\$99.00	\$99.00
	Pegmento para pvc TANGIT TODA PRESIÓN PEGAME	PZA	0	\$119.00	\$0.00
	LUA PARA PLOMERO 1 METRO	PZA	0	\$22.00	\$0.00
	abrazaderas de pvc de 1"	PZA	3	\$3.00	\$9.00
	Tornillos #8 X 1-1/2	PZA	10	\$0.45	\$4.45
	Taquetes 1 1/2"	PZA	10	\$0.60	\$6.00
	Mano de obra				
		jor			\$0.00
	Equipo				
		hr			
				TOTAL =	\$151.12
TOTAL =					\$15,678.94
Coste de mantenimiento (3%) y costo por adicionales (7%)					\$18,345.89
AÑOS		FLUJO DE EFECTIVO	FLUJO DE EFECTIVO		
0		-\$18,345.85			
1	\$	50,337.17	\$	50,337.17	
2	\$	50,337.17	\$	100,674.34	
3	\$	50,337.17	\$	151,011.50	
4	\$	50,337.17	\$	201,348.67	
5	\$	50,337.17	\$	251,685.84	
6	\$	50,337.17	\$	302,023.01	
Periodo de recuperacion de la inversión		0.331327			

Anexo 18:

Análisis de costos y periodo de recuperación en una casa tipo triplex considerando el agua para usos no potables

CANALETA					Unidad PZA
Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	recio Materi	Importe
	Materiales				
	Canaleta 4"	m	5.72	\$106.00	\$605.32
	Abrazadera 4"	PZA	12	\$30.00	\$360.00
	Tornillos #8 X 1-1/2	PZA	24	\$0.45	\$10.68
	Taquetes 1 1/2"	PZA	24	\$0.60	\$14.40
	Mano de obra				
		jor			\$0.00
	Equipo				
		hr			
				TOTAL=	\$991.40

PVC					Unidad PZA
Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	recio Materi	Importe
	Materiales				
	Tubo de PVC de 3"	m	11.8255	\$36.00	\$425.72
	Codo de 90° de 3"	PZA	6	\$17.00	\$102.00
	Tee de 3"	PZA	3	\$24.00	\$72.00
	Codo de 45° de 3"	PZA	2	\$20.00	\$40.00
	Pegmento para pvc TANGIT TODA PRESIÓN PEGAME	PZA	1	\$119.00	\$119.00
	Abrazaderas de tubo de pvc	PZA	6	\$20.00	\$120.00
	LULA PARA PLOMERO 1 METRO	PZA	1	\$22.00	\$22.00
	TELA MOSQUITERA POR METRO 120 X 100 CM NEG	PZA	1	\$50.00	\$50.00
	SEPARADOR DE PRIMERAS LLUVIAS (TLALOQUIT	PZA	1	\$2,300.00	\$2,300.00
	Tornillos #8 X 1-1/2	PZA	70	\$0.45	\$31.15
	Taquetes 1 1/2"	PZA	70	\$0.60	\$42.00
	Mano de obra				
		jor			\$0.00
	Equipo				
		hr			
				TOTAL=	\$3,323.87

Tanque de almacenamiento					Unidad PZA
Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	recio Materi	Importe
	Materiales				
	Tinaco Dipsal 750 Espados Reducidos 750l Negro	PZA	3.0000	\$2,100.00	\$6,300.00
	Tubo de PVC de 4" (6 mts)	m	0.0000	\$33.00	\$0.00
	Pegmento para pvc TANGIT TODA PRESIÓN PEGAME	PZA	0	\$119.00	\$0.00
	Mano de obra				
		jor			\$0.00
	Equipo				
		hr			
				TOTAL=	\$6,300.00

AÑOS	FLUJO DE EFECTIVO	FLUJO DE EFECTIVO
0	-\$18,103.62	
1	\$ 33,152.21	\$ 33,152.21
2	\$ 33,152.21	\$ 66,304.42
3	\$ 33,152.21	\$ 99,456.63
4	\$ 33,152.21	\$ 132,608.84
5	\$ 33,152.21	\$ 165,761.05
6	\$ 33,152.21	\$ 198,913.25

Periodo de recuperacion de la inversión	0.496432
---	----------

Anexo 20:

Análisis de costos y periodo de recuperación en una casa tipo cuádruplex considerando el agua para usos no potables

CANALETA					Unidad PZA
Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	recio Materi	Importe
	Materiales				
	Canaleta 4"	m	4.64	\$106.00	\$491.84
	Abrazadera 4"	PZA	10	\$30.00	\$300.00
	Tornillos #8 X 1-1/2	PZA	20	\$0.45	\$8.90
	Taquetes 1 1/2"	PZA	20	\$0.60	\$12.00
	Mano de obra				
		jor			\$0.00
	Equipo				
		hr			
				TOTAL=	\$812.74

PVC					Unidad PZA
Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	recio Materi	Importe
	Materiales				
	Tubo de PVC de 3"	m	14.3255	\$36.00	\$515.72
	Codo de 90° de 3"	PZA	8	\$17.00	\$136.00
	Tee de 3 "	PZA	4	\$24.00	\$96.00
	Codo de 45° de 3 "	PZA	4	\$20.00	\$80.00
	Pegmento para pvc TANGIT TODA PRESIÓN PEGAME	PZA	1	\$119.00	\$119.00
	Abrazaderas de tubo de pvc	PZA	9	\$20.00	\$180.00
	LUA PARA PLOMERO 1 METRO	PZA	1	\$22.00	\$22.00
	TELA MOSQUITERA POR METRO 120 X 100 CM NEC	PZA	1	\$50.00	\$50.00
	SEPARADOR DE PRIMERAS LLUVIAS (TLALOQUITO)	PZA	1	\$2,300.00	\$2,300.00
	Tornillos #8 X 1-1/2	PZA	80	\$0.45	\$35.60
	Taquetes 1 1/2"	PZA	80	\$0.60	\$48.00
	Mano de obra				
		jor			\$0.00
	Equipo				
		hr			
				TOTAL=	\$3,582.32

Tanque de almacenamiento					Unidad PZA
Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	recio Materi	Importe
	Materiales				
	Tinaco de 450 litros	PZA	4.0000	\$1,500.00	\$6,000.00
	Tubo de PVC de 4" (6 mts)	m	0.0000	\$33.00	\$0.00
	Pegmento para pvc TANGIT TODA PRESIÓN PEGAME	PZA	0	\$119.00	\$0.00
	Mano de obra				
		jor			\$0.00
	Equipo				
		hr			
				TOTAL=	\$6,000.00

Salida de servicio					Unidad PZA
Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	recio Materi	Importe
	Materiales				
	copie de 4" a 3"	PZA	2.0000	\$56.00	\$112.00
	Reductor de Turbulencia IU Axolote	PZA	1.0000	\$700.00	\$700.00
	Bomba Sumergible Evans Para Cisterna 1hp 115v 30-	PZA	1.0000	\$2,497.00	\$2,497.00
	Conector estanque de 2"	PZA	1	\$19.00	\$19.00
	Tubo de PVC de 2"	m	0.5	\$22.30	\$11.15
	clorador (Clorador Automático Dispensador De Clor)	PZA	1	\$689.00	\$689.00
	Reduccion de 2" a 1"	PZA	1	\$14.00	\$14.00
	Tubo de 1"	m	2.5	\$21.67	\$54.18
	Codos de 90° de 1"	PZA	2	\$11.00	\$22.00
	Pegmento para pvc TANGIT TODA PRESIÓN PEGAME	PZA	1	\$119.00	\$119.00
	LUA PARA PLOMERO 1 METRO	PZA	1	\$22.00	\$22.00
	Mano de obra				
		jor			\$0.00
	Equipo				
		hr			
				TOTAL=	\$4,147.33

REBOSADERO					Unidad PZA
Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	recio Materi	Importe
	Materiales				
	Tubo de PVC de 4" (6 mts)	m	1.0000	\$33.33	\$33.33
	Codo de 90° de 4"	PZA	2	\$24.00	\$48.00
	TELA MOSQUITERA POR METRO 120 X 100 CM NEC	PZA	1	\$50.00	\$50.00
	ubeta 20 litros	PZA	1	\$100.00	\$100.00
	Pegmento para pvc TANGIT TODA PRESIÓN PEGAME	PZA	1	\$119.00	\$119.00
	LUA PARA PLOMERO 1 METRO	PZA	1	\$22.00	\$22.00
	Mano de obra				
		jor			\$0.00
	Equipo				
		hr			
				TOTAL=	\$372.33

Salida de desfogue (vaciado completo)					Unidad PZA
Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	recio Materi	Importe
	Materiales				
	Tubo de pvc de 1"	M	1.0000	\$21.67	\$21.67
	codo de pvc de 1" 90°	PZA	1	\$11.00	\$11.00
	Valvula globo	PZA	1	\$99.00	\$99.00
	Pegmento para pvc TANGIT TODA PRESIÓN PEGAME	PZA	0	\$119.00	\$0.00
	LUA PARA PLOMERO 1 METRO	PZA	0	\$22.00	\$0.00
	abrazaderas de pvc de 1"	PZA	3	\$3.00	\$9.00
	Tornillos #8 X 1-1/2	PZA	10	\$0.45	\$4.45
	Taquetes 1 1/2"	PZA	10	\$0.60	\$6.00
	Mano de obra				
		jor			\$0.00
	Equipo				
		hr			
				TOTAL =	\$151.12

TOTAL = \$15,065.83

Coste de mantenimiento (3%) y costo por adicionales (7%) \$16,572.42

0	-\$16,572.42	
1	\$ 1,645.85	\$ 1,645.85
2	\$ 1,645.85	\$ 3,291.71
3	\$ 1,645.85	\$ 4,937.56
4	\$ 1,645.85	\$ 6,583.42
5	\$ 1,645.85	\$ 8,229.27
6	\$ 1,645.85	\$ 9,875.13

Periodo de recuperacion de la inversión 9.153807

Anexo 21:

Análisis de costos y periodo de recuperación en un comercio considerando el agua para usos no potables

Anexo 22:

Análisis de costos y periodo de recuperación en los servicios considerando el agua para usos no potables

CANALETA					Unidad PZA
Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	recio Materi	Importe
Materiales					
	Canaleta 8"	m	8.66	\$167.00	\$1,446.22
	Abrazadera 8"	PZA	18	\$48.00	\$864.00
	Tornillos #8 X 1-1/2	PZA	36	\$0.45	\$16.02
	Taquetes 1 1/2"	PZA	36	\$0.60	\$21.60
Mano de obra					
		jor			\$0.00
Equipo					
		hr			
TOTAL=					\$2,347.84

PVC					Unidad PZA
Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	recio Materi	Importe
Materiales					
	Tubo de PVC de 6"	m	6.8255	\$103.16	\$704.12
	Codo de 90° de 6"	PZA	6	\$69.00	\$414.00
	Tee de 3 "	PZA	1	\$120.00	\$120.00
	Codo de 45° de 3 "	PZA	3	\$51.50	\$154.50
	Pegmento para pvc TANGIT TODA PRESIÓN PEGAME	PZA	1	\$119.00	\$119.00
	Abrazaderas de tubo de pvc	PZA	6	\$20.00	\$120.00
	LJJA PARA PLOMERO 1 METRO	PZA	1	\$22.00	\$22.00
	TELA MOSQUITERA POR METRO 120 X 100 CM NEG	PZA	1	\$50.00	\$50.00
	SEPARADOR DE PRIMERAS LLUVIAS (TLALOQUITO)	PZA	1	\$2,300.00	\$2,300.00
	Tornillos #8 X 1-1/2	PZA	50	\$0.45	\$22.25
	Taquetes 1 1/2"	PZA	50	\$0.60	\$30.00
Mano de obra					
		jor			\$0.00
Equipo					
		hr			
TOTAL=					\$4,055.87

Tanque de almacenamiento					Unidad PZA
Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	recio Materi	Importe
Materiales					
	CISTERNA AZUL 10000 litros	PZA	1.0000	\$20,000.00	\$20,000.00
	Tubo de PVC de 4" (6 mts)	m	0.0000	\$33.00	\$0.00
	Pegmento para pvc TANGIT TODA PRESIÓN PEGAME	PZA	0	\$119.00	\$0.00
Mano de obra					
		jor			\$0.00
Equipo					
		hr			
TOTAL=					\$20,000.00

Salida de servicio					Unidad PZA
Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	recio Materi	Importe
Materiales					
	copie de 6" a 4"	PZA	2.0000	\$79.00	\$158.00
	Reductor de Turbulencia IU Axolote	PZA	1.0000	\$700.00	\$700.00
	Bomba Sumergible Evans Para Cisterna 1hp 115v 30	PZA	1.0000	\$2,497.00	\$2,497.00
	Conector estanco de 2"	PZA	1	\$19.00	\$19.00
	Tubo de PVC de 2"	m	0.5	\$22.30	\$11.15
	clorador (Clorador Automático Dispensador De Clor)	PZA	1	\$699.00	\$699.00
	Reduccion de 2" a 1"	PZA	1	\$14.00	\$14.00
	Tubo de 1"	m	2.5	\$21.67	\$54.18
	Codos de 90° de 1"	PZA	2	\$11.00	\$22.00
	Pegmento para pvc TANGIT TODA PRESIÓN PEGAME	PZA	1	\$119.00	\$119.00
	LJJA PARA PLOMERO 1 METRO	PZA	1	\$22.00	\$22.00
Mano de obra					
		jor			\$0.00
Equipo					
		hr			
TOTAL=					\$4,147.33

REBOSADERO					Unidad PZA
Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	recio Materi	Importe
Materiales					
	Tubo de PVC de 4" (6mts)	m	1.0000	\$33.33	\$33.33
	Codo de 90° de 4"	PZA	2	\$24.00	\$48.00
	TELA MOSQUITERA POR METRO 120 X 100 CM NEG	PZA	1	\$50.00	\$50.00
	cubeta 20 litros	PZA	1	\$100.00	\$100.00
	Pegmento para pvc TANGIT TODA PRESIÓN PEGAME	PZA	1	\$119.00	\$119.00
	LJJA PARA PLOMERO 1 METRO	PZA	1	\$22.00	\$22.00
Mano de obra					
		jor			\$0.00
Equipo					
		hr			
TOTAL=					\$372.33

Salida de desfogue (vaciado completo)					Unidad PZA
Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	recio Materi	Importe
Materiales					
	Tubo de pvc de 1"	M	1.0000	\$21.67	\$21.67
	codo de pvc de 1" 90°	PZA	1	\$11.00	\$11.00
	Valvula globo	PZA	1	\$99.00	\$99.00
	Pegmento para pvc TANGIT TODA PRESIÓN PEGAME	PZA	0	\$119.00	\$0.00
	LJJA PARA PLOMERO 1 METRO	PZA	0	\$22.00	\$0.00
	abrazaderas de pvc de 1"	PZA	3	\$3.00	\$9.00
	Tornillos #8 X 1-1/2	PZA	10	\$0.45	\$4.45
	Taquetes 1 1/2"	PZA	10	\$0.60	\$6.00
Mano de obra					
		jor			\$0.00
Equipo					
		hr			
TOTAL =					\$151.12

TOTAL =					\$31,074.48
Coste de mantenimiento (3%) y costo por adicionales (7%)					\$34,181.93

AÑOS		UJO DE EFECTIVO		FLUJO DE EFECTIVO ACUMULADO	
0		\$34,181.93			
1	\$ 88,215.83	\$		88,215.83	
2	\$ 88,215.83	\$		176,431.66	
3	\$ 88,215.83	\$		264,647.50	
4	\$ 88,215.83	\$		352,863.33	
5	\$ 88,215.83	\$		441,079.16	
6	\$ 88,215.83	\$		529,294.99	

Periodo de recuperacion de la inversión

0.352255