

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



Análisis comparativo de sistemas de captación de agua de lluvia adaptables
al contexto de Mixco, Guatemala

Trabajo de graduación en modalidad de trabajo profesional presentado por
José Carlos Gil Marroquín para optar al grado académico de Licenciado en
Ingeniería Civil Ambiental

Guatemala,

2025

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



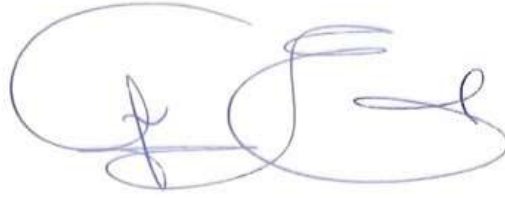
Análisis comparativo de sistemas de captación de agua de lluvia adaptables
al contexto de Mixco, Guatemala

Trabajo de graduación en modalidad de trabajo profesional presentado por
José Carlos Gil Marroquín para optar al grado académico de Licenciado en
Ingeniería Civil Ambiental

Guatemala,

2025

Vo.Bo.:



(f)

Ing. Héctor Francisco Espinoza

Tribunal Examinador:



(f)

Ing. Héctor Francisco Espinoza



(f)

Ing. Carlos Enrique Monzón



(f)

Ing. MSc. Otoniel Echeverría

Fecha de aprobación: Guatemala, 8 de enero de 2025.

PREFACIO

Primero y ante todo, quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mis padres, Natalia Marroquín y Carlos Gil. Gracias por su amor incondicional, su paciencia, y por siempre creer en mí. Sin su apoyo constante, este logro no habría sido posible. A mi hermana Jimena, por estar siempre a mi lado en los momentos difíciles y compartir conmigo esta aventura académica, también le debo un sincero agradecimiento.

A mi novia, Emily Zepeda, por su comprensión, motivación y cariño a lo largo de este camino, siempre brindándome fuerzas para continuar cuando más lo necesitaba. Y, por supuesto, a mi querida Alana, por su compañía incondicional que me ofreció momentos de paz en los días más complicados. Quiero agradecer a mis amigos, quienes estuvieron allí para apoyarme de diversas maneras, ya sea con palabras de aliento o simplemente compartiendo momentos de distracción que me ayudaron a mantenerme enfocado. Su apoyo fue invaluable en esta etapa.

Extiendo también mi gratitud a la Universidad del Valle de Guatemala y a todos sus colaboradores, por su dedicación en mi formación y por brindarme las herramientas necesarias para llevar a cabo esta investigación. Sin duda, el conocimiento adquirido aquí ha sido clave en mi desarrollo como profesional.

Finalmente, quiero agradecer a todas aquellas personas que, de una forma u otra, aportaron a mi crecimiento personal y académico. Este trabajo es un reflejo del esfuerzo conjunto de muchas personas que creyeron en mí.

CONTENIDO

	Página
PREFACIO	IV
LISTA DE CUADROS	VII
LISTA DE FIGURAS	VIII
LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS	IX
RESUMEN	X
Abstract	XI
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	2
III. JUSTIFICACIÓN	4
IV. OBJETIVOS	5
A. Objetivo general	5
B. Objetivos específicos	5
V. MARCO TEÓRICO	6
A. Contexto ambiental e hídrico de Mixco	6
1. Características de físicas del terreno	6
2. Descripción climática de Mixco	8
3. Problemas de abastecimiento de agua en zonas urbanas Mixco	9
4. Impacto ambiental del agua de lluvia en zonas de urbanas.....	10
B. Introducción de la captación de agua de lluvia.....	10
1. Situación del agua en la región metropolitana y Mixco.....	11
C. Sistemas de captación de agua de lluvia.....	12
1. ¿Qué son los sistemas de captación de agua de lluvia?.....	12
2. Conceptos básicos y la importancia de la captación de agua de lluvia.....	13
3. Diferentes tipos de captación de agua de lluvia	14
4. Tecnologías y componentes disponibles para la implementación de sistemas de captación de agua de lluvia	15
5. Impacto de los sistemas de captación de agua de lluvia en la comunidad.....	16
6. Importancia de los SCALL y su uso e implementación en condiciones urbanas	18
7. Consideraciones de diseño y normativas locales para sistemas de captación de agua residual	19
D. Calidad del agua de lluvia y tratamiento.....	20
1. Factores que afectan la calidad del agua de lluvia	20
2. Contaminantes comunes presentes en el agua de lluvia recolectada	21

3.	Métodos de tratamiento y purificación del agua de lluvia para uso doméstico	22
4.	Calidad del agua de lluvia en Mixco.....	23
E.	Normativas y estándares de calidad del agua aplicables a la captación de agua de lluvia en Guatemala.....	30
VI.	METODOLOGÍA.....	32
VII.	RESULTADOS.....	34
A.	Características climáticas de Mixco.....	34
1.	Descripción general del clima en Mixco.....	34
2.	Variaciones estacionales de temperatura y precipitación.....	35
3.	Análisis histórico de precipitación.....	36
4.	Impacto del cambio climático en la precipitación local.....	40
B.	Características socioeconómicas de Mixco.....	41
C.	Disponibilidad hídrica en Mixco.....	43
1.	Evaluación de la disponibilidad de agua superficial y subterránea.....	43
2.	Problemas de abastecimiento de agua en zonas urbanas.....	45
D.	Diseño de sistemas de captación de agua de lluvia.....	45
1.	Cálculo de la demanda de agua y estimación de la disponibilidad de agua de lluvia en Mixco.....	45
E.	Consideraciones de diseño y normativas locales para sistemas de captación de agua residual.....	46
1.	Capacidad actual de captación de agua en viviendas y zonas urbanas.....	47
F.	Proyecciones y escenarios futuros.....	48
1.	Factores que limitan o favorecen la implementación de un SCALL en Mixco	48
2.	Escenarios de implementación masiva de SCALL.....	48
3.	Impacto esperado en la sostenibilidad.....	49
G.	Comparación de sistemas de captación de agua de lluvia.....	50
1.	SCALL con tanques superficiales.....	50
2.	SCALL con tanques subterráneos.....	51
3.	Sistemas mínimos viables para viviendas unifamiliares en Mixco.....	52
H.	Selección de SCALL más apropiado para las zonas más necesitadas de Mixco.....	58
I.	Costos asociados a la implementación de un sistema de captación de agua de lluvia de tinacos.....	59
VIII.	CONCLUSIONES.....	61
IX.	RECOMENDACIONES.....	62
X.	BIBLIOGRAFÍA.....	63
XI.	APÉNDICES.....	68

LISTA DE CUADROS

Cuadro		Página
1.	Características físicas y organolépticas del agua para consumo humano	26
2.	Características químicas del agua para consumo humano	27
3.	Sustancias plaguicidas que son perjudiciales a la salud.....	28
4.	Substancias orgánicas que son perjudiciales a la salud.....	29
5.	Relación de sustancias inorgánicas que son perjudiciales a la salud.....	29
6.	Valores para verificar la calidad microbiológica del agua.....	30
7.	Valores para aspectos radiológicos en agua	30
8.	Radionúclidos indicadores y sus valores guía en agua	30
9.	Parámetros medibles por la Coguanor 29001	31
10.	Comparación de SCALL con tanques superficiales: tinacos vs. bolsas de geomembrana.....	51
11.	Comparación de SCALL con tanques subterráneos: cisterna de concreto vs. aquacell	52
12.	Materiales y costos	60

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1. Red hídrica y sub cuencas nacionales de Mixco	7
2. Regiones climáticas de Guatemala	8
3. Temperaturas medias por mes en 2023 para el municipio de Mixco	9
4. Región metropolitana de Guatemala.....	11
5. Mapa de precipitación media anual de la República de Guatemala.....	34
6. Probabilidad de precipitación para el 2024.....	35
7. Promedio mensual de lluvia en Mixco 2024.....	35
8. Zona de convergencia intertropical en estación lluviosa de Centroamérica.....	36
9. Áreas donde se forman tormentas tropicales por ZCIT	36
10. Precipitación diaria en Mixco durante el 2004	37
11. Precipitación acumulada en Mixco durante el 2004	38
12. Precipitación diaria en Mixco durante el 2014	38
13. Precipitación acumulada en Mixco durante el 2014	39
14. Precipitación diaria en Mixco durante el 2024	39
15. Precipitación acumulada en Mixco durante el 2024	40
16. Pirámide socioeconómica de Mixco.....	41
17. Uso de suelo de Mixco del año 2018 Reporte local voluntario Mixco 2022.....	43
18. Ríos de Mixco	44
19. Ficha técnica. Propuesta de SCALL con cisterna para casa con techo de lámina Elaboración propia	54
20. Ficha técnica. Propuesta de SCALL con tinaco para casa con techo de lámina Elaboración propia.....	55
21. Ficha técnica. Propuesta de SCALL con cisterna para casa con techo de concreto Elaboración propia.....	56
22. Ficha técnica. Propuesta de SCALL con tinaco para casa con techo de concreto Elaboración propia.....	57
23. Componentes de un sistema de captación y almacenamiento de agua de lluvia do- miciliario	59
24. Sistema de bolsa de geomembrana	68
25. Componentes de un sistema de cosecha de aguas lluvias	68
26. Componentes de captación de aquacell	69
27. Sistema de captación de agua pluvial	69
28. Beneficios de los sistemas de captación de agua de lluvia.....	70
29. Colecta de agua pluvial	71
30. Sistema de captación de agua pluvial para una vivienda	72
31. Sistemas de captación de agua pluvial.....	72
32. Sistema de bolsa de geomembrana	73
33. Componentes de una cisterna de concreto	74
34. Celda de aquacell.....	74
35. Sistema de captación de agua pluvial en el entorno urbano.....	75
36. Informe del estado del agua de la región metropolitana de Guatemala 2022.....	76

LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

Acrónimo	Español	Inglés
SCALL	Sistema de Captación de Agua de Lluvia	
INSIVUMEH	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología	
COGUANOR	Comisión Guatemalteca de Normas	
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura	Food and Agriculture Organization
MAGA	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación	
ZCIT	Zona de Convergencia Inter Tropical	
MARN	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales	
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe	
INE	Instituto Nacional de Estadística	

RESUMEN

El acceso a agua limpia y segura es fundamental para el bienestar humano y la sostenibilidad ambiental. Sin embargo, en regiones urbanas como Mixco, la disponibilidad de agua potable se ve amenazada por diversos factores, incluida la escasez de recursos hídricos y la contaminación del agua. En este contexto, la evaluación de la eficiencia de un sistema de captación de agua de lluvia en viviendas urbanas emerge como una solución clave para abordar estos desafíos.

Este estudio se centró en demostrar de forma teórica el impacto que un sistema de captación de agua de lluvia puede tener en zonas urbanas y los usos que se le pueden dar al agua captada en el entorno y contexto de Mixco, Guatemala. La investigación adoptó un enfoque global, que consideró tanto la eficiencia técnica como la viabilidad económica y social del sistema de captación de agua de lluvia. Inicialmente, se realizó una revisión exhaustiva de la literatura científica y técnica relacionada con la captación de agua de lluvia, así como también se recopilieron datos climáticos y de precipitación específicos del municipio de Mixco. Estos datos proporcionaron una base sólida para la selección del sistema de captación de agua de lluvia según las características de Mixco, Guatemala.

Basado en toda la base de investigación realizada se logró determinar que el municipio de Mixco se encuentra en una zona de alta precipitación, lo que representa un clima templado durante la mayor parte del año. Mixco registra un nivel de precipitación media anual de 1,672 mm de agua de lluvia. Así también, es uno de los municipios con más población, aproximadamente se registraron 600,000 personas, según el último censo. De igual forma, se determinó que el sistema de captación de agua de lluvia que más se logra adaptar a las características geográficas, climáticas y al contexto que envuelve al municipio de Mixco, Guatemala, es la de un sistema de captación de agua de lluvia con tanques superficiales, específicamente la de tinacos. Pues este tipo de sistemas presentan variabilidad para ser adaptables a diferentes contextos, pues es un sistema de fácil instalación y mantenimiento que ofrece una solución a las personas para mejorar y facilitar su acceso al recurso del agua.

Los resultados obtenidos fueron analizados en detalle, resaltando las características y beneficios del sistema de captación de agua de lluvia. Las recomendaciones resultantes de este estudio buscan promover la implementación y mejora de sistemas de captación de agua de lluvia para viviendas urbanas en Mixco, Guatemala. Se espera que este trabajo contribuya a mejorar la gestión del agua en la región y a promover el uso sostenible de los recursos hídricos en entornos urbanos.

ABSTRACT

Access to clean and safe water is fundamental to human well-being and environmental sustainability. However, in urban regions such as Mixco, Guatemala, the availability of potable water is threatened by various factors, including water scarcity and water pollution. In this context, the evaluation of the *efficiency* of a rainwater harvesting system in urban dwellings emerges as a key solution to address these challenges.

This study focused on evaluating the impact that a rainwater harvesting system can have in urban areas and the uses that can be made of the captured water in the environment and context of Mixco, Guatemala. The research adopted a comprehensive and multifaceted approach, which considered both the technical *efficiency* and the economic and social viability of the rainwater harvesting system. Initially, a comprehensive review of the scientific and technical literature related to rainwater harvesting was conducted, as well as the collection of climate and precipitation data specific to the municipality of Mixco. These data provided a solid basis for the selection of the rainwater harvesting system according to the characteristics of Mixco, Guatemala.

Based on all the research conducted, it was determined that the municipality of Mixco is located in a zone of high precipitation, which represents a temperate climate during most of the year. Mixco registers an average annual precipitation level of 1,672 mm of rainwater. It is also one of the most populated municipalities, with approximately 600,000 people according to the last census. Similarly, it was determined that the rainwater harvesting system that best suits the geographic and climatic characteristics and the context that surrounds the municipality of Mixco, Guatemala, is the SCALL system with surface tanks, specifically that of tinacos. This type of system presents variability to be adaptable to *different* contexts, since it is a system of easy installation and maintenance that *offers* a solution to the people to improve and facilitate their access to the water resource.

The results obtained were analyzed in detail, highlighting the characteristics and benefits of the rainwater harvesting system. The recommendations resulting from this study seek to promote the implementation and improvement of rainwater harvesting systems for urban housing in Mixco, Guatemala. It is hoped that this work will contribute to improve water management in the region and promote the sustainable use of water resources in urban environments.

I. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, la gestión sostenible del agua se ha convertido en un desafío crítico en todo el mundo, especialmente en áreas urbanas en rápido crecimiento como la ciudad de Mixco, Guatemala. La creciente escasez de agua, causada por el cambio climático y la urbanización acelerada, ha generado una demanda urgente de soluciones innovadoras y prácticas para garantizar el acceso equitativo y sostenible al agua potable y para uso agrícola.

En este contexto, la captación de agua de lluvia en viviendas urbanas emerge como una estrategia prometedora para mitigar la presión sobre los recursos hídricos convencionales y promover la autosuficiencia hídrica a nivel local. La abundancia de lluvias estacionales en Guatemala ofrece una oportunidad única para aprovechar este recurso natural subutilizado y convertirlo en una fuente confiable de agua para el riego doméstico y la agricultura urbana. Sin embargo, la implementación efectiva de sistemas de captación de agua de lluvia en entornos urbanos como en el municipio de Mixco requiere un enfoque integral que aborde no solo el diseño y la instalación de la infraestructura necesaria, sino también la evaluación de su eficiencia y viabilidad en condiciones reales. Además, es fundamental considerar los desafíos específicos y las oportunidades que enfrenta esta comunidad en términos de disponibilidad de recursos, infraestructura existente y necesidades locales.

Esta tesis se propone llenar este vacío en la investigación al enfocarse en la evaluación de la eficiencia de un sistema de captación de agua de lluvia en una vivienda urbana en Mixco. A través de un enfoque teórico y con antecedentes, se buscará identificar las tecnologías más adecuadas para la captación y su impacto en la disponibilidad de agua para el riego urbano. Al abordar esta problemática crucial, se espera que esta investigación no solo contribuya al conocimiento existente sobre la gestión del agua en entornos urbanos, sino que también proporcione información práctica y relevante para la toma de decisiones a nivel local y regional. Además, se espera que los resultados obtenidos sirvan como base para futuras investigaciones y proyectos de desarrollo sostenible en la región.

II. ANTECEDENTES

El agua es un recurso fundamental para la vida y para el desarrollo de los seres vivos, por lo que el cuidado y manejo sostenible del agua es una práctica constantemente utilizada, el agua al ser un recurso finito se debe de mantener y de valorar lo más posible, por lo que las prácticas e implementación de sistemas de captación y reúso de agua, es una metodología utilizada constantemente para ello. Debido a esto se ha considerado aplicar este enfoque para la realización de este trabajo. Teniendo claro esto se han utilizado trabajos de investigación y de estudios ya existentes con características similares al presente trabajo para desarrollarlo de forma precisa.

El estudio de *Técnicas de captación de agua de lluvia aplicables en el corredor seco de Guatemala en Agua Blanca, Jutiapa*, es un trabajo que se enfoca principalmente en las diferentes técnicas de captación de agua de lluvia que existen, analizando también como es y cómo podría ser su aplicación al corredor seco de Guatemala. Esta región del país comparte algunas similitudes con el municipio de Mixco, en lo que respecta a características de estrés hídrico. Esta investigación realizada por Aguirre en el 2021 presenta varias estrategias y soluciones que son aplicables a las zonas urbanas y rurales que tienen la problemática de escasez de agua.

Otro estudio utilizado para el desarrollo de este trabajo es el de *Sistema hidráulico para la captación y aprovechamiento del agua de lluvia para uso doméstico y consumo humano utilizando Eco-muros*. Este trabajo de investigación se encarga de analizar el impacto y el efecto que genera la implementación de un sistema de captación de agua de lluvia en una escuela en el municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa del departamento de Escuintla. Esta investigación resalta cómo un buen trabajo, un diseño económico, funcional y eficiente puede mejorar drásticamente el acceso y disponibilidad al agua para las personas, trayendo beneficios para todas las personas e instituciones públicas y educativas de la zona. La implementación de los eco muros hace posible la captación, filtración y almacenamiento del agua de lluvia, contribuyendo a un desarrollo sostenible y un punto de partida para las demás instituciones.

Del mismo modo, el trabajo de tesis de *Implementación de un sistema de recolección de agua pluvial para el abastecimiento de la Iglesia comunal en el caserío Cumbre de San Agustín, Morales, Izabal* realizado por García en el 2016 abarca todo lo relacionado a la implementación de un sistema de captación de agua pluvial, dentro de una comunidad con acceso muy limitado a agua limpia y agua potable, apenas dándose abasto para toda la comunidad. Este trabajo se centra y se desarrolla principalmente en cómo la implementación de los sistemas de captación de agua puede sustituir de manera muy eficiente cualquier tipo de infraestructura hídrica que exista en las zonas rurales, dando como resultado un mejoramiento en la calidad de vida de la comunidad y dando así también punto de partida para que este mismo proyecto se replique en otras instituciones y zonas similares a la de Morales, Izabal.

Con el apoyo de estos antecedentes y diferentes documentos y sitios de investigación, se fortalecerá el desarrollo de este trabajo, así también se realizará una investigación mucho más completa y una metodología que se adapte precisamente a las condiciones del municipio de Mixco. Con estas investigaciones y este trabajo se evidenciará el gran aporte que generan los sistemas de captación

de agua, tanto a la sostenibilidad ambiental como a la disponibilidad de agua que le brinda esto a la comunidad. Con la aplicación de estas diferentes metodologías y diferentes percepciones se desarrollará una evaluación mucho más detallada, precisa y aplicable a la zona de estudio, Mixco.

III. JUSTIFICACIÓN

El recurso hídrico en áreas urbanas, como la ciudad de Mixco, se está volviendo cada vez más limitado, lo que demanda una gestión eficiente y la adopción de tecnologías innovadoras para su aprovechamiento máximo. Dada la creciente escasez de agua y la necesidad de conservar este recurso vital, se hace imperativo explorar alternativas sostenibles para satisfacer las demandas de agua, especialmente en el contexto de la agricultura urbana y el riego doméstico.

Existen múltiples tecnologías y enfoques para mejorar la calidad y disponibilidad del agua, así como para darle un segundo uso a las aguas residuales y pluviales en entornos urbanos. Sin embargo, la adaptación de estas tecnologías a contextos específicos, como el de Mixco, requiere un análisis detallado. La implementación de sistemas de captación de agua de lluvia para riego en viviendas puede ser una solución prometedora para mitigar la presión sobre los recursos hídricos convencionales y mejorar la autosuficiencia hídrica a nivel local. Sin embargo, es crucial comprender la idoneidad y eficiencia de estos sistemas en el contexto particular de Mixco, considerando factores como la disponibilidad de recursos, las condiciones climáticas y la infraestructura existente.

La investigación propuesta se centrará en el estudio y comparación de sistemas de captación de agua de lluvia en viviendas en Mixco. Este enfoque práctico permitirá no solo identificar las tecnologías más adecuadas para la captación de agua de lluvia, sino también evaluar cuál de todas las opciones en el mercado, se adapta y cumple de mejor manera con las necesidades, exigencias y características del territorio. Además, se llevará a cabo un análisis de los patrones de precipitación en la zona de estudio, con el fin de comprender mejor la disponibilidad y la distribución temporal del agua de lluvia. Este análisis incluirá la recopilación de datos históricos de precipitación. La comprensión de estos patrones de precipitación será fundamental para los sistemas de captación de agua de lluvia eficientes y adaptarlos correctamente para satisfacer las demandas de agua para la población.

En resumen, este trabajo de investigación busca aportar a la resolución de un problema sobre la gestión del agua en áreas urbanas de Guatemala, específicamente en Mixco, al proporcionar un enfoque claro y centrado sobre la evaluación de la eficiencia de los sistemas de captación de agua de lluvia que sean más adaptables al contexto de Mixco. Se espera que los resultados de esta investigación contribuyan a mejorar la sostenibilidad hídrica y el desarrollo urbano resiliente en la región, así como también a la gestión del agua.

IV. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Contribuir con el uso de sistemas de captación de agua de lluvia en el municipio de Mixco, como una fuente alternativa de abastecimiento de agua para consumo humano y otros usos potenciales.

B. Objetivos específicos

- Comparar los sistemas de captación de agua de lluvia disponibles en el mercado, para viviendas unifamiliares, con base en las características hídricas del municipio.
- Seleccionar el sistema de captación más apropiado de acuerdo con las zonas más necesitadas del municipio de Mixco.
- Determinar los costos asociados a la implementación del sistema de captación de agua de lluvia seleccionado.

V. MARCO TEÓRICO

A. Contexto ambiental e hídrico de Mixco

1. Características de físicas del terreno

El municipio de Mixco, según el Diccionario Geográfico Nacional por parte de la IGN. Mixco cuenta con una extensión territorial de 99 kilómetros cuadrados, se divide en once zonas municipales con un total de 648 lugares poblados. Una cantidad significativa del terreno de Mixco está protegido por el área de reserva Forestal Protectora de Manantiales Cordillera Alux, específicamente un 20.98 % de territorio, que representa a 21.96 kilómetros cuadrados (Dirección Municipal de Planificación, Municipalidad de Mixco, 2018). Mixco está ubicado al oeste del departamento de Guatemala, el cual se ubica específicamente en las coordenadas 90°36'20.669" longitud oeste, y 14°37'52.102" latitud norte, a diecisiete kilómetros de la ciudad capital. Sus colindancias son con el departamento de Guatemala en los municipios de San Raimundo, San Pedro Sacatepéquez, Villa Nueva, Chinautla y Guatemala. (Dirección Municipal de Planificación, Municipalidad de Mixco, 2018).

El municipio de Mixco se encuentra ubicado dentro de dos subcuencas nacionales, la primera es la del río María Linda; este se encuentra en el suroeste del país y tiene una vertiente al océano Pacífico. En la parte alta de la cuenca se originan los ríos de Chapetón, Aguacapa y Michatoya que, tras unirse, dan lugar al río María Linda (Gil, 2017). El referido municipio, al contar con una proximidad significativa de la ciudad capital, es parte de gran desarrollo de dinámicas sociales (Gil, 2017).

El municipio de Mixco tiene una altitud promedio de 1,800 metros sobre el nivel del mar. Se caracteriza por ser un terreno con una gran cantidad de accidentes y fallas geográficas, tales como deslaves y barrancos. Cuenta con una red hídrica con varias corrientes y flujos de agua menores a los quince metros de ancho. Entre los ríos que están en el municipio se encuentran: El Zapote, La Brigada, Mariscal, Molino, Solayá, entre otros (Dirección Municipal de Planificación, Municipalidad de Mixco, 2018).

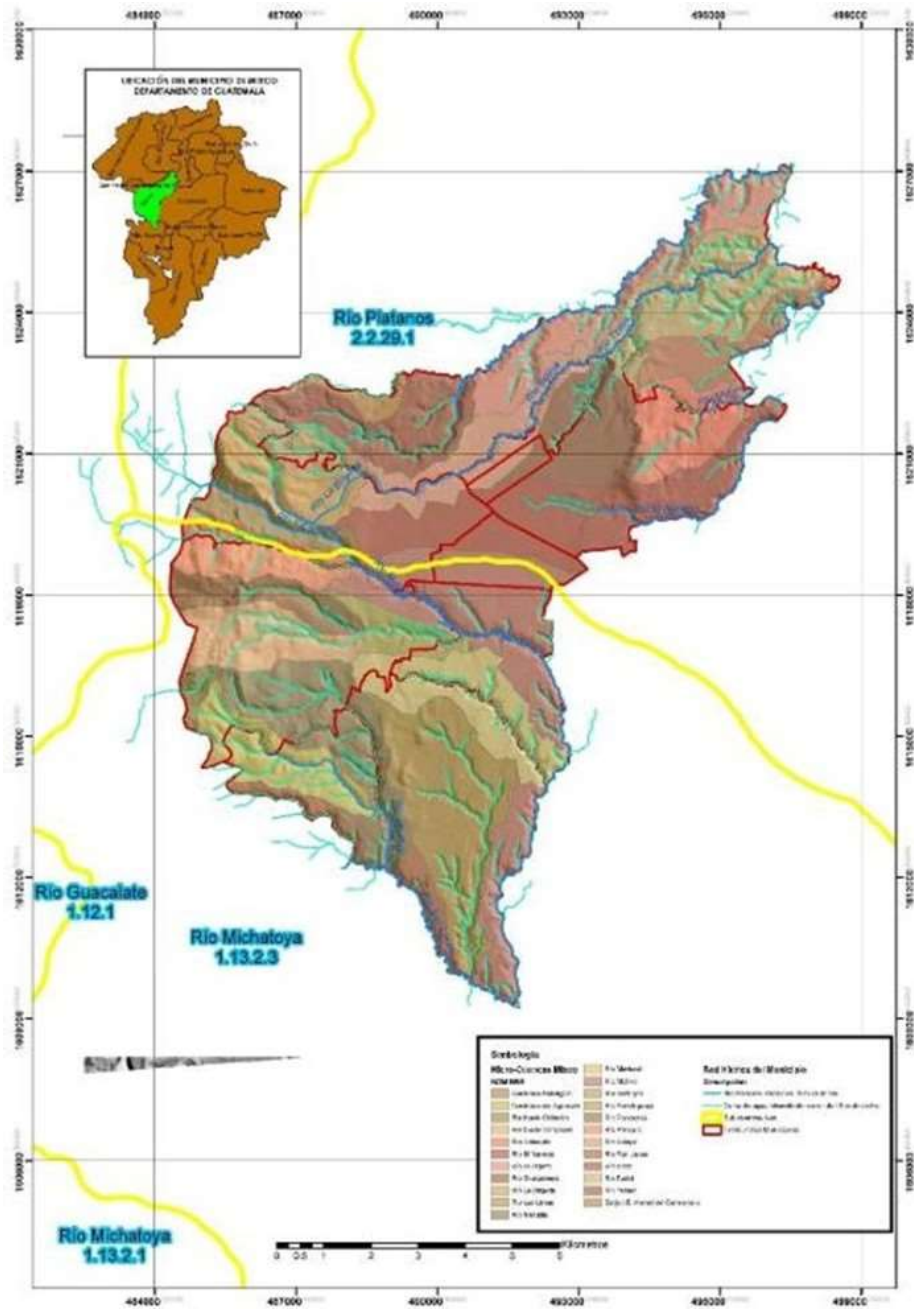


Figura 1. Red hídrica y sub cuencas nacionales de Mixco (Dirección Municipal de Planificación, Municipalidad de Mixco, 2018).

2. Descripción climática de Mixco

El clima en Guatemala, específicamente en el municipio de Mixco, se origina a partir de los fenómenos que surgen por el efecto de la circulación de la atmósfera, la influencia y efecto oceánico, y esto junto con la ubicación y posición geográfica y topográfica del país va adquiriendo características propias. En Guatemala la época lluvia comienza a finales del mes de mayo, pues en los primeros días de julio suelen verse días con mucha lluvia y neblina. Desde julio hasta agosto se produce un tramo seco, a este se le conoce como canícula, esto se debe a la inversión de alisios, y al fortalecimiento del anticiclón del golfo de México, con el paso del tiempo este se debilita y desaparece, dando vuelta a las fuertes lluvias (FUNCAGUA, 2024).

Por otro lado, la época seca comienza con el aumento de la presión atmosférica y la partida de aire frío que viene de la zona polar, esto genera que la temperatura disminuya y que la velocidad del viento suba, normalmente se tiene una fuerte presencia del viento norte. La época fría se puede apreciar desde el mes de noviembre a febrero, y en marzo y abril se pueden apreciar fuertes olas de colar debido al cambio de clima. Estas condiciones hablan mucho de características generales, pero cada zona específica cuenta con características propias que las distinguen por sobre el resto, características climáticas que se ven afectadas por zona topográfica, vegetación, geología y tipo de suelo. Esto permite definir seis regiones con características claras y diferenciales a lo largo del país, siendo las regiones del Caribe, de los valles de oriente, de occidente, boca costa, del Pacífico, del altiplano central, franja transversal del norte y región del norte (FUNCAGUA, 2024).

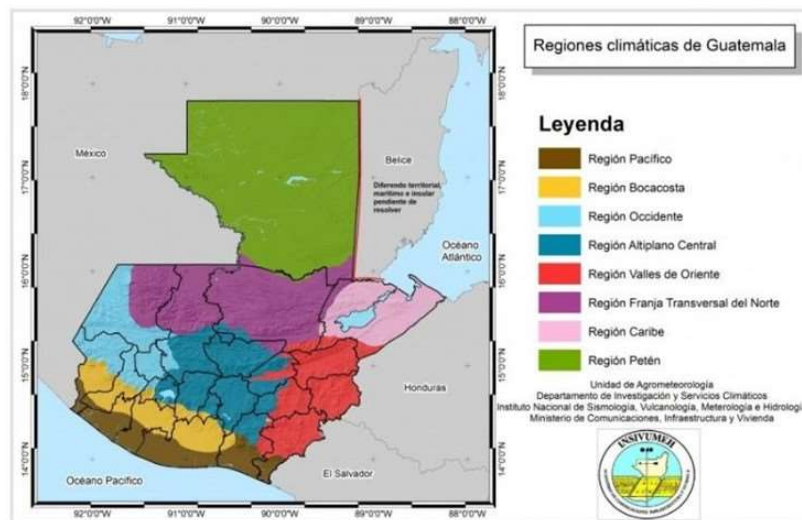


Figura 2. Regiones climáticas de Guatemala (FUNCAGUA, 2024).

Mixco cuenta con un clima templado y tropical, con algunas variaciones debido a la altitud que maneja, que ronda los 1600 metros sobre el nivel del mar. Durante el año, existen temperaturas altas y presencia de lluvia, pues la temperatura media anual en el municipio es de 25 grados centígrados, mientras que su precipitación media anual llega a los 1249 milímetros. Tiene marcadas principalmente dos estaciones durante el año, la estación seca y la lluviosa, o bien, verano e invierno. El

verano dura regularmente desde el mes de noviembre hasta abril, aquí las temperaturas son altas, con días soleados y despejados. Mientras que en el invierno, de mayo a octubre, se tienen lluvias intensas, especialmente en las tardes y noches, aquí es cuando el municipio recibe la mayor cantidad de sus precipitaciones del año (Cedar Lake Ventures, 2023).

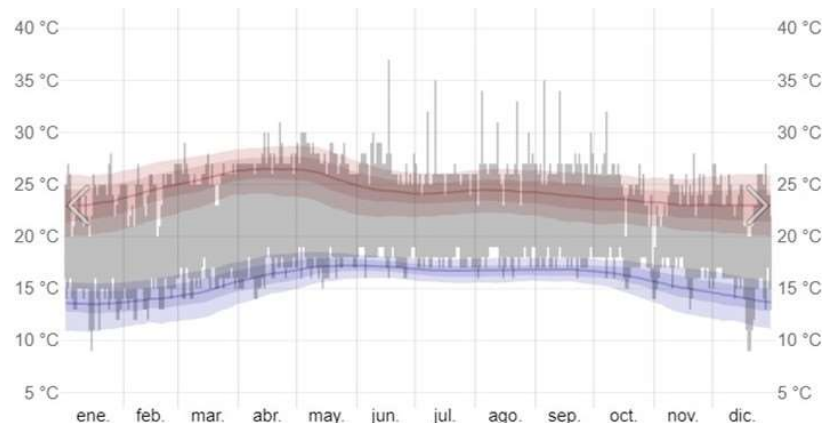


Figura 3. Temperaturas medias por mes en 2023 para el municipio de Mixco (Cedar Lake Ventures, 2023).

3. Problemas de abastecimiento de agua en zonas urbanas Mixco

En Guatemala aún no existe una ley, acuerdo gubernativo, institución o legislación que se encargue de regular el uso del recurso del agua, esto es una carencia muy importante para Guatemala que es tan rico en muchos recursos naturales, entre ellos, el recurso hídrico. Mixco es una de las víctimas que se está viendo más afectada por esta falta de organización y conciencia por parte del país. Dentro del municipio, la zona 1, 7 y 11 son las más afectadas, se han visto por la escasez del agua, pues son zonas donde el agua llega a las comunidades solamente en estrictos horarios y llega en cantidad limitada. Las familias se ven obligadas a llenar toneles y recipientes para poder sobrevivir hasta la próxima carga de agua. A tan solo tres kilómetros de la zona 1 se encuentran los nacimientos de agua provenientes del cerro Alux, que tiene sesenta y cinco nacimientos de agua, este cerro es popularmente conocido por ser una Reserva Forestal Protectora de manantiales que abastece la región metropolitana. A pesar de esto, más de 60 familias que viven en esta aldea cuentan con tan solo una hora de disponibilidad de agua cada dos días (Álvarez y Pitán, 2016).

Mixco está enfrentando una crisis seria en lo que respecta a la disponibilidad del agua para su población pues se estima que menos de la mitad de la población, específicamente el 48 % reciben agua al grifo. Mientras que el otro 52 % se ve obligada a contratar empresas privadas y comités de agua, empresas que no cuentan con ningún tipo de supervisión sobre lo que es la calidad y cantidad de agua que manejan o el tipo de uso que le dan a este recurso (Álvarez y Pitán, 2016).

Este problema tristemente no es algo particular de Mixco, sino que también lo sufren la Ciudad de Guatemala y Villanueva, que, junto con el municipio de Mixco, son los tres con mayor población en todo el país. Según lo indica la última proyección realizada por la INE (Instituto Nacional de Estadística) estos tres municipios cuentan con más de dos millones de personas bajo su cargo, donde el 11 % no tienen acceso a agua potable (Álvarez y Pitán, 2016).

4. Impacto ambiental del agua de lluvia en zonas de urbanas

En el país el 95 % del agua es desperdiciado debido a la contaminación ambiental que existe. Muchas personas dependen de ríos y cuerpos de agua naturales para poder tener acceso al recurso hídrico. Sin embargo, debido a la mala calidad del agua, cargada de contaminantes y metales pesados hacen que se vuelva inservible, pues se vuelve no apta para temas incluso de recreación, sin mencionar para temas de consumo humano o riego de consumos. Según expertos, estos efectos de la contaminación se ven reflejados en los tan elevados índices de desnutrición, diarrea y enfermedades en niños, pues según el Ministerio de Salud, 143 murieron en 2016 por esta problemática (Pérez, 2017).

La captación de agua de lluvia es considerada como una opción altamente viable para sistemas de agua de buena calidad. Los sistemas de almacenamiento de agua de lluvia utilizan técnicas simples y de muy bajo impacto ambiental. Las propiedades que tiene el agua de lluvia son físicamente y químicamente mejores a las fuentes existentes de agua subterránea, pues normalmente este tipo de aguas se exponen mucho a gases de alto grado de contaminación. Además, teniendo en cuenta las características del clima tan variables y la alta probabilidad de sequías e inundaciones, el rol de todo tipo de sistemas de captación de agua de lluvia jugará cada vez más un papel importante y determinantes a lo largo de los años. En zonas urbanas, la escasez de agua para la población significa un problema importante, por lo que la implementación de este tipo de sistemas de captación pinta ser una solución bastante asequible y viable (Siller y Barrera, 2011).

B. Introducción de la captación de agua de lluvia

Ha sido de gran interés social la busca de una solución para la obtención del agua. Un elemento principal entre esta es la lluvia, la cual, al actuar como un mecanismo natural de limpieza, puede ser utilizada en una variedad de aplicaciones diarias que no requieren agua potable. Para estos usos, el agua de lluvia es una alternativa eficaz y adecuada, con el potencial de reducir más del 40 % del consumo de agua potable en un hogar. Captar, almacenar y utilizar el agua de lluvia para estos fines es sumamente importante, especialmente para las poblaciones que carecen de acceso a agua potable o enfrentan escasez de este recurso vital (Torres Hugues, 2019).

Guatemala al ratificar el Protocolo de Kyoto desde mil novecientos noventa y ocho, en virtud del Decreto 23-99, este promueve la sostenibilidad ambiental, al acoger este instrumento se tiene en cuenta el agua de lluvia para el mejoramiento o la ejecución de sistema de suministro a nivel público o privado, agrícola, empresarial o colectivo. De igual forma Guatemala ha suscrito la Declaración Conjunta sobre el Aprovechamiento de Agua de Lluvia en el año 2023, el cual fue firmado en colaboración con los Estados Unidos y México; esta declaración tiene como objetivo principal la importancia de aprovechar el agua de lluvia como un recurso sostenible para enfrentar la escasez de agua y promover prácticas de gestión hídrica en ambas áreas rurales y urbanas (Torres Hugues, 2019). La sociedad guatemalteca reconoce el interés ambiental de aprovechamiento de los recursos, específicamente el aprovechamiento del agua de lluvia, como también la problemática relacionada al agua. Por lo cual, se pretende convertir este interés social en la implementación de una práctica sostenible (Torres Hugues, 2019).

1. Situación del agua en la región metropolitana y Mixco

La región metropolitana tiene como principales fuentes de abastecimiento de agua la fuente subterránea y los servicios privados; lo cual tiene como efecto que las familias como pocos recursos económicos cuenten con un agua de calidad. Se debe destacar que la mayoría de enfermedades relacionadas a la desnutrición, tanto crónica como aguda, son debido a los abastecimientos de agua, saneamiento e higiene (Barrera, 2022).

En 2022, fue realizado el Informe del Estado de agua de la región metropolitana de Guatemala, por parte de la Fundación para la conservación del Agua de la región metropolitana de Guatemala (Funcagua). En este informe es utilizado la delimitación de la región metropolitana, propuesta por el Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente, está propuesta define a través de análisis de sistemas de información geográfica, con un núcleo urbano de 38,260 hectáreas (ha) que abarca 12 municipios. Estos municipios constituyen los principales demandantes de agua para la región, en los que destacan San Miguel Petapa, Villa Nueva, Villa Canales, etc. Así mismo, las microcuencas de las zonas que más destacan son Las Cañas, Las Flores, Las Vacas, entre otros (Barrera, 2022).

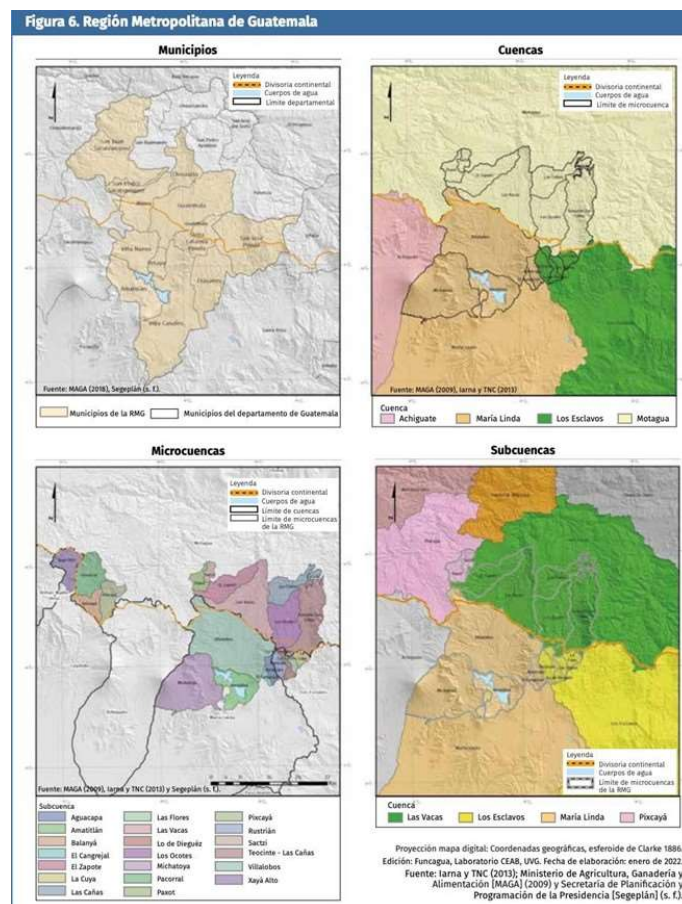


Figura 4. Región metropolitana de Guatemala (FUNCAGUA, 2022).

C. Sistemas de captación de agua de lluvia

1. ¿Qué son los sistemas de captación de agua de lluvia?

En la mayoría de las áreas urbanas, el correcto abastecimiento de agua para satisfacer a la población y asegurar la equidad en el acceso al recurso resulta un reto significativo y urgente que tienen que considerar las autoridades correspondientes. Entre las soluciones para satisfacer el manejo sostenible del agua se muestra al agua de lluvia como una alternativa muy viable, debido a que para su colecta solamente se requiere un sistema de captación, el cual tiene como ventajas: el ahorro de energía debido a que evita todo el proceso de extracción, sistema de distribución y bombeo para su transporte al área de suministro, y el tratamiento requerido para garantizar la calidad adecuada para el consumo humano (Adler y Carmona, 2008).

Los sistemas de captación del agua de lluvia representan una opción real para hacer frente a la escasez del recurso de agua, ya que son capaces de asegurar el abastecimiento y tienen consideración en la cantidad, calidad y continuidad para diversos usos como el consumo humano, consumo animal, y hasta producción agrícola (FUNCAGUA, 2018). Se ha vuelto de gran importancia e interés el captar, almacenar y utilizar el agua de lluvia para los usos descritos anteriormente, es de gran relevancia para las poblaciones, generalmente más para las que no tienen un acceso continuo al agua.

En base al estudio referido anteriormente, los componentes esenciales del SCALL son:

- Localización del sistema: puede ser localizado en cualquier lugar, debido a que su habilitación puede adaptarse a las condiciones y materiales donde se va a establecer. Sin embargo, también es cierto que existen lugares cuyas condiciones son más favorables y, por ende, más económicos y eficientes, como los lugares con precipitaciones pluviales media alta y con amplia distribución temporal y de baja intensidad o como los lugares con grandes superficies de techos. Los aspectos más relevantes para habilitar un sistema de captación de agua de lluvia son:
 - (i) Precipitación pluvial promedio anual del lugar.
 - (ii) Intensidad máxima de la precipitación: las intensidades bajas de agua pluvial facilitan la captación del agua de lluvia, esto se debe a su flujo y caudal controlado, son expresadas en mm/h.
 - (iii) Distribución temporal de la precipitación: las localidades con precipitación pluvial distribuida en un mayor número de meses del año favorece a los SCALL, como pueden ser las zonas húmedas. Es recomendable evaluar la precipitación pluvial anual histórica para evaluar la distribución.
 - (iv) Superficies de techumbres o áreas de captación de agua de lluvia: se debe tomar en consideración que entre más sean, mayor cantidad de agua puede ser captada.
 - (v) Material del área de captación: el coeficiente de escurrimiento es la relación entre mm de lluvia infiltrada mm de lluvia sobre el área de captación (volumen escurrido/volumen llovido).

- (vi) Distancia entre el área de captación y lugar de almacenamiento: se debe considerar que la zona de almacenamiento debe estar, en un punto más bajo para que el transporte del agua sea por gravedad. El costo es mayor a medida que aumenta la distancia al lugar de almacenamiento.
 - (vii) Tipo de material donde se ubicará el almacenamiento (mecánica de suelos): este aspecto repercute directamente en el costo de la excavación y construcción del almacenamiento, lo cual se considera como un aspecto costoso.
- Demanda del agua de lluvia: la demanda está en función del uso que se le dará al agua de lluvia captada. Entre los usos más comunes se encuentran el consumo humano y animal, uso doméstico y producción agrícola, acuícola, forestal e industrial.
 - Precipitación pluvial neta y potencial de captación del agua de lluvia: es importante conocer si la cantidad de agua de lluvia es la suficiente para satisfacer la demanda de agua (FUNCA-GUA, 2018).

2. Conceptos básicos y la importancia de la captación de agua de lluvia

El agua de lluvia es un recurso natural que debe ser aprovechado de forma integral por ser parte principal de una gran variedad de actividades humanas. El agua de lluvia tiene la capacidad de ser interceptada, colectada y almacenada en depósitos especiales para un uso posterior. La captación pluvial no es un sistema engorroso ni complicado, es un sistema ancestral que ha sido practicado en diferentes épocas y culturas, debido a su facilidad para obtener agua para consumo humano y uso agrícola. Estos sistemas de captación del agua de lluvia son una alternativa para reducir la explotación de acuíferos y disponibilidad vital del recurso (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2013).

La captación de agua de lluvia se define como la recolección, transporte y almacenamiento del agua de lluvia que cae sobre una superficie de manera natural o hecha por el hombre; las superficies que captan el agua en las ciudades pueden ser techos de casas y edificios, techumbres de almacenes, tiendas, etc. El agua almacenada puede ser utilizada para cualquier fin, velando por el uso de filtros apropiados para cada uso, es decir, para usos básicos como lo son la limpieza de cualquier índole y riego.

La escasez de agua afecta a más del 40 % de la población mundial y es un porcentaje con probabilidad a aumentar; más de 1700 millones de personas viven en la actualidad en cuencas fluviales en las que el consumo de agua supera la recarga; existen métodos para poder aprovecharla y a su vez conservarla, desde una planta recicladora de aguas negras hasta un sistema de captación de agua de lluvia (Ruíz et al., 2023).

Esta práctica ha sido de uso común desde hace varios años, en la actualidad ha sido sustituida por el suministro de agua de instituciones gubernamentales, principalmente EMPAGUA. Por la tendencia mundial, cuyo objetivo es incorporar sistemas de desarrollo sostenible, entre estos se encuentra el sistema SCALL, por sus iniciales, y los sistemas de captación de agua pluvial en techos denominados SCAPT. El objetivo de ambos sistemas es interceptar y utilizar el agua de lluvia. En la actualidad, a nivel mundial, el aprovechamiento del agua de lluvia se ha convertido en un incentivo

para la gestión y el uso eficiente del agua, siendo así el agua es un recurso que tiene una gran variedad de fines, por lo cual se considera importante utilizar los recursos de forma más eficiente, en específico el agua.

Entre las ventajas de los SCALL se destaca que no requieren de energía para operar, son de fácil construcción con materiales locales, reducen la necesidad de emplear sistemas de distribución complejos y costosos, proporcionan agua de calidad en comparación a las aguas superficiales y subterráneas, constituyen una alternativa para reducir la explotación de los acuíferos; y su uso es útil en zonas donde el agua subterránea no es químicamente apta para el consumo de forma directa (Basán et al., 2018).

3. Diferentes tipos de captación de agua de lluvia

Los principales tipos de sistemas de captación que podrían ser de gran utilidad para suplir los requerimientos hídricos de las plantas de su cultivo por medio de la lluvia son:

- **Sistemas de tanques modulares:** este sistema es de los más utilizados por su eficacia al momento de permitir el almacenamiento de grandes cantidades de agua por largos periodos de tiempo, sin que esta se evapore o la propiedad de ella cambie.
 - Para implementar este sistema solamente se necesita un tanque grande de almacenamiento de agua, para ubicarlo en una zona estratégica en donde se pueda realizar una recolección significativa y a su vez, pueda integrarse al sistema de riego por medio de canales de acueducto (Agropinos, 2023).
- **Sistema de depósitos dispensadores:** este sistema es similar a la de los sistemas de tanques modulares, estos suelen tener una menor proporción y, por ende, pueden suplir de forma adecuada las labores de recolección de agua, pero en una cantidad menor. La practicidad de este sistema permite brindar, específicamente a los sistemas de riego de cultivo pequeños el recurso necesario y un mejor uso al recurso del agua (Agropinos, 2023).
- **Sistemas de tanques bajo tierra:** en este sistema los tanques de almacenamiento de agua deben ser ubicados bajo tierra, a forma de pozo, con el objetivo de mejorar la capacidad de obtención del líquido mientras se garantiza el correcto estado del mismo. Sin embargo, la implementación de este sistema es un tanto más complicada, pero su eficiencia a la hora de integrarse con los sistemas de riego por aspersión, los cuales requieren de una presión considerable para funcionar apropiadamente, convierten al sistema de tanques bajo tierra en uno de los más utilizados por los cultivos que cuentan con grandes extensiones productivas (Agropinos, 2023).
- **Sistemas de filtros:** son aquellos que actúan de una manera más óptima en la purificación del agua de lluvia que es recolectada, por lo que garantiza a las plantas el acceso a un recurso hídrico de mayor calidad, el cual puede resultar útil en el rendimiento de producción de cultivo. Para su implementación se necesitan distintos accesorios para riego que funcionen como barreras dispersoras que faciliten el traspaso del líquido y eviten la presencia de impurezas que podrían afectar el funcionamiento y objetivo del sistema (Agropinos, 2023).

4. Tecnologías y componentes disponibles para la implementación de sistemas de captación de agua de lluvia

El agua es un factor vital para el ser humano y cada vez este recurso es más limitado para los seres humanos, por lo que se ha visto necesario buscar alternativas para encontrar fuentes de agua para satisfacer las necesidades de los seres humanos. Los sistemas de captación de agua se han convertido en fuentes bastante viables para satisfacer estas necesidades. Sin embargo, cada una de las tecnologías que han sido implementadas para los sistemas de captación tiene diferentes necesidades para poderse adaptar. Estos sistemas dependen de factores, como la superficie de captación, la precipitación anual de la zona o la cantidad de agua que se quiera almacenar. Este tipo de sistemas tienen la peculiaridad de que parten de un sistema bastante sencillo pero eficiente, pues todo funciona mediante gravedad lo que facilita y vuelve accesible de afrontar este tipo de infraestructura, pues consta de las siguientes etapas: captación, tratamiento, almacenamiento y distribución (Structuralia, 2021).

Existe una amplia variedad de opciones que se pueden implementar a la zona donde se desea colocar el sistema de captación de agua:

- **Tanques modulares exteriores:** estos almacenan una gran cantidad de agua y lo pueden hacer por un largo tiempo, sin necesidad de incurrir en grandes obras, suelen llegar a almacenar hasta mil litros de agua y son bastante adaptables al terreno, pues están fabricados con materiales ligeros que hacen que su instalación y mantenimiento sea bastante sencillo (Structuralia, 2021).
- **Depósitos dispensadores:** se conectan al sistema de drenaje de agua de lluvia y este permite recolectar el agua y dispensarla solamente cuando es necesario, se maneja normalmente tanques de una capacidad de almacenamiento no tan alta, pues suelen usarse para jardinería y uso doméstico (Structuralia, 2021).
- **Tanques bajo tierra:** este tipo de tanques es una buena opción si lo que se busca es mantener una estética visual, pues al estar bajo tierra no son visibles. Sin embargo, esto mismo hace que su instalación y mantenimiento sea costosa, son capaces de almacenar gran cantidad de agua, hasta incluso sistema de filtrado para poder potabilizar el agua. Aun así, cuentan con el inconveniente de que al estar bajo tierra se vuelve complejo conectar este sistema a la red de drenaje sanitario (Structuralia, 2021).

5. Impacto de los sistemas de captación de agua de lluvia en la comunidad

a. **Reducción en la demanda de agua potable y costos asociados** Bajo la situación crítica que vive el ser humano con los escasos recursos del agua, los sistemas de captación de agua de lluvia se han vuelto una solución eficiente para lograr reducir la demanda de agua en zonas y comunidades urbanas. El hecho que las viviendas implementen un sistema de captación de agua de lluvia ayuda a reducir la demanda de agua de la población y del mismo modo ayuda a preservar el recurso, el agua captada se puede utilizar idealmente para usos no potables como el riego de jardines, limpieza, hasta incluso la descarga de inodoros. Según indica un estudio realizado en zonas urbanas en Honduras, demostró que la implementación de sistemas de captación de agua de lluvia redujo hasta un 30 % el consumo del agua potable para la comunidad, esto se ve representado también en un ahorro significativo para la extracción y distribución de agua (Curimilma, 2020).

Los beneficios económicos que traen consigo los sistemas de captación de agua de lluvia muchas veces no son tan visibles, incluso estos beneficios no se representan solamente por un ahorro en la factura de agua, sino que también se puede ver en la gestión del mantenimiento y la gestión de las aguas residuales. Así también, esto permite a las comunidades o viviendas que implementen el sistema, tener un mejor manejo del agua durante la temporada seca, principalmente en aquellas zonas que como Mixco tengan restringido por horarios el uso del agua, esto le permite a la comunidad tener acceso al servicio, aunque la temporada sea calurosa y el acceso al servicio del agua sea más limitado (González y Hernández, 2018).

En países más grandes como México la implementación de sistemas de captación de agua de lluvia, realmente han contribuido a la reducción de la demanda de los cuerpos de agua subterránea, disminuyendo la sobreexplotación que estos acuíferos sufren. Esto con tan solo un poco de conciencia en la población, lo que realmente demuestra la importancia de promover buenas prácticas y políticas para la protección de los recursos e incentiven la implementación de sistemas de captación de agua de lluvia, para reducir el impacto y mejorar los acuíferos y el recurso del agua (CONAGUA, 2020).

b. **Percepción de la comunidad sobre el uso de sistemas de captación de agua de lluvia** El tener la aceptación de la comunidad y de las personas involucradas es uno de los factores más importantes en la implementación de un sistema de captación de agua de lluvia dentro de una comunidad, pues es la única forma en la que se puede garantizar la adaptación y éxito del SCALL. La aceptación de la comunidad depende de varios factores como el conocimiento que puedan tener el sistema y más importante como será el beneficio que ellos obtendrán. Un estudio que se realizó en la ciudad de México reveló que la mayoría de las personas, cerca de un 70 % de los participantes sí conocían lo que era y para qué sirve un sistema de captación de agua de lluvia. Sin embargo, de ese 70 % solamente un 40 % de las personas estaba dispuesta a implementar este sistema en su vivienda. El mayor inconveniente que le vieron fue la inversión inicial a realizar para la implementación y que el agua recolectada no es apta como consumo humano, sin embargo, un SCALL trae muchos otros beneficios que lo hacen merecer la pena, pues pueden cambiar todas las actividades con agua que no sean para consumo humano con agua del SCALL y esto aparte de ayudar al ambiente a reducir su consumo de agua, reduciría también su gasto mensual de agua ya que solamente deberían preocuparse por el agua para consumir (CONAGUA, 2020).

En zonas de El Salvador, se demostró que la percepción y recibimiento positivo de la comunidad hacia los sistemas de captación de agua de lluvia aumento de manera significativa en áreas donde el acceso al recurso del agua es muy limitado. La comunidad reconoció que la implementación de este tipo de sistemas tiene muchos beneficios económicos, principalmente que les permite reducir de manera importante su dependencia de las fuentes de agua, principalmente en las temporadas secas donde el acceso al recurso del agua es tan limitado. Sin embargo, la mayor parte de la comunidad no conoce bien cómo funciona y como darle un buen uso y cuidado a los sistemas por lo que es importante capacitar a la población sobre el sistema, su mantenimiento, la calidad y usos para el agua y motivarlos para que la implementación de sistemas de este tipo crezca (Ministerio de Obras Públicas y de Transporte, 2019).

Por otro lado, la recepción de las personas del sistema de captación en Honduras fue en su mayoría positiva, las personas valoraron la capacidad que brinda el sistema de brindar siempre una fuente de agua confiable a lo largo de todo el año, ya sea temporada seca o lluviosa. Así mismo, este estudio destaco la necesidad que tienen de desarrollar infraestructura que se complementen con los SCALL para mejorar la calidad de agua como sistemas de filtros para brindar a las viviendas agua que pueda llegar a ser potable (Curimilma, 2020).

Es evidente que la aceptación de los SCALL en las comunidades como Mixco, es altamente importante por lo que es muy importante e incluso hasta necesario implementar programas de capacitación para las personas donde se les explique la importancia de los sistemas y del recurso del agua. Así como los beneficios económicos que este tipo de sistemas le podrían brindar a la comunidad y a los cuerpos de agua que funcionan como fuentes de abastecimiento también. La participación activa de la comunidad es vital para que cualquier tipo de proyecto que los involucre funcione de manera correcta y que se vuelva una alternativa funcional y efectiva a largo plazo.

c. Impacto ambiental y social de la captación de agua de lluvia La implementación de sistemas de captación de agua de lluvia tiene un gran impacto tanto en el medio ambiente como en la comunidad de personas donde se implementa el sistema, pues de manera ambiental, un SCALL brinda una solución para reducir la demanda hídrica y así también reducir el estrés hídrico que sufren los acuíferos. La implementación de este tipo de sistemas aporta a solucionar una de las problemáticas ambientales.

La captación de agua de lluvia ayuda a reducir la escorrentía superficial que es la principal causa de contaminación y erosión de los cuerpos de agua. Los sistemas al recolectar y utilizar agua de lluvia ayudan también a reducir la escorrentía que es la que transporta gran cantidad de contaminantes a los cuerpos de agua. Esto permite a los acuíferos la recarga de manera indirecta, pues promueve la reducción de extracción de agua de fuentes subterráneas directas, mejorando así la calidad del acuífero.

Los sistemas de captación también contribuyen a la reducción de la huella hídrica de las comunidades o las zonas donde fue instalado, pues en zonas urbanas como Mixco, es normal que el agua que se tenga sea obtenida de acuíferos subterráneos, la cual, para extraerse, requiere una gran cantidad y un alto consumo de energía para bombeo y para el tratamiento del agua. Esto es principalmente para zonas donde el acceso a agua potable es muy limitado y donde la infraestructura para tratar y trabajar el agua potable es nula o no se da abasto porque la demanda es muy superior. Aquí es donde

el agua captada puede llegar a suplir muchas actividades de las personas siempre y cuando el uso del agua sea para un uso no potable (Hill, 2016).

Por otro lado, los sistemas de captación de agua de lluvia generan un efecto en la sociedad que va más allá de la recolección de agua, pues tienen un impacto de mejora significativo en la calidad de vida de las personas a las que afecta, pues les brinda una fuente de agua accesible en todo momento, representa un impacto económico beneficioso. Ya que antes de la implementación del sistema la recolección de agua, era realizada por personas de la comunidad, en un proceso más caro, largo y desgastante. En zonas rurales de Honduras, la implementación del sistema de captación de agua de lluvia en viviendas y comunidades ha permitido que las personas y niños tengan una vida más saludable, se tiene acceso al agua constantemente y permite a los niños centrarse totalmente en su desarrollo y educación (Curimilma, 2020).

Además, la implementación de SCALL dentro de una comunidad los fortalece y les otorga esa unidad para juntos velar y trabajar por el bien del sistema y de su funcionamiento. Pues el sistema llega a funcionar como un modelo de gestión para la comunidad generando fortalecimiento social y conciencia ambiental, ya que todas las personas se organizan y se educan para obtener lo mejor del sistema (Hill, 2016).

6. Importancia de los SCALL y su uso e implementación en condiciones urbanas

La población mundial está creciendo constantemente, lo que hace que la demanda de agua crezca de manera directamente proporcional. Sin embargo, las fuentes de agua dulce son limitadas, siendo esta menor al 2 % del total disponible en la naturaleza. La tasa de crecimiento de demanda de agua potable en áreas urbanas es 4 veces mayor que en áreas rurales. Basado en este concepto de sustentabilidad debemos considerar la planificación y manejo de las fuentes de agua disponibles. Debido a la carencia de nuevas fuentes de agua, una de las alternativas más utilizadas es la captación de agua de lluvia. La captación de agua de lluvia es una de las principales formas de obtención de agua potable y no potable usada por décadas. Previo a los métodos y sistemas de recolección, la metodología más rústica para este tipo de captación es el aprovechamiento de la pendiente de los tejados y losas como canales para el agua de lluvia y que estos fueran vertidos en un recipiente debajo de las mismas. No solo el aumento en la población ha causado la necesidad de más agua, también es una de las consecuencias del cambio climático, el cual ha afectado el nivel de abastecimiento de ciertas regiones, ya que en la actualidad hay una mayor incidencia de sequías (Mohammed et al., 2006).

La lluvia es una fuente de agua con muchas posibilidades, y con mucha importancia en la actualidad. Más de la mitad del agua fresca accesible en el mundo ya está en uso por la humanidad, y más de un billón de personas carecen acceso a agua potable con servicios adecuados de sanitización. El crecimiento poblacional en combinación con el cambio climático son factores que van a seguir en aumento conforme pase el tiempo, y va a ser la causa de la intensificación del ciclo hidrológico del agua. Los SCALL son una implementación para el aprovechamiento del agua de una manera efectiva, sin embargo, es de gran importancia abordar los temas de tratamiento y saneamiento de agua, especialmente donde se tiene una amenaza más alta de contaminación, como lo es el caso de los centros urbanos (Mohammed et al., 2006).

El método más común para recolección de aguas de lluvia es por medio de la recolección en los

techos de las viviendas. Para que se pueda instalar un SCALL, se debe tomar en cuenta la pendiente del techo, que debe ser suficiente para que el agua pueda avanzar por medio de gravedad. En resumen, el sistema consta de la instalación de canales que dirigen a una tubería de bajada de agua que lleva el agua a un sistema de almacenamiento. Esta tubería es la línea de conducción. El material del techo debe ser avalado por normativas actuales de materiales de construcción no tóxicos, ya que se va a encontrar en constante contacto derecho con el agua (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2011). Dentro de los parámetros de diseño se encuentra la cantidad de personas que habitan la vivienda, el área del techo y la cantidad de precipitación anual en la zona. El sistema de filtración se puede instalar por partes. Entre el canal y la tubería del sistema de conducción se instala una especie de malla que hace que los elementos grandes como hojas de árboles no pasen al resto del sistema de conducción. Se lleva el agua captada a un depósito o tanque cerrado que puede estar bajo tierra o a nivel del suelo (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2011).

Las canaletas pueden ser de distintos materiales, pero se recomienda el uso de PVC o lámina galvanizada. Se debe diseñar el sistema de conducción tomando en cuenta materiales de las tuberías, accesorios y tipo de almacenamiento que se va a instalar. El segundo sistema de filtración depende de la selección de sistema para la urbanización. Se puede adquirir un sistema de filtración universal que lleva el agua desde el depósito hasta el filtro antes de salir de cualquiera de los grifos. Existe la alternativa de instalar filtros selectivamente en cada grifo de manera individual, tomando en cuenta el o los sistemas de filtración que se van a utilizar. Es indispensable el mantenimiento del techo donde se capta el agua, manteniendo su limpieza en el más alto grado posible, y es necesario vaciar los filtros de hojas y ramas para evitar que se bloquee el paso del agua (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2011).

7. Consideraciones de diseño y normativas locales para sistemas de captación de agua residual

Para llevar a cabo una implementación de un sistema de captación de agua de lluvia es importante contemplar los factores técnicos, económicos y sociales. Dentro de los factores técnicos destacan la oferta y demanda, lo oferta esta cien por ciento y directamente relacionada con la precipitación que exista en la zona donde se desea implementar el sistema. Por otro lado, la demanda depende mucho de las necesidades y usos que se le quieran dar al agua captada, puede llegar a ser desde consumo humano o para sistemas de riego y drenajes (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2001).

El factor económico es el factor más importante, pues es indispensable conocer con cuanto capital se cuenta para realizar la inversión para poder hacer un buen manejo del dinero y distribuirlo de la mejor manera. Como existe una relación directa entre la oferta y la demanda de agua, que van desde el área de captación, la cantidad de agua a almacenar, estas se encuentran estrictamente ligadas al factor económico, este es muchas veces una gran restricción para proyectos, pues en muchos casos no se cuenta con el capital necesario para realizar toda la inversión deseada. Por esto es importante hacer un buen estudio para poder darle el mejor uso posible al capital con el que se cuenta (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2001).

En lo que respecta al factor social, en el caso de Guatemala es muy importante tener en consi-

deración las costumbres y hábitos de las personas, pues Guatemala es un país que cuenta con más de veinte grupos étnicos diferentes y cada uno de estos grupos cuenta con costumbres propias y diferentes, esto se vuelve un factor muy importante a tomar en consideración para poder trabajar con todas las personas sin faltarles el respeto. Así también es importante incluir y discutir con la población de la comunidad las ventajas y desventajas que tendrá este sistema para conseguir que las personas estén dispuestas a colaborar. Realizar un análisis que vea la conveniencia de las diferentes soluciones grupales e individuales que esto brindará será de motivación para contar con el apoyo comunitario (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2001).

Así también es igual de importante conocer la zona de trabajo, es de suma importancia donde será implementado el sistema y las características propias del lugar. Es importante la cantidad de personas a las que cada sistema les estará brindando el agua, conocer la cantidad de agua de lluvia de la zona para poder hacer un estimado de la disponibilidad del recurso que tendrán, conocer la topografía del terreno para saber dónde se colocara la infraestructura y saber así también que tanta infraestructura se puede colocar en la zona y donde, conocer el compromiso de la comunidad, compromiso para que no se dañe el material de trabajo y la comunidad lo cuide velando también por su mejor funcionamiento (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2001).

D. Calidad del agua de lluvia y tratamiento

1. Factores que afectan la calidad del agua de lluvia

La calidad del agua se determina a partir de las características químicas, físicas, biológicas y radiológicas en la misma. Dentro de las características fisicoquímicas se encuentran el color, pH, dureza, calcio, nitratos, nitritos, turbiedad, conductividad, cloruros, sulfatos, magnesio, etc. Las características microbiológico se enfoca en el estudio de la presencia de coliformes totales y *Escherichia coli* (COGUANOR, 2013). Estas características se desarrollan a partir de la interacción y exposición que tiene el agua con su entorno y sus usuarios, asimismo, de las características geográficas, geológicas, topográficas y relacionadas al uso de la tierra.

Existen áreas donde el agua de lluvia está expuesta a actividad química más elevada, y esta puede provenir de fuentes naturales o fuentes causadas por los humanos. El pH de la precipitación se puede afectar de manera natural por la presencia de volcanes, géiseres o fumarolas, las cuales generan energía hidrotermal, haciendo que se generen reacciones químicas en el agua que tiene contacto con estas fuentes. La acidificación de la lluvia también puede ser causada por el hombre, cuando el agua se expone a actividad química y se contamina con desechos físicos por presencia de actividades industriales, urbanizaciones o áreas agricultoras.

Dentro de las áreas urbanas, la utilización de combustibles fósiles hace que el agua del ambiente se contamine con estas toxinas liberadas, principalmente dióxido de sulfuro y óxidos de nitrógeno (Water Science School, 2019). La contaminación del agua generada en áreas urbanas permanece en el ambiente y en el agua de la atmósfera, y puede viajar a áreas rurales donde, a pesar de que no se contamina por la actividad humana de la zona, los contaminantes ya están en el agua de precipitación.

Los factores ambientales a los que está expuesta el agua no son los únicos que afectan la calidad del agua. El mecanismo de recolección de agua también juega un rol importante respecto a la calidad del agua de lluvia. En los techos, el agua de lluvia está expuesta a materia orgánica, sólidos inertes, depósitos de materia fecal de animales como pájaros o roedores, trazas de materiales y metales de los recubrimientos del techo e incluso puede llegar a haber trazas de compuestos orgánicos complejos. Existen varias clasificaciones de agua de lluvia, una de las cuales es dependiendo del método de recolección: agua de lluvia directa, agua recolectada en un techo y aguas pluviales recolectadas a nivel del suelo o más bajo (Samuel et al., 2012).

2. Contaminantes comunes presentes en el agua de lluvia recolectada

Los contaminantes del agua de lluvia dependen del método de recolección del agua. Existen métodos de recolección en los techos o métodos de recolección en la tierra. Dependiendo de las superficies que tienen contacto con el agua, los contaminantes pueden variar. Sin embargo, algunos contaminantes comunes presentes en el agua de lluvia y recolectada son (Halcyon et al., 2023):

- **Nitrógeno y fósforo:** estos elementos son comunes en los fertilizantes utilizados de manera industrial y personal. La sobreabundancia de estos nutrientes hace que se acabe la riqueza de los suelos. La contaminación por fósforo y nitrógeno ocurre en un proceso llamado eutrofización, la cual hace que aumenten las condiciones de vida de especies como algas, haciendo que se reduzca el nivel de oxigenación del agua de lluvia (ONU, 2024).
- **Pesticidas:** presentes en la tierra, en áreas urbanas en las áreas de jardín o en áreas agrícolas donde no se utilizan los pesticidas de origen orgánico (ONU, 2024).
- **Jabones y detergentes:** presentes en las superficies terrestres donde se hay tendencias de lavado al aire libre (ONU, 2024).
- **Bacterias:** por contaminación cruzada de aguas residuales. Estas bacterias están presentes cuando el agua contiene heces fecales, las cuales pueden provenir de aguas residuales o bien, de heces fecales de animales. Esto genera contaminantes por coliformes en el agua (ONU, 2024).
- **Aceites y fluidos automotrices:** de los vehículos circulantes, generando contaminación por químicos (ONU, 2024).
- **Metales pesados:** presentes en los cuerpos de agua y en la atmósfera que se evapora.
 - (i) Mercurio: el mercurio está presente en un 500 % en la atmósfera respecto a un parámetro natural.
 - (ii) Plomo: por ser un material convencionalmente utilizado en tuberías que pueden haber sido utilizadas en los sistemas de recolección.
 - (iii) Hierro: por ser un material convencionalmente utilizado en tuberías que pueden haber sido utilizadas en los sistemas de recolección.
 - (iv) Cadmio: por contaminación cruzada en aguas residuales.
 - (v) Cromo: por su alta presencia en industrias de plásticos.

(vi) Arsénico: provocador de intoxicaciones.

(ACONSA, 2020)

- **Micro plásticos:** existe evidencia que la lluvia también contiene microplásticos, y estos tienen efectos directos en la formación de lluvia, por su atracción a las partículas de agua (Almarza, 2023).

3. Métodos de tratamiento y purificación del agua de lluvia para uso doméstico

Existen métodos de tratamiento y purificación de agua de lluvia para el uso doméstico. Sin embargo, dentro del ámbito doméstico, existen 2 posibles usos que se les puede dar al agua: para ingesta humana y para uso superficial. El agua para ingesta humana debe tener un nivel de purificación que cumpla con los límites permisibles y aceptables para no poner en riesgo la salud humana. Por otro lado, existen labores domésticas que requieren el uso de agua, sin embargo, el nivel de tratamiento puede tener límites más permisibles ya que su destino no es el consumo humano, como es el caso del uso de agua llovediza para riego de plantas, lavado de carros, uso en el inodoro, lavado de suelos. Es posible tratar el agua de lluvia para que sea apta para la ingesta humana (Muhamad y Muza^{ff}ar, 2016).

Los métodos de tratamiento de aguas no son independientes, ya que estos se combinan para poder abordar diferentes tipos de contaminación. Entre las opciones de tratamiento y purificación de agua está la filtración mecánica, esterilización UV, el tratamiento y desinfección química y la ebullición de agua (Nutí, 2023).

- **Filtración mecánica:** la filtración mecánica consiste en hacer pasar el agua por medio de un material poroso que atrapa y elimina los sólidos suspendidos. Existen diferentes porosidades dependiendo del tamaño de las partículas presentes en el agua. En el sistema, se pueden colocar varios tamaños de filtro para separar por tamaño las partículas. Existen muchas alternativas de filtros mecánicos, con diferentes grados de tecnología. Antiguamente, se utilizaban filtros de rocas volcánicas porosas para filtrar el agua, o filtros de arenas de diferentes granulometrías para atrapar los sedimentos. Actualmente, existen sistemas más tecnológicos como el ecofiltro o filtros de carbón activado. Este sistema de filtración elimina únicamente las partículas físicas, no los contaminantes químicos (Nutí, 2023).
- **Filtración UV:** es un sistema de filtración que usa radiación ultravioleta que afecta directamente microorganismos en el agua, como virus y bacterias. Este sistema de filtración no utiliza la adición de químicos, sin embargo, requiere una fuente de energía eléctrica para funcionar, así como un sistema especializado que se puede instalar en las viviendas (Nutí, 2023).
- **Ósmosis inversa:** es un proceso en el que se utiliza una membrana parcialmente permeable que se encarga de eliminar partículas del agua. Sin embargo, también elimina parte de los minerales saludables y necesarios del agua, resultando en agua de menor calidad (Nutí, 2023).
- **Destilación:** la destilación de agua es un proceso que implica hervir el agua hasta llevarla a punto de evaporación. Una vez el agua se evapora, se debe condensar en un recipiente se-

parado del depósito original del agua. Aunque elimina los metales pesados y contaminantes químicos, no elimina algunos componentes orgánicos más complejos (Nutti, 2023).

- **Intercambio iónico:** es un proceso en el que se intercambian iones en el agua, para eliminar los iones contaminantes no deseados, y se sustituyen con iones no dañinos. Este sistema no elimina las bacterias ni productos químicos, pero si elimina metales pesados y alivia la dureza del agua (Nutti, 2023).

4. Calidad del agua de lluvia en Mixco

a. **Evaluación de la calidad del agua recolectada** Existen diversos puntos de vista de los cuales se puede evaluar la calidad del agua, sin embargo, se le da prioridad a la evaluación química y ambiental del agua. Desde esta perspectiva, se puede medir de manera objetiva, ya que la clasificación se determina con parámetros numéricos comparados con rangos de métricas. Como recurso indispensable para la vida, el agua debe presentar niveles adecuados de inocuidad, limpieza y calidad. Es importante realizar análisis y tratamientos para poder tener parámetros fisicoquímicos y microbiológicos adecuados (Orozco Lab, 2024).

El agua es un recurso disponible en diferentes entornos y de distintas fuentes. Una de estas fuentes es el agua de lluvia, como parte natural del ciclo hidrológico. El sistema de captación del agua debe ser adecuado para el uso que se le desee dar al agua de lluvia recolectada. El sistema debe asegurar el mantenimiento e incluso el mejoramiento de la calidad de agua de lluvia recolectada (Romero et al., 2013).

Existen diversos métodos para la recolección del agua de lluvia que pueden afectar la calidad del agua. Dado que el agua de lluvia se recolecta en un ambiente abierto no controlado, se debe realizar revisiones constantes del mantenimiento limpio del sistema de recolección. Existen factores externos que pueden introducir contaminantes al agua de lluvia, como introducción de sustancias ajenas y contaminación cruzada causada por seres vivos, tanto animales como humanos. El agua de lluvia puede ser almacenada en tanques modulares exteriores, los cuales permiten el uso de la gravedad para la distribución del agua. Los depósitos dispensadores están conectados al sistema de recolección de agua de lluvia, lo cual tiene un nivel de almacenamiento inferior. Los tanques subterráneos permiten almacenar mayores cantidades de agua, sin embargo, se debe diseñar un sistema de distribución de agua por bombeo (Structuralia, 2021).

El agua de lluvia recolectada se puede destinar para usos agrícolas. La agricultura es una industria con una elevada demanda del recurso hídrico. Siendo un recurso con tan alta demanda y que requiere ser utilizado de forma respetuosa, el uso de agua de lluvia para el riego de cultivos es una alternativa para cuidar el agua potable proveniente del sistema de distribución, la cual puede ser destinada a la ingesta humana. El agua de lluvia no es apropiada para la ingesta humana, pero si puede ser apta para su utilización en la agricultura. Los cultivos se pueden beneficiar del uso de agua de lluvia, ya que es una fuente que naturalmente se usa para el riego de los cultivos. El agua de lluvia que se recolecta se almacena para poder usarla durante épocas de sequía, donde la lluvia no riega naturalmente los cultivos (Shaxson y Barber, 2005).

b. **Identificación de contaminantes comunes en el agua recolectada** De acuerdo con la Norma COGUANOR 29001, existen características físicas y organolépticas que se deben medir y comparar con rangos establecidos para poder determinar si el agua es apta o no para el consumo humano. A continuación, se presentan las características que se miden, así como una descripción del procedimiento para realizar la medición.

a **Color:** el color de agua indica la tonalidad de la muestra. El color de agua se mide en unidades de color en la escala de platino-cobalto. Esta escala es un espectro de colores base que sirven para determinar la claridad del agua. Se utilizan muestras de calibración y soluciones que, mientras más mayor valor presenten, mayor es la oscuridad del color de la muestra (Laboratorio ABM, 2023).

b **Olor:** el olor del agua puede ser un indicador de más contaminantes, sin embargo, es un parámetro que puede no afectar la calidad global del agua. El olor del agua para consumo humano no debe ser desagradable. Cuando hay presencia de mal olor, se puede atribuir a la presencia de desechos de la tierra, microorganismos como moho o coliformes y presencia muy elevada de elementos como cloro y hierro (San Francisco Water Power Sewer, 2022).

■ **Turbiedad:** también conocida como la turbidez, es un parámetro que utiliza unidades nefelométricas de turbiedad para medir la cantidad de partículas que se encuentran suspendidas en la muestra. Estas partículas pueden ser de tamaños muy pequeños para ser percibidas individualmente por el ojo humano, sin embargo, en conjunto, estas hacen que la turbiedad de la muestra aumente. Estas partículas aparecen en el agua por haber estado en contacto con organismos, partículas de suelo, y residuos de origen humano. Para realizar la medición de este parámetro, se utilizan varias metodologías, como el turbidímetro, el cual es un aparato diseñado para medir la muestra a partir de una muestra base de comparación (Hanna, s. f.).

■ **Conductividad eléctrica:** esta característica se conoce también como salinidad del agua, las cuales están descompuestas en iones cargados negativa y positivamente. Estos iones son los que permiten la transmisión de la energía eléctrica a través del agua, es decir, la conductividad del agua. Para medir la conductividad eléctrica, se puede utilizar una sonda eléctrica que induce una carga, luego se disminuye para medir la resistencia del agua, la cual es equivalente a la conductividad eléctrica. Cuando la conductividad del agua es muy elevada, se pone en riesgo el bienestar de los seres vivos, tanto animales como vegetales, que la consumen (Boards, s. f.).

■ **pH:** el potencial de hidrógeno mide la acidez o alcalinidad de una muestra de agua. Se mide en una escala que va del 0 a 14, siendo 0 el límite inferior de acidez. La acidez es causada por la concentración de iones de hidrógeno en la muestra. Un pH inadecuado puede interferir en procesos de desinfección, y puede ser dañino para los entes consumidores. Existen diversos métodos para medir el pH, como el uso de sondas y medidores multiparamétricos (Higiene Ambiental, s. f.).

■ **Sólidos disueltos:** se refiere a los residuos que quedan en la muestra de agua. Estos pueden representar cualquier compuesto orgánico o inorgánico, como sales, elementos químicos como metales y minerales. A diferencia de los sólidos totales, los sólidos disueltos abarcan

únicamente los sólidos restantes en la muestra después de pasar por un proceso de filtración. Este es un parámetro que también se puede medir con un instrumento multiparamétrico (Carbotecnia, 2021).

- **Cloro residual libre:** el cloro residual libre es una combinación de ácido hipocloroso e hipoclorito. Es el cloro que sobra en el agua después de haberlo usado para desinfección. Excesivos niveles de cloro pueden alterar el olor del agua. Se pueden utilizar medidores manuales y automáticos que miden la cantidad de cloro residual libre en unidad de miligramos (Blue-White, 2023).
- **Cloruro:** la presencia del cloruro en el agua puede deberse a varios factores, incluso dependiendo de las características propias del terreno de donde venga o que atravesase, se pudo haber extraído de ahí. Sin embargo, la concentración de cloruro que ese presente en el agua puede deberse también a causas antropogénicas como productos químicos (Higiene Ambiental, 2024).
- **Dureza total:** se refiere a la cantidad total de iones de calcio y de magnesio en el agua. En lenguaje coloquial, la dureza se describe como sarro. La dureza del agua afecta su sabor y puede alterar el funcionamiento de artefactos, ya que se pueden provocar estancamientos de agua por acumulación de sarro. La dureza también se mide con un aparato multiparamétrico (BBVA, 2023).
- **Elementos y compuestos químicos en el agua:** algunos de los elementos regulados por la norma COGUANOR 29001 son el aluminio, el calcio, zinc, cobre, magnesio y hierro total. La presencia de estos elementos químicos se realiza con métodos analíticos de laboratorio, siendo algunos de estos la absorción atómica y la espectrofotometría (Hanna, s. f.).
- **Coliformes totales y E. coli:** La presencia de coliformes y E. coli en el agua es inadmisibles, ya que estas pueden provocar enfermedades gastrointestinales. Existen métodos de laboratorio para detectar la presencia de coliformes totales y E. coli en la muestra de agua (Swistock, 2023).

c. **Métodos de tratamiento y purificación** Si el agua recolectada no cumple con los parámetros que hacen que pueda ser clasificable como apta para el consumo humano, es necesario realizar los tratamientos pertinentes. El agua debe tener un nivel de purificación que sea apta para el consumo humano, sin embargo, el consumo humano no hace referencia estrictamente a la ingesta humana, sino, a su uso en actividades cotidianas o industriales, como aplicaciones en la industria agrícola. Se puede usar un tipo de filtro o una secuencia de distintos filtros dependiendo de la cantidad de sedimentos/organismos que contiene el agua que se recolecta (Rainy Filters, s. f.).

Existen tanques de previo filtrado, los cuales consisten en remover las partículas más grandes que se encuentran en el agua, ya sea partículas orgánicas o inorgánicas, tierra, plantas y otros contaminantes de tamaño considerable introducidos por los seres humanos. El filtrado se realiza con un tamiz o una serie de tamices con diferentes tamaños de partículas, y estos pueden ser colocados en un sistema de flujo vertical u horizontal. El tamiz horizontal necesita más mantenimiento que los filtros de tamices verticales, sin embargo, las tecnologías modernas incluyen filtros que se limpian y se mantienen de manera automática (Rainy Filters, s. f.).

Siguiendo el proceso, es necesaria la filtración no solo a escala macroscópica, sino también a una escala microscópica, a través de unos cartuchos con filtros especializados capaces de atrapar partículas con una granulometría significativamente menores. Tecnologías como el uso de membranas que presurizan el agua a través del filtro hacen que el proceso de filtración sea más meticuloso. Existen métodos más simples como el uso de diferentes gravas y arenas, incluso esponjas, para recopilar sedimentos y desechos físicos del agua (Rainy Filters, s. f.).

Al finalizar la filtración mecánica del agua, se procede a realizar la desinfección necesaria. Es importante remover los elementos, compuestos, microorganismos y bacterias que resulten dañinos para el uso humano del agua, y esto se realiza con el uso de desinfección. Dentro de los procesos que se utilizan esta la ósmosis inversa y la luz ultravioleta. La radiación de luz ultravioleta elimina microorganismos no deseados, y el proceso de osmosis inverso utiliza una membrana que filtra el agua para eliminar compuestos químicos y minerales (Rainy Filters, s. f.).

Para tratar el olor y el color del agua, el proceso más adecuado es el sometimiento del agua de lluvia recolectada a través de un filtro de carbón (Rainy Filters, s. f.).

d. Comparación de la calidad del agua con normativas En Guatemala, las normas que regulan la calidad del agua para el consumo humano son las normas COGUANOR. Estas consisten en un conjunto de normas, acuerdos gubernativos y decretos que determinan los parámetros que se deben medir en una muestra de agua para poder clasificarla según su calidad. Estas normas no solo definen los parámetros que una muestra de agua debe cumplir para poder ser utilizada y consumida, sino también establecen los parámetros que la muestra de agua debe de cumplir para poder ser desechada en el entorno pertinente (Hernández, 2020).

El seguimiento de las normas de sanidad y calidad del agua no son de carácter obligatorio, sin embargo, es indispensable el seguimiento de estas para prevenir brotes de enfermedades o peligros resultantes de usar agua de mala calidad.

Características	LMA	LMP
Color	5.0 u	35.0 u ^(a)
Olor	No rechazable	No rechazable
Turbiedad	5.0 UNT	15.0 UNT ^(b)
Conductividad eléctrica	750 $\mu\text{S}/\text{cm}$	1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ^(d)
Potencial de hidrógeno	7.0-7.5	6.5-8.5 ^(c,d)
Sólidos totales disueltos	500.0 mg/L	1000.0 mg/L

^a Unidades de color en la escala de platino-cobalto.

^b Unidades nefelométricas de turbiedad (UNT).

^c En unidades de $\mu\text{S}/\text{cm}$.

^d Límites establecidos a una temperatura de 25 °C.

Cuadro 1
Características físicas y organolépticas del agua para consumo humano
 (COGUANOR, 2005).

Características	LMA (mg/L)	LMP (mg/L)
Cloro residual libre ^(a)	0.5 u	1.0
Cloruro (<i>Cl</i>)	100.0	250.0
Dureza total (<i>CaCO₃</i>)	100.0	500.0
Sulfato (<i>SO₄²⁻</i>)	100.0	250.0
Aluminio (<i>Al</i>)	0.050	0.100
Calcio (<i>Ca</i>)	75.0	150.0
Zinc (<i>Zn</i>)	3.0	70.0
Cobre (<i>Cu</i>)	0.050	1.500
Magnesio (<i>Mg</i>)	50.0	100.0
Manganeso total (<i>Mn</i>)	0.1	0.4
Hierro total (<i>Fe</i>) ^(b)	0.3	—

^a El Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social será el ente encargado de indicar los límites mínimos y máximos de cloro residual libre según sea necesario o en caso de emergencia.

^b No se incluye el LMP porque la OMS establece que no es un riesgo para la salud del consumidor a las concentraciones normales en el agua para consumo humano sin embargo el gusto y apariencia del agua pueden verse afectados a concentraciones superiores al LMA.

Cuadro 2
Características químicas del agua para consumo humano
(COGUANOR, 2005).

Grupo	LMP ($\mu\text{g/L}$)
<u>Compuestos organoclorados</u>	
Aldrín y Dieldrín	0.03
Clordano	0.20
Clorotolurón	30.00
DDT y sus metabolitos	1.00
Endrín	0.60
Lindano	2.00
Metoxicloro	20.00
Pentaclorofenol	9.00
<u>Ácidos fenoxi</u>	
2,4-D	30.00
2,4-DB	90.00
2,4,5-T	9.00
Mecoprop	10.00
Dicloroprop	100.00
MCPA	2,00
<u>Fumigantes</u>	
1,2-Dicloropropano	40.00
1,3-Dicloropropeno	20.00
DBCP (1,2-Dibromo-3-cloropropano)	1.00
<u>Triazinas</u>	
Atrazina	2.00
Simazina	2.00
<u>Acetanilidas</u>	
Alacloro	20.00
Metolacloro	10.00
<u>Carbamatos</u>	
Aldicarb y sus metabolitos	10.00
Carbofurán	7.00
Isoproturón	9.00
Molinato	6.00
Pendimetalina	20.00
<u>Amidas</u>	
Di(etil-hexil)ftalato	8.00
Trifluralín	20.00
<u>Organofosforados</u>	
Carbofurán	7.00
Clorpirifós	30.00
Dimetoato	6.00

Cuadro 3

*Sustancias plaguicidas que son perjudiciales a la salud
(COGUANOR, 2005).*

Compuesto	LMP ($\mu\text{g/L}$)
Ácido edético	600.00
Ácido nitrilo triacético	200.00
Benceno	10.00
Cloruro de vinilo	0.30
o-diclorobenceno	1000.00
p-diclorobenceno	300.00
1,2-dicloroetano	30.00
1,1-dicloroetano	30.00
1,2-dicloroetano	50.00
cis-1,2-dicloroetileno	50.00
trans-1,2-dicloroetileno	50.00
Diclorometano	20.00
1,2-dicloropropano	40.00
Di(2-hetilhexil)ftalato	8.00
1,4-dioxano	50.00
Estireno	20.00
Etilbenceno	300.00
Hexacloroburadleno	9.00
Tetracloruro de carbono	4.00
Tetracloroetano	40.00
Tolueno	700.00
Tricloroetano	20.00
Xileno	500.00

Cuadro 4

Substancias orgánicas que son perjudiciales a la salud
(COGUANOR, 2005).

Sustancia	Concentración máxima (mg/L)
Arsénico (<i>As</i>)	0.01
Bario (<i>Ba</i>)	0.70
Boro (<i>B</i>)	0.30
Cadmio (<i>Cd</i>)	0.003
Cianuro (<i>CN</i>)	0.07
Cromo total (<i>Cr</i>)	0.05
Mercurio total (<i>Mg</i>)	0.001
Plomo (<i>Pb</i>)	0.01
Selenio (<i>Se</i>)	0.01
Nitrato (NO_3^-)	50.00
Nitrito (NO_2^-)	3.00

Cuadro 5

Relación de sustancias inorgánicas que son perjudiciales a la salud
(COGUANOR, 2005).

Microorganismos	LMP
Agua para consumo directo Coliformes totales y E. coli	No detectables en 100mL de agua
Agua tratada que entra al sistema de distribución Coliformes totales y E. coli	No detectables en 100mL de agua
Agua para consumo directo Coliformes totales y E. coli	No detectables en 100mL de agua

Cuadro 6
Valores para verificar la calidad microbiológica del agua
(COGUANOR, 2005).

Características	Valor Máximo Aceptable	Observaciones
Radioactividad alfa total	0,10 Bq/L	Si se sobrepasa el valor límite, es necesario un análisis más detallado de los radionúclidos.
Radioactividad beta total	1,0 Bq/L	

Cuadro 7
Valores para aspectos radiológicos en agua
(COGUANOR, 2005).

Radiación	Indicador	Límites
Alfa artificial	Americio 241	0,1 Bq/L
Beta artificial	Estroncio 90	1,0 Bq/L
Gamma artificial	Cesio 137	No definido

Cuadro 8
Radionúclidos indicadores y sus valores guía en agua
(COGUANOR, 2005).

E. Normativas y estándares de calidad del agua aplicables a la captación de agua de lluvia en Guatemala

En Guatemala, la entidad encargada de realizar normas, acuerdos y decretos para la certificación de la calidad del agua es el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. La principal norma que se puede aplicar a la captación de agua de lluvia en Guatemala es el agua para consumo humano o agua potable. Esta norma define la calidad del agua para clasificarla como admisible para el consumo humano y no admisible para el consumo humano. Esta norma específica en el campo de aplicación que la fuente puede provenir desde un pozo, nacimiento, río, entre otras, por lo que, aunque no se especifique el agua llovediza como una fuente, se puede utilizar esta para dictar la calidad de la lluvia para el consumo humano. Las únicas aguas que excluye esta norma para el consumo humano son las aguas envasadas y las aguas carbonatadas (COGUANOR, 2013). Los parámetros que se miden según la norma COGUANOR 29001 son:

Característica	LMA	LMP	Unidad
Análisis Microbiológico			
Coliformes totales	-	No deben ser detectables en 100 mL de agua	-
Escherichia coli	-	No deben ser detectables en 100 mL de agua	-
Análisis Fisicoquímico			
Color	5	35	u
pH	7.0-7.5	6.5-8.5	Unidades de pH
Cloro residual libre	0.5	1.0	mg/L
Dureza total	100.0	500.0	mg/L
Calcio	75.0	150.0	mg/L
Nitratos	-	50	mg/L
Hierro total	0.3	-	mg/L
Turbiedad	5.0	15.0	UNT
Conductividad	750	1500	µS/cm
Cloruros	100.0	250.0	mg/L
Sulfatos	100.0	250.0	mg/L
Magnesio	50.0	100.0	mg/L
Nitritos	-	3.0	mg/L
Manganeso total	0.1	0.4	mg/L
Metales			
Aluminio	0.050	0.100	mg/L
Arsénico	-	0.010	mg/L
Cianuro	-	0.070	mg/L
Cobre	0.050	1.500	mg/L
Cadmio	-	0.003	mg/L
Mercurio total	-	0.001	mg/L
Cromo total	-	0.050	mg/L
Plomo	0.010	-	mg/L
Selenio	-	0.010	mg/L
Zinc	3.0	70.0	mg/L
Sólidos totales disueltos	500.0	1000.0	mg/L
Sustancias orgánicas	Depende del compuesto	Depende del compuesto	µg/L

Cuadro 9
Parámetros medibles por la Coguanor 29001
(COGUANOR, 2013).

VI. METODOLOGÍA

El agua es un recurso esencial para la vida y la sostenibilidad ambiental, el cual enfrenta desafíos cruciales en regiones urbanas como Mixco, Guatemala. A pesar de ser uno de los recursos naturales más abundantes en el planeta, la disponibilidad de agua limpia y segura es una preocupación creciente en muchas comunidades urbanas, y Mixco no es la excepción. La rápida urbanización, el crecimiento demográfico y la falta de infraestructura adecuada de tratamiento de agua han exacerbado la presión sobre los recursos hídricos locales.

En este contexto desafiante, las evaluaciones de la eficiencia de un sistema de captación de agua de lluvia en viviendas urbanas surgen como una solución prometedora y sostenible. Su captación y el aprovechamiento no solo pueden contribuir a aumentar la disponibilidad de agua para uso doméstico y agrícola, sino que también pueden reducir la presión sobre los recursos hídricos locales y mitigar los impactos negativos de la urbanización descontrolada en el ciclo hidrológico. Por lo tanto, la opción de sistemas de captación de agua de lluvia adecuados para las condiciones locales de Mixco se vuelve una opción muy viable y una prioridad urgente. Estos sistemas no solo deben ser eficientes en la recolección y almacenamiento de agua de lluvia, sino también seguros y accesibles para la población urbana. Además, es crucial evaluar la viabilidad técnica, económica y social de estos sistemas, así como su impacto potencial en la salud pública y el medio ambiente local.

El objetivo principal de esta investigación fue realizar un análisis comparativo para evaluar las diferentes variantes que existen en sistemas de captación de agua de lluvia, con el fin de poder determinar cuál es la opción más viable y adaptable a las condiciones y demandas del municipio. La intención fue brindar una sugerencia de sistemas de captación de lluvia con el fin de darle el mejor uso y reúso al recurso del agua.

Fase 1: Revisión de literatura: se realizó una revisión exhaustiva de la literatura científica y técnica relacionada con la captación de agua de lluvia y la gestión del agua. Esto proporcionó una base teórica sólida que permitió identificar las mejores prácticas y tecnologías disponibles en el campo, así como también estudios previos relevantes en el contexto guatemalteco y de áreas como Mixco.

Fase 2: Recopilación de datos climáticos, de precipitación y socioeconómicos: se recopilaron datos climáticos históricos y de precipitación en Mixco. Esto incluyó el análisis de patrones de precipitación para comprender la disponibilidad y distribución temporal del agua de lluvia en la zona de estudio, además de información sobre los ingresos de las personas del municipio, tipo de vivienda, acceso a servicios básicos, etc.

Fase 3: Evaluación de los sistemas de captación de agua de lluvia: se identificaron y seleccionaron los sistemas de captación de agua más relevantes y que más se ajustan al contexto de Mixco. Posteriormente, se evaluó su capacidad de almacenamiento, eficiencia, costo de implementación y mantenimiento, durabilidad, entre otros.

Fase 4: Análisis y comparación de los sistemas más adaptables a Mixco: según los datos recopilados y la evaluación de los sistemas, se hizo un análisis comparativo de sus características y resultados, teniendo en cuenta la demanda de agua que existe y el contexto del municipio para hacer

la selección más viable del sistema de captación de agua de lluvia.

Fase 5: Conclusiones y recomendaciones: se elaboró una conclusión en base a los resultados obtenidos en el análisis comparativo, haciendo énfasis en el sistema más adaptable a las condiciones de Mixco. Además, se propusieron recomendaciones para futuras investigaciones que busquen implementar un sistema de captación de agua de lluvia con condiciones similares a las de Mixco.

VII. RESULTADOS

A. Características climáticas de Mixco

1. Descripción general del clima en Mixco

Según informes de estaciones meteorológicas, Mixco es un área con bastante precipitación. En el municipio se presenta una temporada lluviosa la mayor parte del año, pues llueve considerablemente desde mayo hasta finales de octubre o inicios de noviembre. Registra una precipitación promedio anual de 1672 mm, siendo junio el mes que más precipitación registra con un promedio para el 2023 de más de 280 mm, mientras que, por otro lado, enero fue el mes que menos registró con tan solo 7 mm (Weather Atlas, 2023). Este dato coloca al municipio de Mixco en una zona de alta precipitación, lo que genera alta humedad y climas templados, debido a sus características topográficas.

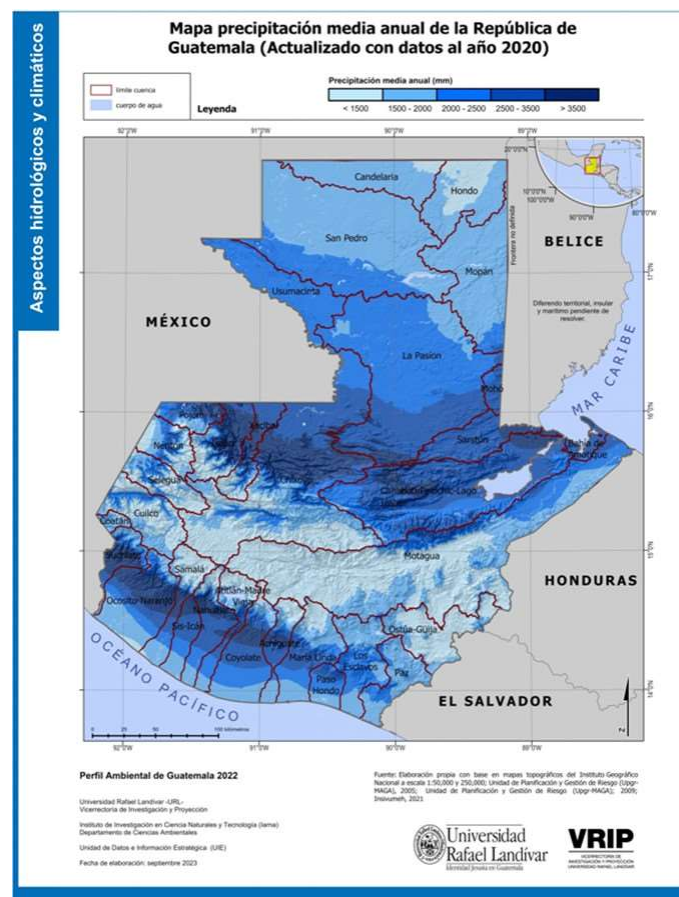


Figura 5. Mapa de precipitación media anual de la República de Guatemala (Universidad Rafael Landívar, 2022).

2. Variaciones estacionales de temperatura y precipitación

Mixco es un área fuertemente influenciada por su topografía y por su ubicación geográfica. Se ubica a 1600 metros sobre el nivel del mar y es generalmente de un clima templado donde predominan de manera clara dos estaciones, la estación seca y la lluviosa (Pereira, 2006).

Durante la temporada seca del año, la precipitación es mínima, pues se alcanzarán valores de aproximadamente 7mm de precipitación para los meses de enero y febrero y se mantienen temperaturas de cercanas a los 25° C. Estas características, junto con la baja humedad del terreno, afecta a muchos, pues significa escases de agua afectando no solo su salud sino a sectores como la agricultura, que es una de las principales fuentes de ingreso de las familias (Pereira, 2006).

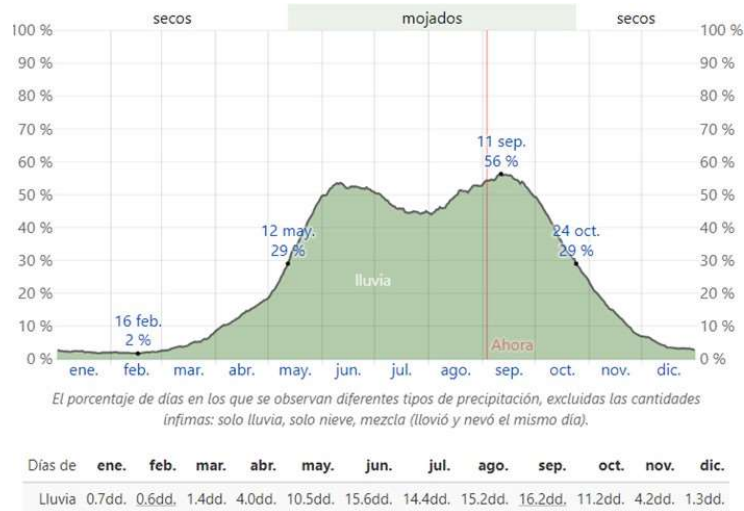


Figura 6. Probabilidad de precipitación para el 2024 (Cedar Lake Ventures, 2024).

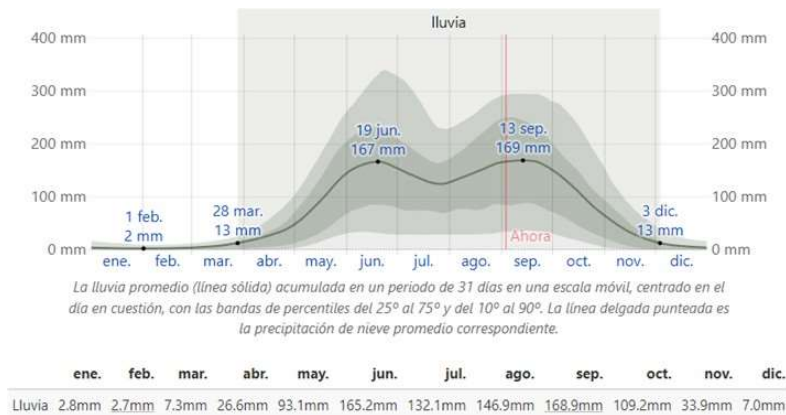


Figura 7. Promedio mensual de lluvia en Mixco 2024 (Cedar Lake Ventures, 2024).

Por otro lado, la temporada lluviosa se extiende desde mayo hasta octubre y se caracteriza por

las fuertes precipitaciones, pues las lluvias llegan a superar los 280mm de precipitación mensuales. Es notorio el brusco incremento en la precipitación de la zona de una temporada a otra, gran parte de este cambio se puede atribuir a la influencia de la zona de convergencia intertropical, esta es una franja de presiones bajas que se encuentra alrededor de toda la zona ecuatorial por la cual fluyen vientos (Pereira, 2006).



Figura 8. Zona de convergencia intertropical en estación lluviosa de Centroamérica (Franco, 2016).

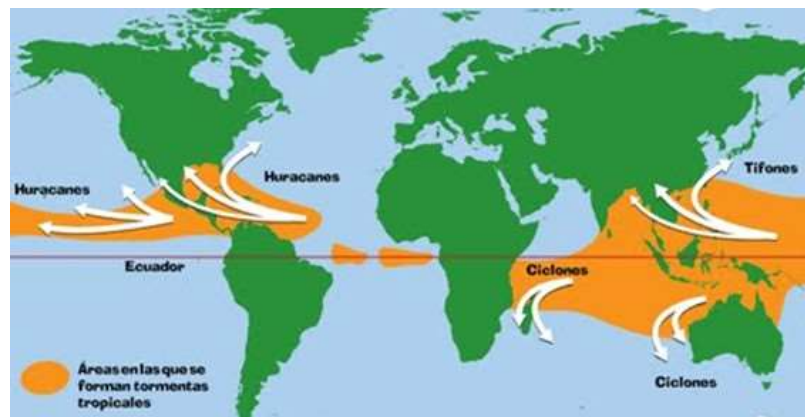


Figura 9. Áreas donde se forman tormentas tropicales por ZCIT (Franco, 2016).

3. Análisis histórico de precipitación

Los registros históricos de los niveles de precipitación de Mixco muestran un patrón distintivo, con muchas variaciones significativas de la época seca a la época lluviosa, a lo largo de los años y según se ha registrado, registra a enero y a febrero como los meses más secos y de menos precipitación, con valores de 7 a 10 mm de precipitación en promedio (Microsoft Start, 2024). Por otro

lado, la época lluviosa que se extiende desde el mes de mayo hasta finales de octubre, tiene su pico de lluvias durante el mes de junio y otra repuntada en comienzos de octubre o finales del mes de septiembre con un promedio de precipitación de 280 mm y 269 mm respectivamente (Climate Data, 2024).

Es evidente que durante julio y agosto sucede una canícula, que es un periodo donde predomina el calor y la humedad y precipitación de la zona baja (CONRED, 2021). Este período es bastante común en la zona de Centroamérica y se puede deber a varios factores, entre esos a la disminución temporal de la influencia de la zona de convergencia intertropical (ZCIT), ya que debido a la canícula la ZCIT es desplazada hacia el norte, lo que resulta en una disminución en la precipitación de la zona. También puede deberse a que los vientos alisios tienden a ser más fuertes en este periodo y debido a esto no llevan consigo la cantidad de humedad necesario lo que termina resultando en una reducción en la precipitación de la zona (Servicio Meteorológico Nacional, s. f.).

Es importante también destacar que la variabilidad en las lluvias que presenta Mixco puede también deberse a distintos hechos y fenómenos climáticos que han sucedido como lo son "El Niño" y "La Niña", estos fenómenos climáticos alteran directamente la distribución y cantidad de precipitación de la región. Por un lado, "El Niño" es un fenómeno que se destaca por traer un periodo de sequía, pues la precipitación de la zona disminuye, mientras que por otro lado "La Niña" hace que las precipitaciones de la zona aumenten (Meteoblue, 2023).

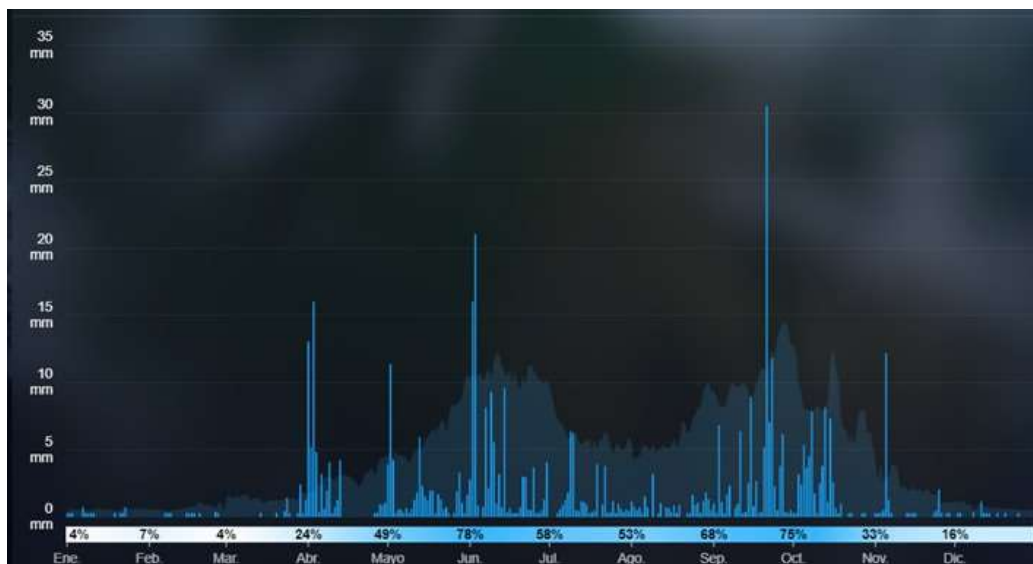


Figura 10. Precipitación diaria en Mixco durante el 2004 (Microsoft Start, 2024).

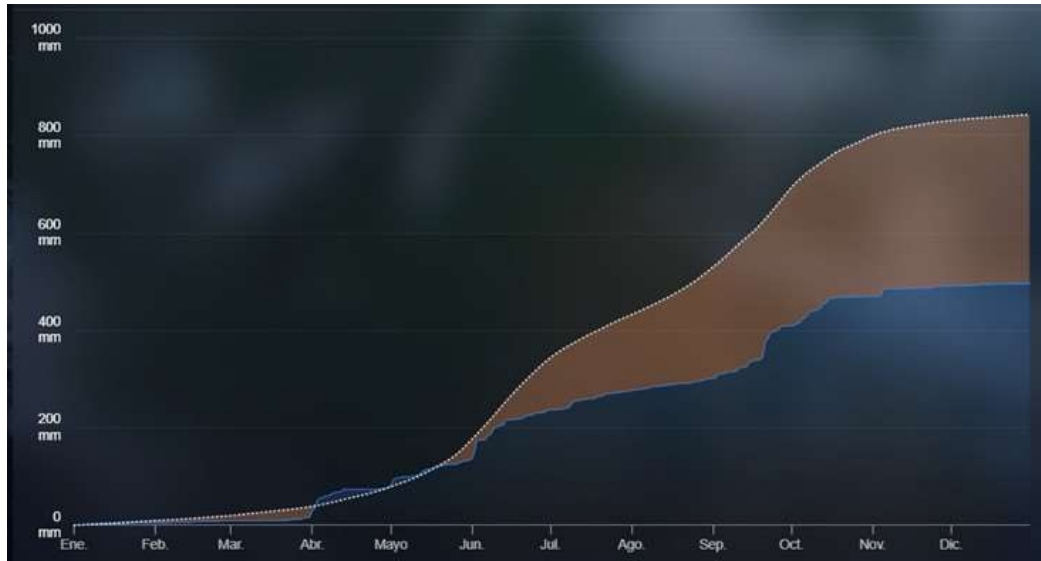


Figura 11. Precipitación acumulada en Mixco durante el 2004 (Microsoft Start, 2024).

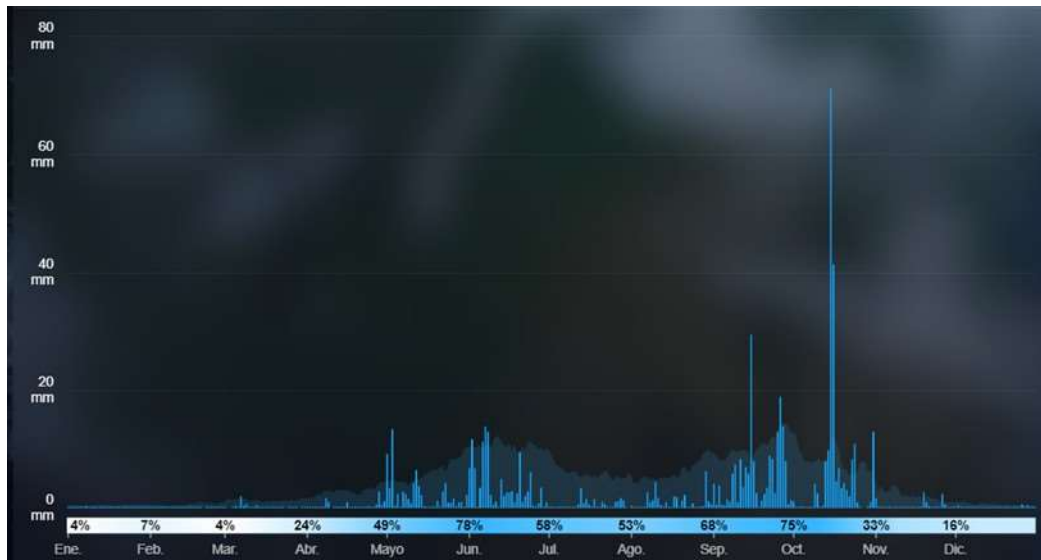


Figura 12. Precipitación diaria en Mixco durante el 2014 (Microsoft Start, 2024).

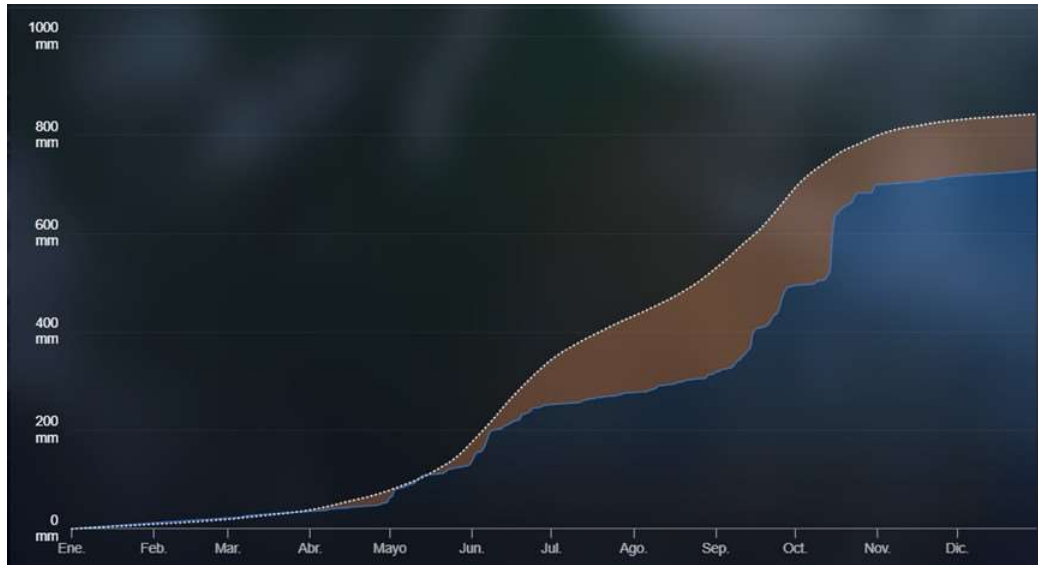


Figura 13. Precipitación acumulada en Mixco durante el 2014 (Microsoft Start, 2024).

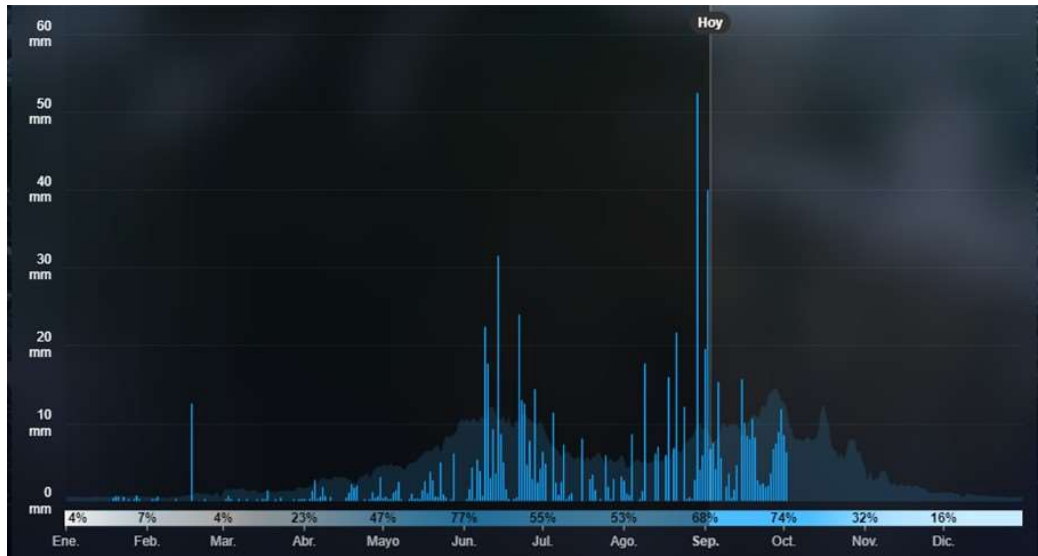


Figura 14. Precipitación diaria en Mixco durante el 2024 (Microsoft Start, 2024).

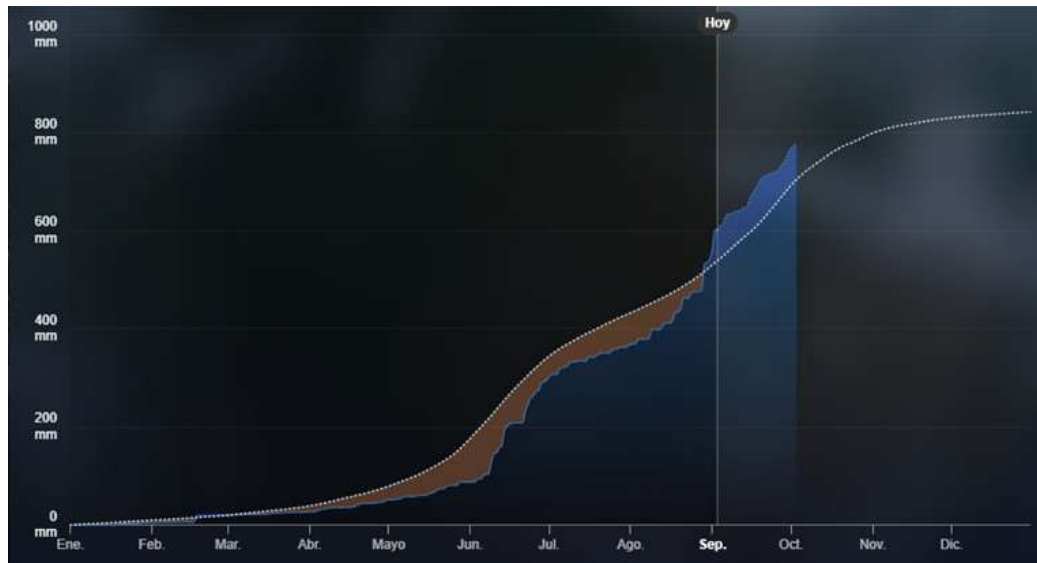


Figura 15. Precipitación acumulada en Mixco durante el 2024 (Microsoft Start, 2024).

4. Impacto del cambio climático en la precipitación local

La contaminación es uno de los principales factores que afectan y alteran directamente el cambio climático y este tiene un efecto directo sobre la precipitación en la zona. Los efectos del cambio climático los podemos ver en la cantidad, frecuencia, distribución, etc., pues las temporadas climáticas cada vez comienzan antes y son más largas. También son fuertes con registros más llamativos cada vez. Según indican una serie de estudios, la región de Mixco está experimentando una intensificación de los eventos, trayendo consigo sequías largas y lluvias fuertes en temporada seca, esto representa un efecto en los recursos hídricos, la agricultura y otras industrias asociadas.

Según muestra un estudio realizado por el INSIVUMEH, las temporadas lluviosas han cambiado con relación a su longevidad, pues ahora marcan un inicio tardío y una finalización temprana, lo que significa una duración de la temporada lluviosa más corta y que trae efectos directos en industrias como la agrícola (INSIVUMEH, 2020). Los modelos climáticos realizados, muestran que para zonas montañosas como es el caso de Mixco, se experimentarán bajones significativos en los niveles de precipitación anuales, mientras que áreas secas como zonas costeras podrían comenzar a sufrir de tormentas y lluvias más fuertes (CEPAL, 2018). Este efecto de distribución de las lluvias genera solamente un desequilibrio, pues zonas que no están diseñadas y adaptadas a ciertas condiciones climáticas comenzarán a sufrir estos fenómenos, también tendrá un efecto en la disponibilidad de agua y puede complicar la situación respecto a la escasez de agua.

El efecto del cambio climático también tiene efecto en la intensidad y la duración de las temporadas y canículas, un estudio realizado por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), dice que la canícula cada vez se ha vuelto más larga y con temperaturas más altas cada vez, generando sequías en temporada lluviosa y afectando directamente a la agricultura y a la población. Es probable que las proyecciones sigan indicando un aumento en los periodos de sequías y generando

problemas para las personas, esto desvela la necesidad que existe para generar un cambio para bien en el cambio climático y también en generar estrategias para poder adaptarse al cambio, así como mejorar la infraestructura en captación de agua (IPCC, 2021).

B. Características socioeconómicas de Mixco

Guatemala es un país tercermundista que cuenta con condiciones de vida en muchos casos escasa. En lo que respecta específicamente a Mixco, las condiciones y la calidad de vida puede variar dependiendo de la zona. En la ciudad capital los ingresos mensuales por persona oscilan desde los Q 3,500.00 hasta un máximo de Q7,000. Sin embargo, para Mixco los datos son un poco más duros, pues se estima que el ingreso mensual por persona está en los Q3,500 hasta Q5,000. No obstante, el promedio ronda más a la cifra menor de Q3,500 que equivale a un sueldo mínimo (Gamarro, 2023; Instituto Nacional de Estadística, 2022).

En lo que respecta a la calidad de vida de la población de Mixco, la mayor parte de la población vive en casas convencionales mayormente construidas con bloc y ladrillo, lo que hace que la construcción sea más económica y también estable y funcional. A pesar de ello, en zonas más rurales se pueden encontrar viviendas de adobe.

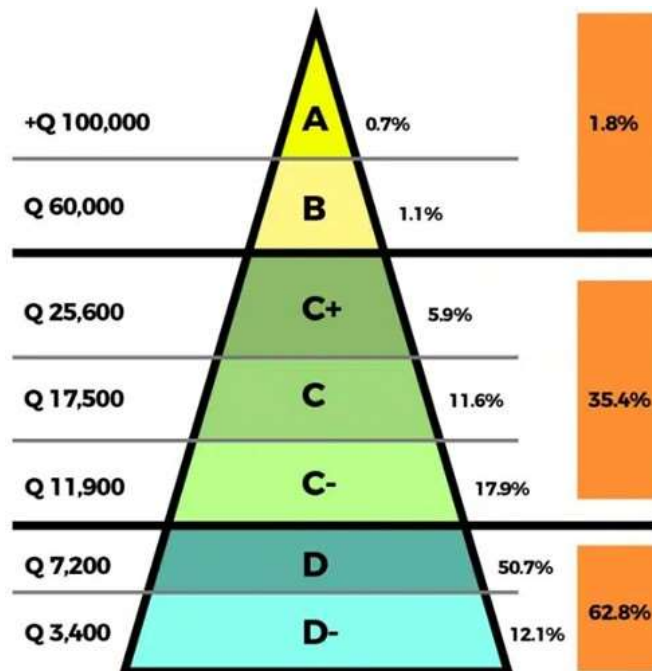


Figura 16. Pirámide socioeconómica de Mixco (Marketer, s. f.).

Mixco, al igual que la mayor parte del territorio guatemalteco, es un municipio que rige su economía por la agricultura. Uno de los factores importantes para la agricultura es el buen uso de suelo. Sin embargo, como se logra ver en la Figura 11, Mixco carece de una buena distribución de uso

de suelo, es evidente que el desorden y la mala distribución es una de las cosas que predomina. Pues podemos ver que el suelo para zonas agrícolas está mal distribuido y se puede entender que explotado por las pequeñas zonas que se encuentran. A pesar de ello, es un municipio que luego de áreas residenciales y áreas forestales, las áreas para uso agrícola son las que más predominan (Segeplan, s. f.).

En Mixco se cultivan muchas cosas, se manejan desde los cultivos más tradicionales como el maíz o frijol hasta cultivos más complejos. Desde hace ya varios años existen muchos sectores de la población que se dedican únicamente al cultivo, pues el suelo se presta mucho a funciones agrícolas como el cultivo. En el municipio de Mixco, se cultiva desde productos comunes como maíz y frijol, hasta tomate, chile pimiento, hasta incluso aguacates. Esto por ser lo más novedoso y a su vez ser rentables para los agricultores (Segeplan, s. f.).

La condición del suelo y del clima son condiciones climáticas favorables para la agricultura y la población ha hecho uso de eso sacando provecho, han generado empleo y la economía ha comenzado a tener vistos positivos. Dentro de los cultivos que más destacan se encuentra el maíz, abarcando un 90 %, aun así, la producción de este producto ha bajado pues según indican se logra una cosecha de 3 a 4 costales y esto no representa ni siquiera las 100 lb de producto. Así también el frijol, ha bajado su rendimiento pues se logra un promedio de entre 3 a 10 lb de frijol lo que se considera muy bajo para la inversión (Segeplan, s. f.).

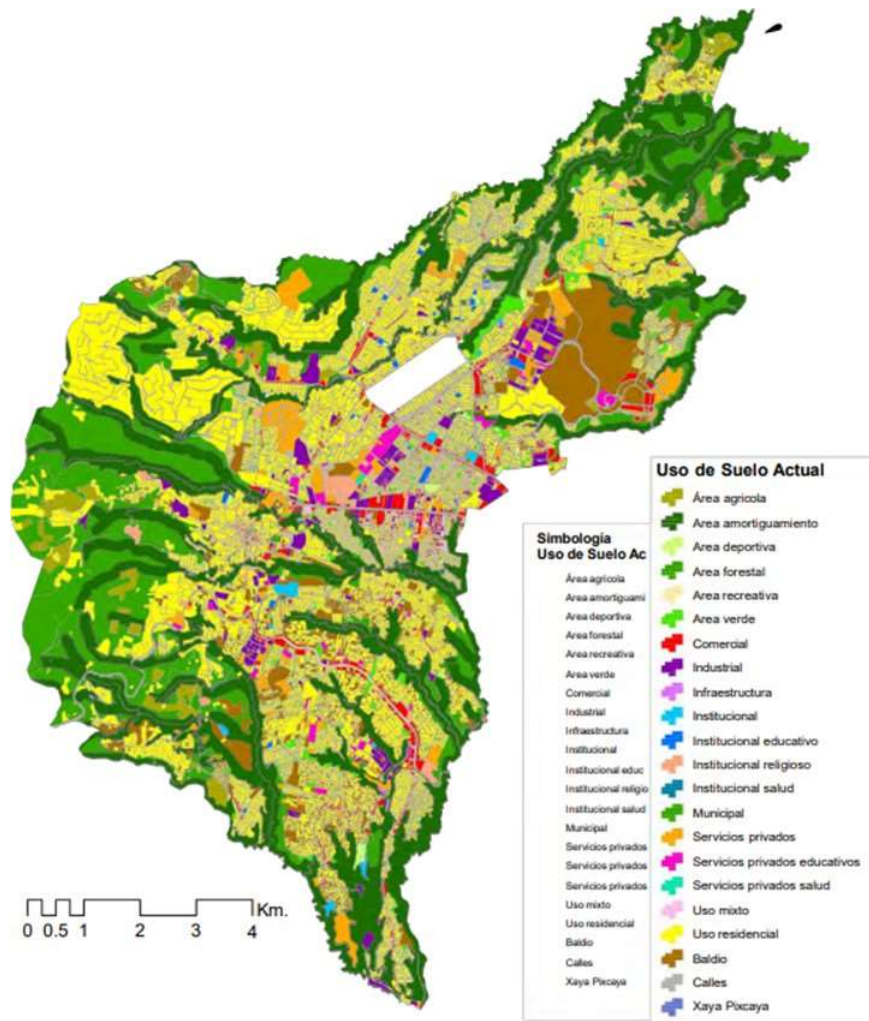


Figura 17. Uso de suelo de Mixco del año 2018
 Reporte local voluntario Mixco 2022
 (Municipalidad de Mixco, 2022).

C. Disponibilidad hídrica en Mixco

1. Evaluación de la disponibilidad de agua superficial y subterránea

Mixco, vive una situación desafiante en lo que respecta a la disponibilidad del recurso hídrico. La fuerte y creciente contaminación, crecimiento poblacional, crecimiento urbano y sobreexplotación de acuíferos ha dado como resultado una situación de estrés hídrico para el municipio guatemalteco que afecta a todas las personas de la zona, tanto en áreas rurales como urbanas.

Mixco es un área con diversa cantidad de cuerpos de agua, desde ríos hasta quebradas como se puede ver en la Figura 12, estas son fuentes importantes para el abastecimiento de agua de la población. Sin embargo, la calidad del agua se ha visto afectada gravemente por la contaminación que

existe y también por el mal uso de suelo que le da la población. El Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) ha informado que el nivel y calidad de agua en los ríos y otros cuerpos de agua de la región ha disminuido significativamente durante todo el año, pero principalmente en la temporada seca (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología e Hidrología, 2014).



Figura 18. Ríos de Mixco
(Municipalidad de Mixco, 2021).

De igual manera, Mixco no cuenta con la calidad de infraestructura necesaria para la captación y distribución de agua superficial para poder abastecer a toda su población, pues de igual manera la mayor parte de las fuentes de agua superficiales son intermitentes, lo que quiere decir que dependen principalmente de la recarga de agua en temporada de lluvia (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología e Hidrología, 2018). Por otro lado, las aguas subterráneas juegan un papel crucial para el abastecimiento de las personas en Mixco. Sin embargo, el acuífero principal que se ha vuelto la fuente principal que abastece al municipio ha sido sobreexplotado durante ya algunas décadas, lo que ha llevado a un descenso en los niveles freáticos que, a su vez, han traído un incremento en costos de extracción del recurso y un empeoramiento en los niveles del agua (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 2017).

Estudios realizados por el MARN han revelado que la tasa de extracción de agua supera significativamente la tasa de recarga natural del acuífero, lo que compromete su estado y su sostenibilidad a largo plazo. Este acuífero se ve constantemente sobreexplotado y sufre de contaminación por actividades agrícolas, industriales, entre otras, que se han vuelto realmente una amenaza para la calidad del agua subterránea (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 2019).

Es importante comenzar a tomar acción para mantener y mejorar los cuerpos y fuentes de agua con un enfoque que busque la sostenibilidad de los recursos hídricos, considerando la protección de las fuentes, como la regulación de extracción del recurso. Así también, la implementación de infraestructura para captación y recolección de agua, la promoción e implementación de normas para protección y manejo de aguas y las mejores prácticas de industrias agrícolas son una de las cosas que podrían funcionar para mejorar la calidad y disponibilidad del recurso del agua en la zona de Mixco (CEPAL, 2018).

2. Problemas de abastecimiento de agua en zonas urbanas

El municipio de Mixco es uno de los municipios que cuentan con más población de todo el país. Según el último censo realizado por la INE, se estima que la población de Mixco se encuentra entre las 500,000 a 600,000 personas. Se estima que por persona se utilizan aproximadamente 100 a 150 litros por persona por día (Guzmán, 2014). Esto se puede traducir, para una población aproximada de 600,000 personas en 60,000 a 90,000 metro cúbicos de agua.

Mixco obtiene su agua de pozos gestionados por la Empresa Municipal de Agua (Empagua). A pesar de esto, es uno de los lugares del país que más problemas de agua enfrenta, pues la escasez de agua es significativa. Mucho de este problema se debe al mal manejo que se le da al recurso hídrico y la contaminación. Un ejemplo claro de ello es la interconexión de pozo entre el Naranja y Minerva, pues se supone que este pozo produciría 600 galones por minuto, pero por la falta de infraestructura y mal estado de la misma, este solo produce 50 galones por minuto (Álvarez y Pitán, 2016b).

Este es un claro ejemplo de la falta de abastecimiento y la falta de infraestructura para el manejo del agua que existe en Mixco. Tomando en cuenta el territorio de Mixco y sus características climáticas y geográficas, muchas personas, empresas y comunidades han tomado la iniciativa de utilizar SCALL para poder abastecer a sus personas y a su demanda (FUNCAGUA, 2019).

D. Diseño de sistemas de captación de agua de lluvia

1. Cálculo de la demanda de agua y estimación de la disponibilidad de agua de lluvia en Mixco

Para conocer la demanda de agua que tiene el municipio de Mixco es importante conocer factores clave sobre él. La precipitación media anual para Mixco es de 1672 milímetros y la proyección del último censo realizado en el país en el año 2018 indica que la población del municipio ronda en las 688,000 personas (Instituto Nacional de Estadística de Guatemala, 2018). Teniendo en cuenta

que una persona media realiza un consumo de 136 litros de agua per cápita. La demanda diaria para el municipio sería aproximadamente 93,568,000 litros, esto sería equivalente a 34.15 millones de metros cúbicos anuales.

En lo que respecta a la disponibilidad del recurso hídrico, como se mencionó anteriormente, Mixco tiene una precipitación anual media de 1672 milímetros, o ya sea bien 1.2 metros (Cedar Lake Ventures, 2023). Teniendo en consideración que del total del área se puede aprovechar hasta el 50 % que equivale a 66 kilómetros cuadrados, pues el municipio completo consta de 132 kilómetros cuadrados de área, teniendo en cuenta este valor, se puede decir que, Mixco podría captar un volumen anual de agua de lluvia de hasta 79.2 millones de metros cúbicos (Cedar Lake Ventures, 2023). Es importante hacer mención a que Guatemala no cuenta con una ley de manejo de aguas por lo que es recomendado que se realicen estudios para determinar la calidad del agua captada para poder definir el uso ideal que se le debe de dar.

Basados en los datos teóricos sobre la disponibilidad de agua de lluvia y la demanda de agua por parte de la población, es posible indicar que sí hay agua de lluvia suficiente para satisfacer las necesidades de la población. Sin embargo, es importante realizar un estudio y análisis de proyecto para tener en cuenta factores tales como el crecimiento poblacional (Cedar Lake Ventures, 2023). Es importante también tomar en cuenta, la alta inversión de infraestructura que habría que realizar para tener un sistema de captación, almacenamiento y tratamiento apto y que se logre dar abasto para toda la sociedad, igual de importante como la implementación de una ley de manejo de aguas para poder darle un mejor uso y conservación al manejo de aguas.

E. Consideraciones de diseño y normativas locales para sistemas de captación de agua residual

Para llevar a cabo una implementación de un sistema de captación de agua de lluvia es importante contemplar los factores técnicos, económicos y sociales. Dentro de los factores técnicos destacan la oferta y demanda, la oferta está cien por ciento y directamente relacionada con la precipitación que exista en la zona donde se desea implementar el sistema. Por otro lado, la demanda depende mucho de las necesidades y usos que se le quieran dar al agua captada, puede llegar a ser desde consumo humano o para sistemas de riego y drenajes (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2001).

El factor económico es el factor más importante, pues es indispensable conocer con cuánto capital se cuenta para realizar la inversión para poder hacer un buen manejo del dinero y distribuirlo de la mejor manera. Como existe una relación directa entre la oferta y la demanda de agua, que van desde el área de captación, la cantidad de agua a almacenar, estas se encuentran estrictamente ligadas al factor económico, este es muchas veces una gran restricción para proyectos, pues en muchos casos no se cuenta con el capital necesario para realizar toda la inversión deseada. Por esto es importante hacer un buen estudio para poder darle el mejor uso posible al capital con el que se cuenta (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2001).

En lo que respecta al factor social, en el caso de Guatemala es muy importante tener en consideración las costumbres y hábitos de las personas, pues Guatemala es un país que cuenta con más

de veinte grupos étnicos diferentes y cada uno de estos grupos cuenta con costumbres propias y diferentes, esto se vuelve un factor muy importante a tomar en consideración para poder trabajar con todas las personas sin faltarles el respeto. Así también, es importante incluir y discutir con la población de la comunidad las ventajas y desventajas que tendrá este sistema para conseguir que las personas estén dispuestas a colaborar. Realizar un análisis que vea la conveniencia de las diferentes soluciones grupales e individuales que esto brindará será de motivación para contar con el apoyo comunitario (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2001).

De igual forma, es importante conocer la zona de trabajo, es de suma importancia donde será implementado el sistema y las características propias del lugar. Es importante la cantidad de personas a las que cada sistema les estará brindando el agua, conocer la cantidad de agua de lluvia de la zona para poder hacer un estimado de la disponibilidad del recurso que tendrán, conocer la topografía del terreno para saber dónde se colocará la infraestructura y conocer así que tanta infraestructura se puede colocar en la zona y dónde, conocer el compromiso de la comunidad, compromiso para que no se dañe el material de trabajo y la comunidad lo cuide velando también por su mejor funcionamiento (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2001).

1. Capacidad actual de captación de agua en viviendas y zonas urbanas

La captación de agua de lluvia como alternativa para acceso al recurso hídrico para uso humano, es una solución bastante viable para mantener la gestión de recursos hídricos en zonas urbanas. Sin embargo, un problema que se enfrenta es que la capacidad que existe hoy en día para que zonas como estas puedan desarrollar sistemas de captación y almacenamiento es baja debido a que no cuentan con la infraestructura adecuada y suficiente. Estudios realizados en Guatemala han arrojado que una vivienda puede recolectar un promedio de 30 a 50 metros cúbicos de agua, teniendo en cuenta una precipitación anual de unos 1200 mm. Estas cantidades de agua pueden llegar a cubrir hasta incluso un 50 % de las necesidades de una familia para el uso de agua no potable, como para riego de jardines, limpieza y lavado, descarga de inodoros, etc. (González y Hernández, 2018).

Estudios en México, mostraron que el potencial de captación de agua de lluvia para las zonas urbanas podría llegar a cubrir hasta el 50 % de la demanda de agua de uso no potable de la población en temporada lluviosa. Estos resultados demostraron que, con la instalación de sistemas de captación de agua de lluvia en los techos de las viviendas de al menos 120 metros cuadrados, junto con la instalación de tanques de almacenamiento de 5000 L, serían efectivas y ayudarían a reducir la presión sobre los acuíferos que funcionan como fuentes de agua para la población (CONAGUA, 2020).

De igual modo en El Salvador se realizó un programa piloto que reveló que el implementar un sistema de captación de agua de lluvia en viviendas de clase media y clase baja, afectaría de manera positiva para reducir el costo del agua para la población. Esto ayudaría a los cuerpos de agua a mantenerse mejor y no ser sometidos a explotación. Pues la prueba dice que más del 6 % de las viviendas urbanas se podrían ver beneficiadas por la captación de agua de lluvia (Ministerio de Obras Públicas y de Transporte, 2019).

En Guatemala, actualmente no existe ninguna ley acerca del manejo de aguas o nada que regule el recurso del agua en general. Sin embargo, la realidad de Mixco no es muy lejana a otras ciudades

de América Latina, como la de Ciudad de México o San Salvador. Una prioridad debe de ser la de implementar una ley de aguas que ayude a la población y que obligue a proteger y conservar el recurso y a los cuerpos de agua. La construcción de sistemas de captación y almacenamiento de por lo menos 500 L por vivienda para poder cumplir con la exigencia mínimas de agua no potable para una familia, así como también el sistema de filtrado para la limpieza superficial del agua. Es importante generar conciencia en la población para que se tenga el apoyo comunitario para el trabajo y se logre cumplir de la mejor manera posible (Ministerio de Obras Públicas y de Transporte, 2019).

F. Proyecciones y escenarios futuros

1. Factores que limitan o favorecen la implementación de un SCALL en Mixco

La alta y abundante precipitación que existe en Mixco durante la temporada lluviosa, la hace en comunidad ideal para implementar sistemas de captación de agua de lluvia. Si a esto se le agrega que el recurso del agua es escaso para la población y cada vez la disponibilidad del recurso es más limitada, le da un contexto muy bueno para aportar en el cuidado del recurso del agua. Se han ido implementando campañas y talleres comunitarios para capacitar y educar a la población sobre lo que son y la importancia de los SCALL y del agua, esto ha dado como resultado un aumento en el interés de la población queriendo ayudar y beneficiarse de la implementación de un sistema de captación de agua de lluvia (Gobierno de Guatemala, 2024).

Mixco también cuenta con ciertas desventajas para justificar la implementación de un sistema de captación de agua de lluvia, la falta de infraestructura adecuada para estos sistemas y sus costos elevados. Pues la inversión inicial para un sistema de captación de agua de lluvia es alta, de hecho, es uno de los factores principales por el que muchas otras personas dijeron que no implementarían un sistema en su vivienda o comunidad, pues consideran la inversión muy alta, sin conocer cómo esta les traerá beneficios a corto plazo. (Gobierno de Guatemala, 2024).

2. Escenarios de implementación masiva de SCALL

La implementación a gran escala de sistemas de captación de agua de lluvia, tiene una gran proyección, pues en un escenario ideal se contribuiría mucho a la sostenibilidad hídrica y al mantenimiento de los cuerpos de agua que actualmente sostienen a la comunidad del municipio. Una de las posibles opciones que se podría implementar es la de incluir un sistema de captación de agua en los nuevos proyectos de construcción de vivienda y zonas comerciales, pues es precisamente en estas dos áreas donde más agua se consume por la cantidad de personas que fluyen y con la implementación de un sistema de captación se podría llegar a reducir hasta en un 40 % o hasta incluso un 50 % la demanda de agua potable que existe (Curimilma, 2020).

Otro posible escenario para la implementación de sistemas de captación de agua de lluvia es en infraestructura pública, como plazas o paradas de bus. En estas zonas suelen estar techadas para la protección de los ciudadanos y la implementación de SCALL podría ayudar a reducir la escorrentía superficial que se genera. Así también, la implementación en zonas de escuelas, centros e institutos, donde toda el agua que se recolecte se utilice para riego e incluso para descarga de inodoros podría

ser una de las soluciones y aportes para reducir el consumo de agua. Este tipo de estrategias promueve una buena práctica e implementación del sistema y cuidado del recurso y a su vez funcionaría como ejemplo para que se siga implementando a lo largo del territorio guatemalteco.

Como en todo lo relacionado al manejo del agua en Guatemala es de suma importancia que se comiencen a generar normativas y leyes para la protección del agua e implementación de sistemas de captación. De igual manera, generar un marco normativo que impulse a la población la implementación de sistemas de captación, generar incentivos económicos tipo subsidios para poder reducir la inversión inicial. De la mano de esto, va la concientización y educación de la población, para que de este modo se cuente con su colaboración para protección, mantenimiento y buen funcionamiento del sistema de captación (Hill, 2016).

3. Impacto esperado en la sostenibilidad

La implementación de sistemas de captación de agua de lluvia, pueden llegar a generar un impacto muy positivo y significativo en la población, pues el mejoramiento de los acuíferos y en la sostenibilidad hídrica será muy notorio y beneficioso. Como primer lugar, con la implementación de los sistemas de captación de agua ayudaran reduciendo el estrés hídrico que sufren los acuíferos subterráneos, de donde hoy se extrae el agua. Además de eso, el aporte que generarán reduciendo la escorrentía superficial que se forma en época lluviosa, por consiguiente, también reducirán el efecto de la erosión de suelo y la cantidad de contaminantes y desechos en los cuerpos de agua y medio ambiente (Hill, 2016).

La implementación de un sistema de captación de agua también apoyará en la relación y unidad de la comunidad, pues las personas trabajarán juntas velando por el buen funcionamiento y mantenimiento del sistema, adicionalmente les brindará seguridad y más dependencia de contar con agua durante momentos complicados como la temporada seca, inundaciones o sequías. Esto además de mejorar y brindarle a la comunidad seguridad hídrica, también promueve una buena práctica y cuidado del sistema, pues funciona como garantía de agua para la comunidad y promueve una gestión eficiente (Curimilma, 2020).

Esto puede llegar a funcionar como motor para generar estrategias y normativas en un contexto urbano y rural para generar un desarrollo sostenible con el uso de nuevas tecnologías e infraestructuras, que aporten a mantener y cuidar los recursos y el ambiente. Del mismo modo, puede ser el punto de partida para que las construcciones de vivienda, uso público y demás, comiencen a implementar sistemas de captación de agua de lluvia para mejorar no solo la disponibilidad del recurso o la calidad de ellos, sino que también mejorando la calidad de vida y una mejor relación con el entorno (Hill, 2016).

G. Comparación de sistemas de captación de agua de lluvia

1. SCALL con tanques superficiales

En el siguiente cuadro comparativo se presentan los dos tipos de sistemas de captación de agua de lluvia con almacenamiento superficial que mejor se lograrían adaptar a las condiciones de Mixco, los tinacos y las bolsas de geomembrana. A continuación, se detallan las principales características que las muestran como opciones viables para el contexto de Mixco, se detalla su capacidad de almacenamiento, funcionamiento, ventajas que puede aportar, costos, etc.

El sistema de captación de agua de lluvia de tinacos consiste en depósitos normalmente de polietileno que son diseñados para almacenar agua de forma segura en lugares expuestos a la intemperie. Estos tanques tienen una estructura tricapa que evita que la luz solar ingrese al tanque evitando así la formación de algas. Los tinacos pueden variar su capacidad entre 500 hasta 5,000 litros y son normalmente utilizados en zonas rurales y urbanas donde el acceso al agua es bastante limitado.

Por el otro lado, las bolsas de geomembrana son un sistema de almacenamiento de agua que se conforma de materiales impermeables para poder retener el agua. Su instalación es sencilla, pero dependen de un terreno completamente plano. En lo que respecta a la capacidad de almacenamiento, pueden llegar almacenar hasta 20,000 litros de agua. Este tipo de sistemas es muy utilizado en zonas desérticas que suelen afrontar sequías constantes.

SCALL con tanques superficiales		
	Tinacos	Bolsas de geomembrana
Descripción del funcionamiento del sistema	Es un sistema de almacenamiento superficial en donde el agua de lluvia se almacena en depósitos o contenedores que se suelen instalar a la intemperie.	Sistema que utiliza bolsas impermeables de geomembrana para retener agua, estas son normalmente colocadas en llanuras y terrenos planos.
Capacidad de almacenamiento	Varía desde los 500 hasta los 5,000 litros.	Desde los 5,000 litros hasta más de 20,000 litros
Características	Tanque de polietileno con una tricapa para evitar el paso de luz solar y formación de algas.	Es de fácil instalación y manejo pero requiere un terreno casi completamente plano.
¿Dónde se ha implementado?	Es comúnmente utilizado en zonas rurales y urbanas que tienen un acceso limitado al agua.	Es utilizado en zonas de Honduras y de El Salvador para recolectar agua en zonas que se ven afectadas por periodos de sequías.
Rango de Precio de implementación en US dólares	Su implementación varía del tamaño de capacidad del tanque pero va desde los \$100 US hasta los \$500 US	Puede variar desde los \$500 y los \$2,000 US

Cuadro 10

Comparación de SCALL con tanques superficiales: tinacos vs. bolsas de geomembrana

2. SCALL con tanques subterráneos

De la misma forma, el Cuadro 11 muestra un análisis comparativo de los sistemas de captación de agua de lluvia con una alternativa de almacenamiento subterráneo, presentando la cisterna de concreto y la tecnología de almacenamiento Aquacell, como las más adaptable al contexto de Mixco. Por un lado, las cisternas de concreto, como su nombre lo indica, están fabricadas de concreto, lo que les brinda una gran resistencia y las vuelve muy duraderas. Pueden llegar a almacenar más de 10,000 litros, es una opción bastante viable en zonas donde la demanda es elevada. Sin embargo, su instalación no solo es alta económicamente, sino que también requiere de un espacio lo suficientemente amplio para su instalación.

Por otro lado, los sistemas con tecnología Aquacell consisten en diferentes módulos de plástico que pueden enlazarse unos con otros, lo que les permite variar en su capacidad, pues depende directamente de la cantidad de módulos que hayan conectados. Este tipo de tecnología son una solución bastante eficiente en zonas donde el espacio reducido, pues estos módulos brindan flexibilidad para poderse adaptar. Sin embargo, su alto aporte y características la vuelven una opción económicamente elevada.

SCALL con tanques subterráneos		
	Cisterna de concreto	Aquacell
Descripción del funcionamiento del sistema	Sistema de almacenamiento subterráneo donde el agua se transporta desde el techo hasta un tanque de cisterna de concreto.	Es un sistema de módulos subterráneos de captación y de almacenamiento de agua de lluvia, por medio de celdas de plástico que son reutilizables.
Capacidad de almacenamiento	Suelen retener más de 10,000 litros.	Depende de la cantidad de módulos, pues pueden llegar hasta varios miles de litros.
Características	Material resistente que brinda mayor capacidad y durabilidad, aunque implica un costo mayor. Necesita de espacio para poder instalarse.	Eficiente en espacios difíciles, flexibilidad para adaptarse a distintas capacidades.
¿Dónde se ha implementado?	Zonas de América Latina, donde no se cuenta con espacio para tanques superficiales y la cantidad de agua a almacenar es alta.	Se utiliza en proyectos en áreas urbanas como centros comerciales y zonas residenciales.
Rango de Precio de implementación en US dólares	Desde los \$1,000 hasta los \$5,000 US	Desde unos \$200 US, aunque realmente depende del número de módulos y de la capacidad requerida.

Cuadro 11

Comparación de SCALL con tanques subterráneos: cisterna de concreto vs. aquacell

3. Sistemas mínimos viables para viviendas unifamiliares en Mixco

Luego de hacer el análisis comparativo de los sistemas de captación de agua de lluvia se seleccionaron el sistema de tinacos como la mejor opción de sistemas de captación de almacenamiento superficial y se seleccionó la cisterna de concreto como la mejor opción para el tipo de almacenamiento subterráneo. A continuación, se presentan distintas propuestas de sistemas de captación de agua de lluvia para una vivienda unifamiliar en Mixco, con propuestas para hogares con techos de lámina y techos de concreto, pues estos son los dos materiales más utilizados para la construcción en Mixco.

Se incluyen datos sobre la precipitación anual del municipio, la demanda de agua anual y diaria por hogar, así como el cálculo del potencial de captación de agua que cada sistema puede brindar según las características propias del área como el material de construcción. En la información básica se conoce la precipitación media anual de Mixco que es de 1,672 mm, también que según lo obtenido en el último censo un hogar en Mixco se compone aproximadamente de 4.5 personas que genera un consumo total de 612 litros diarios, o bien 223,380 litros anuales.

Para poder determinar la cantidad de agua que se puede llegar a captar, se utilizó la ecuación de: Área del techo (m^2) \times Precipitación media anual (mm) \times Coeficiente de eficiencia. Este coeficiente es propio de cada escenario pues depende de qué tipo de material se está utilizando para captar el agua, en este caso, de que material está construido el techo, este coeficiente es igual a 0.75 para techo de lámina y 0.70 para techo de concreto.

**PROPUESTA DE SCALL PARA VIVIENDA UNIFAMILIAR
CON TECHO DE LÁMINA Y ALMACENAMIENTO SUBTERRÁNEO**

INFORMACIÓN BÁSICA

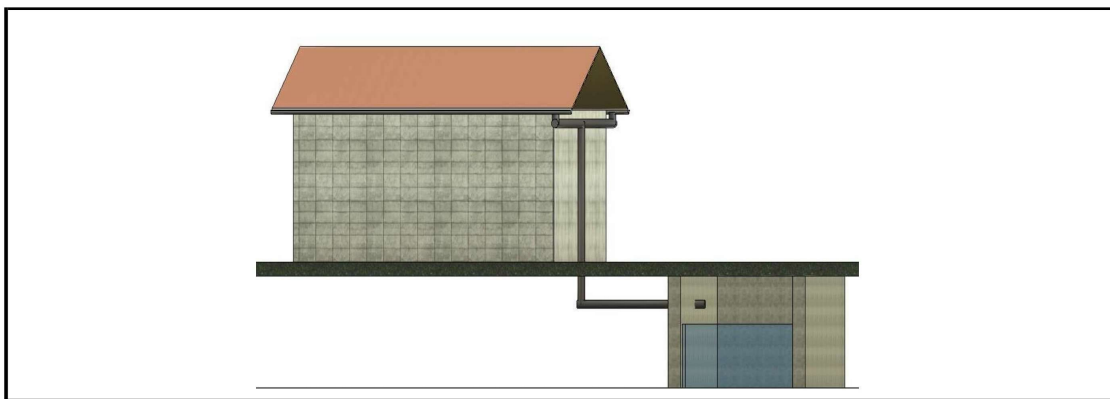
Precipitación Media Anual	1,672 mm
Personas por hogar en Mixco	4.5 personas
Demanda por persona diaria	136 L

PARA UN TECHO LAMINADO
$\text{Área de Techo (m}^2\text{)} * \text{Precipitación Media Anual (mm)}$ *Coeficiente de Eficiencia

Demanda diaria de un hogar en Mixco
$136 \text{ L} * 4.5 \text{ personas} = 612 \text{ L}$
223,380 L o 223.38 m^3 es la demanda anual de un hogar promedio en Mixco.

NOTA
El coeficiente de eficiencia depende del material del techo.
$70 \text{ m}^2 * 1,672 \text{ mm} * 0.75 = 87,937.5 \text{ L/año}$ $87.93 \text{ m}^3/\text{año}$

POTCALL



METRAJE CUADRADO DE TECHO VS. % DE AGUA A CAPTAR	
Para captar X% de demanda de agua anual para un hogar	Se debe de tener X metros cuadrados de techo
20%	37.5 m ²
35%	65.62 m ²
50%	93.75 m ²
75%	140.6 m ²
90%	168.75 m ²
100%	187.5 m ²

RESUMEN
Con 70 m^2 de techo disponible para captación se puede almacenar hasta 87.93 m^3 de agua, que es equivalente al 40% de la demanda anual de un hogar en Mixco.

*Figura 19. Ficha técnica. Propuesta de SCALL con cisterna para casa con techo de lámina
Elaboración propia*

**PROPUESTA DE SCALL PARA VIVIENDA UNIFAMILIAR
CON TECHO DE LÁMINA Y ALMACENAMIENTO SUPERFICIAL**

INFORMACIÓN BÁSICA

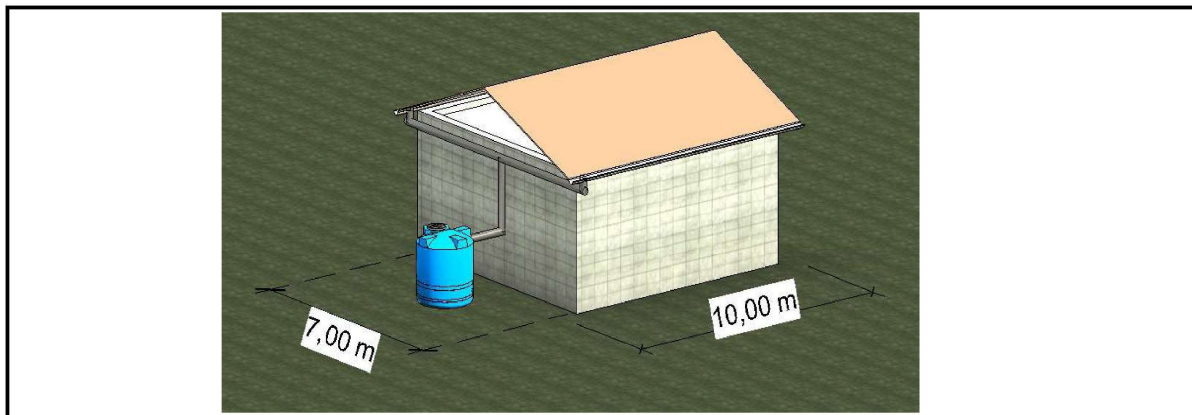
Precipitación Media Anual	1,672 mm
Personas por hogar en Mixco	4.5 personas
Demanda por persona diaria	136 L

PARA UN TECHO LAMINADO
Área de Techo (m ²)*Precipitación Media Anual (mm) *Coeficiente de Eficiencia

Demanda diaria de un hogar en Mixco
136 L * 4.5 personas = 612 L
223,380 L o 223.38 m ³ es la demanda anual de un hogar promedio en Mixco.

NOTA
El coeficiente de eficiencia depende del material del techo.
70 m ² * 1,672 mm * 0.75 = 87,937.5 L/año 87.93 m ³ /año

POTCALL



METRAJE CUADRADO DE TECHO VS % DE AGUA A CAPTAR	
Para captar X% de demanda de agua anual para un hogar	Se debe de tener X metros cuadrados de techo
20%	37.5 m2
35%	65.62 m2
50%	93.75 m2
75%	140.6 m2
90%	168.75 m2
100%	187.5 m2

RESUMEN
Con 70 m ² de techo disponible para captación se puede almacenar hasta 87.93 m ³ de agua, que es equivalente al 40% de la demanda anual de un hogar en Mixco.

*Figura 20. Ficha técnica. Propuesta de SCALL con tinaco para casa con techo de lámina
Elaboración propia*

**PROPUESTA DE SCALL PARA VIVIENDA UNIFAMILIAR
CON TECHO DE LOSA Y ALMACENAMIENTO SUBTERRANEO**

INFORMACIÓN BÁSICA

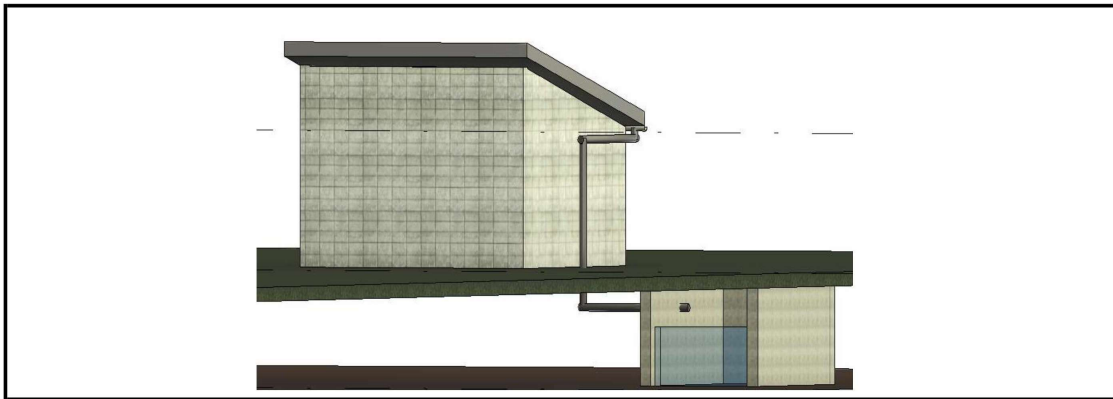
Precipitación Media Anual	1,672 mm
Personas por hogar en Mixco	4.5 personas
Demanda por persona diaria	136 L

PARA UN TECHO LAMINADO
$\text{Área de Techo (m}^2\text{)} * \text{Precipitación Media Anual (mm)}$ $* \text{Coeficiente de Eficiencia}$

Demanda diaria de un hogar en Mixco
$136 \text{ L} * 4.5 \text{ personas} = 612 \text{ L}$
$223,380 \text{ L o } 223.38 \text{ m}^3 \text{ es la demanda anual de un hogar promedio en Mixco.}$

NOTA
El coeficiente de eficiencia depende del material del techo.
$75 \text{ m}^2 * 1,672 \text{ mm} * 0.70 = 87,780 \text{ L/año}$ $87.78 \text{ m}^3/\text{año}$

POTCALL



METRAJE CUADRADO DE TECHO VS % DE AGUA A CAPTAR	
Para captar X% de demanda de agua anual para un hogar	Se debe de tener X metros cuadrados de techo
20%	37.5 m ²
35%	65.62 m ²
50%	93.75 m ²
75%	140.6 m ²
90%	168.75 m ²
100%	187.5 m ²

RESUMEN
Con 75 m^2 de techo disponible para captación se puede almacenar hasta 87.78 m^3 de agua, que es equivalente al 40% de la demanda anual de un hogar en Mixco.

Figura 21. Ficha técnica. Propuesta de SCALL con cisterna para casa con techo de concreto
Elaboración propia

**PROPUESTA DE SCALL PARA VIVIENDA UNIFAMILIAR
CON TECHO DE LOSA Y ALMACENAMIENTO SUPERFICIAL**

INFORMACIÓN BÁSICA

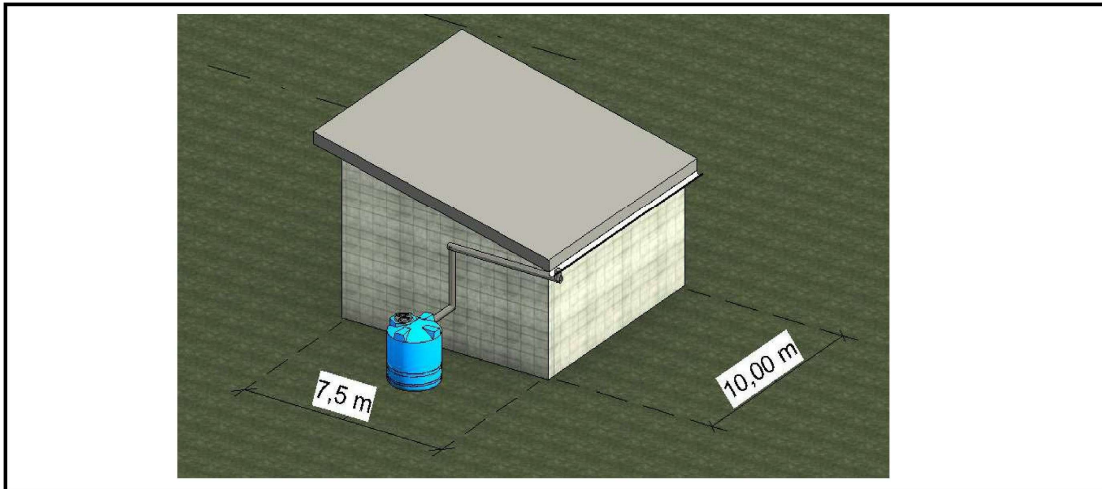
Precipitación Media Anual	1,672 mm
Personas por hogar en Mixco	4.5 personas
Demanda por persona diaria	136 L

PARA UN TECHO LAMINADO
Área de Techo (m ²)*Presipitación Media Anual (mm) *Coeficiente de Eficiencia

Demanda diaria de un hogar en Mixco
136 L * 4.5 personas = 612 L
223,380 L o 223.38 m ³ es la demanda anual de un hogar promedio en Mixco.

NOTA
El coeficiente de eficiencia depende del material del techo.
75 m ² * 1,672 mm * 0.70 = 87,780 L/año 87.78 m ³ /año

POTCALL



METRAJE CUADRADO DE TECHO VS % DE AGUA A CAPTAR	
Para captar X% de demanda de agua anual para un hogar	Se debe de tener X metros cuadrados de techo
20%	37.5 m ²
35%	65.62 m ²
50%	93.75 m ²
75%	140.6 m ²
90%	168.75 m ²
100%	187.5 m ²

RESUMEN
Con 75 m ² de techo disponible para captación se puede almacenar hasta 87.78 m ³ de agua, que es equivalente al 40% de la demanda anual de un hogar en Mixco.

Figura 22. Ficha técnica. Propuesta de SCALL con tinaco para casa con techo de concreto
Elaboración propia

Basado en todo lo demostrado anteriormente, conociendo el estado de la situación que afronta Mixco en relación a la disponibilidad del recurso del agua, se demuestra cómo la implementación de un sistema de captación de agua de lluvia puede realmente aportar significativamente para el consumo de agua de un hogar. Teniendo en cuenta las características sociales, la cantidad de personas por hogar, la precipitación e incluso el material de construcción de la mayor parte de los hogares.

Se presenta un diseño para un hogar con un sistema de captación de agua de lluvia implementado de forma superficial y subterránea que muestra el aporte y beneficio que un sistema de captación de agua puede aportar captando el cuarenta por ciento de la demanda de agua por hogar según la precipitación y consumo de los hogares. Así también se muestra un metraje cuadrado de techo en comparación a la cantidad de agua que se desee recolectar, esto muestra realmente que la implementación de un sistema de captación de agua de lluvia es realmente una alternativa bastante viable que puede aportar para reducir el gasto económico del agua y sumar al mejoramiento de los cuerpos de agua.

H. Selección de SCALL más apropiado para las zonas más necesitadas de Mixco

Evaluando todas las características de los distintos sistemas de captación y almacenamiento de agua de lluvia, se puede asumir que, el sistema que presenta las características más beneficiosas y que se adaptan mejor a las condiciones del terreno es el sistema de tinacos. Pues es un sistema de fácil instalación, los tinacos suelen instalarse sobre la superficie, hasta incluso en techos. Mientras que los sistemas subterráneos como la cisterna de concreto o el sistema de aquacell implican un proceso más largo y más caro de implementación, pues requieren excavación y un terreno lo suficientemente espacioso para la instalación. En el caso del sistema aquacell, es necesario también suficiente espacio, pues estos módulos suelen extenderse, por lo que es necesario tomar en cuenta la capacidad (Triton, 2018).

Debido a la alta población que hay en el municipio, un espacio amplio se vuelve limitado para la instalación de estos sistemas subterráneos se vuelve mucho más compleja, mientras que la facilidad de instalar un tinaco de gran capacidad en espacios más limitados y de forma rápida se vuelven un beneficio muy grande. Por otro lado, las bolsas de geomembrana al necesitar de una superficie plana para poderse instalar, se ven perjudicadas por la topografía tan accidentada (Global Water Partnership, 2018).

En lo que respecta a la capacidad de almacenamiento los tinacos pueden llegar almacenar hasta miles de litros de agua, lo que para uso residencial se vuelve una opción muy cómoda y útil. Así también los sistemas de geomembrana e incluso las cisternas de concreto, están diseñadas para almacenar cantidades superiores a los 10,000 litros de agua lo que puede llegar a ser demasiado para uso doméstico o residencial. Además, el espacio para poder instalar un sistema con capacidad de almacenamiento de 10,000 litros debe de ser grande y espacioso y esto significaría un impedimento (Global Water Partnership, 2018).

Otra ventaja que presentan los sistemas de captación y almacenamiento de agua de tinacos es su diseño de plástico de polietileno que, con la implementación de la tricapa, evita la formación y crecimiento de algas, evitando el ingreso de luz. Además, han demostrado ser de un material resistente y duradero que requiere de pocos servicios de mantenimiento, lo que es ideal para las familias de Mixco que no pueden permitirse pagar un mantenimiento costoso y seguido.

Mientras que, por otro lado las bolsas de geomembrana se prestan más a sufrir daños especialmente si la instalación y el mantenimiento no se realiza de forma correcta (Global Water Partnership, 2018). Por último, la cisterna de concreto destaca también por no necesitar de mantenimiento de forma seguida, pero sí requiere una inversión inicial mucho mayor en comparación al sistema de tinacos y el costo del mantenimiento también es más elevado. A esto hay que agregarle que el espacio y tiempo de instalación son mucho más elevados, pues debe de ser de manera subterránea, lo que eleva significativamente la inversión (Triton, 2018).

Por último hay que tomar en cuenta uno de los factores más importantes para la selección e implementación de un sistema de captación de agua de lluvia y es el costo que va a representar dicha instalación. El sistema de tinacos es sin duda y con mucha diferencia el sistema de captación de agua más económico para las condiciones de la población, pues la instalación e implementación de este tipo de sistemas puede cerrarse en hasta \$100 US, mientras que, por otro lado, los demás sistemas de captación representan una inversión mayor, no solo inicialmente sino que durante el tiempo para su mantenimiento (Triton, 2018). Queda evidenciado que los sistemas de tinacos representan la mejor opción para ser implementados, pues representan un sistema funcional, eficiente, útil y de fácil instalación, de un tamaño lo suficientemente grande para poder abastecer a la vivienda, de una inversión baja y de mantenimiento mínimo. Todas estas características hacen que el sistema de tinacos sea la mejor opción para comenzar a implementar en el territorio (Global Water Partnership, 2018).

I. Costos asociados a la implementación de un sistema de captación de agua de lluvia de tinacos



Figura 23. Componentes de un sistema de captación y almacenamiento de agua de lluvia domiciliario

Artículo	Cantidad	Precio unitario	Total
Tubo de 3" de 6 metros de largo de 125 psi	3	242.66	727.98
Canaleta de PVC de 3" de 3 metros de largo	4	139.00	556.00
Teflón	1	2.60	2.60
Codo a 45 grados de PVC para tubería de 3"	4	12.00	48.00
Tee de PVC para tubería de 3"	1	47.95	47.95
Codo a 90 grados de PVC para tubería de 3"	1	10.91	10.91
Tinaco de 1100 litros	1	400.00	400.00
Pegamento de PVC	1	10.75	10.75
Válvula de globo	1	60.00	60.00
Abrazadera Hangler de doble oreja de 3"	8	15.00	120.00
Tornillo de 3/8" busca rosca	16	1.50	24.00
Tarugo expansivo de 3/8"	16	2.53	40.48
TOTAL			Q 2,048.67

Cuadro 12
Materiales y costos

Un sistema de captación de agua de lluvia de tinacos, es un sistema que es realmente accesible a la población, pues es un sistema bastante efectivo y es económico, que es una de los requisitos más esenciales para el municipio. El sistema de tinacos destaca sobre los demás por ser bastante económico y tomando en cuenta su alta efectividad, su buen funcionamiento y su bajo costo, es sin duda la mejor opción para que varios hogares lo comiencen a implementarla por un costo aproximado de Q. 2,000.00. Esto permitirá a su vez que los hogares puedan tener acceso al recurso del agua de una manera más libre que a la que enfrentan al día de hoy, y así también, permitirá que cuerpos de agua puedan recuperarse y mejorar su estado y calidad.

VIII. CONCLUSIONES

- Los sistemas de captación de agua de lluvia se perfilan como una solución sostenible y eficiente para abordar los problemas de escasez de agua en el Municipio de Mixco, Guatemala. A través de este estudio, se ha comprobado que la implementación de estos sistemas puede contribuir significativamente a la mejora de la disponibilidad de agua para usos domésticos y otros usos no potables, al tiempo que reduce la presión sobre los recursos hídricos tradicionales.
- Se compararon diversos sistemas de captación de agua de lluvia disponibles en el mercado, evaluando su rendimiento y eficiencia en función de las características hídricas de Mixco. Los datos indicaron que los sistemas de captación de agua de tinacos son los más adecuados para viviendas unifamiliares en esta región. Estos sistemas destacan por su facilidad de implementación, capacidad de recolección y bajo costo, lo que los convierte en una opción viable para la comunidad local, en comparación con otros sistemas más complejos y costosos.
- En función de la evaluación de las zonas más necesitadas de Mixco, se concluyó que el sistema de captación de agua de tinacos es el más adecuado para las áreas urbanas con alta densidad poblacional y limitaciones de espacio. Este sistema no solo ofrece una solución accesible y de rápida instalación, sino que también maximiza el uso del espacio disponible, lo que es clave en zonas residenciales compactas. Además, su eficiencia en la recolección de agua pluvial lo convierte en una opción ideal para responder a las demandas de agua no potable en estas zonas.
- Se analizaron los costos asociados a la implementación del sistema seleccionado, y se concluyó que la opción de tinacos representa una inversión inicial accesible para la mayoría de los hogares en Mixco. Los costos de mantenimiento y operación también resultan bajos en comparación con otros sistemas en el mercado, lo que contribuye a su viabilidad económica. Esta accesibilidad económica, junto con los beneficios ambientales y sociales, posiciona este sistema como una solución sostenible para la comunidad de Mixco.
- La adopción de sistemas de captación de agua de lluvia, específicamente el sistema de tinacos, puede mejorar la disponibilidad de agua para usos no potables, aliviar la presión sobre los recursos hídricos locales y generar beneficios económicos para las comunidades de Mixco. La implementación de estos sistemas no solo contribuirá al manejo eficiente del agua en el municipio, sino que también promoverá prácticas sostenibles en la gestión de recursos naturales.

IX. RECOMENDACIONES

- Comparación de los sistemas de captación de agua de lluvia disponibles: Para futuras investigaciones, se recomienda continuar evaluando y comparando diferentes sistemas de captación de agua de lluvia, especialmente aquellos disponibles en el mercado guatemalteco. En el caso de Mixco y otras zonas urbanas similares, los sistemas de bajantes con tinacos resultan ser una opción ideal por su accesibilidad y adaptabilidad a espacios reducidos. Es importante seguir investigando nuevas tecnologías y posibles mejoras para optimizar estos sistemas, asegurando su eficiencia y durabilidad.
- En función de la necesidad de agua en distintas zonas de Mixco, se recomienda implementar el sistema de tinacos o tanques de almacenamiento, ya que se adapta bien a las áreas urbanas con limitaciones de espacio. En comunidades rurales o con mayores demandas de agua, es posible considerar sistemas con mayor capacidad de almacenamiento. Además, se sugiere colaborar con las autoridades locales y grupos comunitarios (COCODES y COMUDES) para asegurar el compromiso y la participación de la población, lo que garantizará el éxito y sostenibilidad de estos sistemas.
- Es fundamental que los futuros estudios y proyectos analicen los costos de implementación de los sistemas de captación de agua de lluvia, teniendo en cuenta las variaciones en el contexto socioeconómico de Mixco y otras regiones de Guatemala. La barrera económica es un reto a considerar, por lo que se recomienda buscar subsidios o incentivos del gobierno para hacer estos sistemas más accesibles a la población. También sería útil desarrollar programas de capacitación para que las comunidades comprendan el funcionamiento y mantenimiento de los sistemas, asegurando su uso efectivo y prolongado.

X. BIBLIOGRAFÍA

- ACONSA. (2020). Metales pesados en el agua potable: ¿deben preocuparnos? ¿se pueden minimizar? <https://aconsa-lab.com/metales-pesados-en-el-agua-potable/>
- Adler, L., y Carmona, G. (2008). Manual de captación de aguas de lluvia para centros urbanos.
- Agropinos. (2023). Todo lo que se necesita saber sobre la recolección de agua de lluvia para cultivo. <https://www.agropinos.com/blog/como-aprovechar-las-aguas-lluvias>
- Almarza, O. (2023). Los científicos encuentran microplásticos en el agua de lluvia: ¿qué consecuencias tiene esto para el planeta? <https://www.mundodeportivo.com/urbantecno/ciencia/los-cientificos-encuentran-microplasticos-en-el-agua-de-lluvia-que-consecuencias-tiene-esto-para-el-planeta>
- Álvarez, C., y Pitán, E. (2016). Falta de agua agobia varias zonas de Mixco. <https://www.prensaliere.com/guatemala/comunitario/falta-de-agua-agobia-varias-zonas-de-mixco/>
- Amanco Wavin. (2024). Aquacell. <https://wavin.com/es-gt/soluciones/sistema-aquacell>
- Barrera, P. (2022). Informe del Agua refleja Problema en el Área Metropolitana de Guatemala. <https://noticias.uvg.edu.gt/informe-del-agua-area-metropolitana-de-guatemala-oes-wwf/>
- Basán, Sánchez, Tosolini, Tejerina y Jordan. (2018). Sistemas de captación de agua de lluvia para consumo humano, sinónimo de agua segura. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000373146>
- BBVA. (2023). Qué es la dureza del agua y cómo afecta a su consumo. <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-la-dureza-del-agua-y-como-afecta-a-su-consumo/>
- Blue-White. (2023). Por qué son importantes los niveles de cloro libre y la forma sencilla de medirlos con precisión. <https://es.blue-white.com/article/why-free-chlorine-levels-matter-and-the-simple-way-to-accurately-measure/>
- Carbotecnia. (2021). Sólidos disueltos totales (TDS). <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/quimica-del-agua/solidos-disueltos-totales-tds>
- Cedar Lake Ventures. (2023). El clima y el tiempo promedio en todo el año en Mixco. <https://es.weatherspark.com/y/11673/Clima-promedio-en-Mixco-Guatemala-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- Cedar Lake Ventures. (2024). Climate and Average Weather Year Round in Mixco. <https://weatherspark.com/y/11693/Average-Weather-in-Guatemala-City-Guatemala-Year-Round>
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. (2001). Guía de Diseño para Captación del Agua de Lluvia. <https://www.aguasinfronterass.org/PDF/AGUA%20DE%20LLUVIA.pdf>
- CEPAL. (2018). Cambio climático y su impacto en la precipitación en Guatemala. <https://www.cepal.org/es/temas/recursos-naturales>
- Climate Data. (2024). Clima de Guatemala. <https://es.climate-data.org/america-del-norte/guatemala-229/>
- COGUANOR. (2005). Agua para consumo humano (agua potable). Especificaciones. <https://www.copresam.gob.gt/wp-content/uploads/2021/01/Norma-Tecnica-Guatemalteca-NTG29001.pdf>

- COGUANOR. (2013). Norma Técnica Guatemalteca. Agua para el Consumo Humano COGUANOR NTG 29001-2013. <https://www.copresam.gob.gt/wp-content/uploads/2021/01/Norma-Tecnica-Guatemalteca-NTG29001.pdf>
- CONAGUA. (2020). Potencial de captación de agua de lluvia en la Ciudad de México. <https://www.gob.mx/conagua>
- CONAGUA Panamá. (2021). Componentes de un Sistema de Cosecha de Aguas Lluvias. https://www.facebook.com/photo/?fbid=1950807121750002&set=pcb.1950807688416612&locale=nl_NL
- Conavi. (s. f.). Sistema de captación de agua pluvial. <https://siesco.conavi.gob.mx/doc/tecnicos/ecotecnologias/Ecotecnolog%C3%ADas%20Agua.pdf>
- CONRED. (2021). ¿Qué es la canícula? <https://conred.gob.gt/que-es-la-canicula/>
- Curimilma, S. (2020). Impacto socioeconómico de tecnologías de captación de agua en la región del Yeguaré, Honduras. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/e49f6c2e-eae6-491d-988a-926fa41da15d/content>
- Dirección Municipal de Planificación, Municipalidad de Mixco. (2018). Datos Generales del Municipio de Mixco. <https://siem.260mb.net/docs/infgenmix.pdf>
- Econova. (2022). Sistema de captación de agua pluvial en el entorno urbano. <https://econova-institute.com/sistema-captacion-pluvial/#:~:text=Un%20sistema%20de%20captaci%C3%B3n%20de,para%20minimizar%20la%20huella%20h%C3%ADdrica>
- ECOTEC. (2024). Sistemas de Captación de Agua de Lluvia (SCALL). <https://ecotec.unam.mx/ecoteca/colecta-de-agua-pluvial-como-medida-para-el-aprovechamiento-sustentable-de-la-energia>
- El Rey del Tanque. (2018). Sistemas de Captación Pluvial datos a tener en cuenta. <https://blog.elreydeltanque.com/2018/12/18/sistemas-de-captacion-pluvial-datos-a-tener-en-cuenta/>
- Franco, L. (2016). ¿Qué es la Zona de Convergencia Intertropical? <https://elclimaenguatemala.blogspot.com/2016/05/que-es-la-zona-de-convergencia.html>
- FUNCAGUA. (2018). Sistemas de Captación de Agua de Lluvia [pág 3]. <https://funcagua.org.gt/wp-content/uploads/2020/09/2018.-Manual-T%C3%A9cnico-Sistemas-de-captaci%C3%B3n-de-agua-de-lluvia.pdf>
- FUNCAGUA. (2019). Análisis piezométrico de pozos de agua para los municipios de la mancomunidad Gran Ciudad del Sur. <https://funcagua.org.gt/wp-content/uploads/2022/05/Documento-tecnico-2019-1.pdf>
- FUNCAGUA. (2021). Sistemas de Captación de agua de lluvia –SCALL–. <https://www.facebook.com/Funcagua/posts/es-%C3%A9poca-de-lluvia-%EF%B8%8F-%C3%A9poca-de-hablar-de-sistemas-de-captaci%C3%B3n-de-agua-de-lluvia-922675528285405/>
- FUNCAGUA. (2022). Informe del estado del agua de la región metropolitana de Guatemala 2022. <https://funcagua.org.gt/wp-content/uploads/2022/03/Informe-del-agua-2022-version-digital.pdf>
- FUNCAGUA. (2024). Clima en Guatemala. <https://funcagua.org.gt/clima-en-guatemala/>
- Gamarro, U. (2023). Según el INE, el promedio familiar en Guatemala es de Q. 7,039.18 y los gastos suman Q. 5,833.76. <https://www.prensalibre.com/economia/segun-el-ine-el-ingreso-promedio-familiar-en-guatemala-es-de-q7039-18-y-los-gastos-suman-q5833-76/>
- Gil, S. (2017). Estudio Hidrológico de la cuenca del Río María Linda. <https://icc.org.gt/books/estudio-de-hidrologico-de-la-cuenca-del-rio-maria-linda/>
- Global Water Partnership. (2018). Implementación de Sistema de Cosecha de Agua de Lluvia con Bolsa de Geomembrana en Honduras y El Salvador. https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cam_files/estudio-de-caso---scall-sv.pdf

- Gobierno de Guatemala. (2024). Aproveche de las lluvias para captación de agua. <https://guatemala.gob.gt/aproveche-las-lluvias-para-captacion-de-agua/>
- González y Hernández. (2018). Sistemas de captación de agua de lluvia en áreas urbanas de Guatemala.
- Guzmán, N. (2014). Evaluación del consumo de agua potable en la ciudad de Guatemala y los efectos del cambio climático. *LACCEI Conference*. <https://www.laccei.org/LACCEI2014-Guayaquil/RefereedPapers/RP052.pdf>
- Halcyon, A., Lusk, M. G., y Wilkie, A. C. (2023). COMMON POLLUTANTS IN STORMWATER RUNOFF AND ACTIONS THAT HOMEOWNERS CAN TAKE TO REDUCE STORM-WATER POLLUTION. <https://edis.ifas.ufl.edu/publication/SS720>
- Hanna. (s. f.). Importancia de la medida de Turbidez en inundaciones y lluvias torrenciales. <https://hannainst.es>
- Hernández, D. (2020). Tratamiento de agua lluvia con fines de consumo humano. *Revistas Unimilitar*. <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rcin/article/view/4409/3726>
- Higiene Ambiental. (s. f.). pH: Qué nos dice sobre la calidad del agua potable [2023]. <https://higieneambiental.com/pH-tratamiento-del-agua>
- Higiene Ambiental. (2024). ¿Qué nos dice el cloruro sobre la calidad del agua de consumo? <https://higieneambiental.com/calidad-del-agua-de-consumo-cloruro#:~:text=La%20presencia%20de%20cloruro%20en%20agua%20de%20consumo%20puede%20deberse,incrementarse%20debido%20a%20causas%20antropog%C3%A9nicas>
- Hill, P. (2016). Impacto ambiental y social de la captación de agua de lluvia en comunidades rurales. <https://upcommons.upc.edu>
- INSIVUMEH. (2020). Informe sobre el cambio climático y patrones de precipitación en Guatemala. <https://www.insivumeh.gob.gt>
- Instituto Nacional de Estadística. (2022). Publicación Mensual. <https://www.ine.gob.gt/precios-de-referencia/publicacion-mensual/>
- Instituto Nacional de Estadística de Guatemala. (2018). Población. <https://www.ine.gob.gt/>
- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología e Hidrología. (2014). Informe de disponibilidad hídrica en Guatemala. <https://insivumeh.gob.gt/>
- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología e Hidrología. (2018). Evaluación de los recursos hídricos en Guatemala. <https://insivumeh.gob.gt/>
- IPCC. (2021). Sixth Assessment Report: Impacts, Adaptation and Vulnerability. *Intergovernmental Panel on Climate Change*. <https://www.ipcc.ch/report/special-report-on-climate-change-and-cities/>
- JAPAC. (2018). Beneficios del sistema de captación pluvial rural. <https://japac.gob.mx/2018/07/16/beneficios-del-sistema-de-captacion-pluvial-rural/>
- Laboratorio ABM. (2023). Comprendiendo la medición del color en el agua potable mediante la Escala Platino-Cobalto (Pt-Co). <https://laboratorioabm.com/medicion-color-agua-potable-escala-platino-cobalto/>
- Marketer, J. (s. f.). Ingreso por nivel socioeconómico en Guatemala. <https://seonline.marketing/blog/ingresos-nivel-socioeconomico-guatemala/>
- Maury, S. (2019). Celda Aquacell. https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Celda-Aquacell-Pavco-Autor_fig1_355132549
- MAX Acero Monterrey. (2024). Cisterna de Concreto vs Cisterna de Plástico. <https://maxacero.com/blog/cisterna-de-concreto-vs-cisterna-de-plastico/>
- Meteoblue. (2023). Datos climáticos y meteorológicos históricos simulados para Mixco. <https://www.meteoblue.com>

- Microsoft Start. (2024). Tiempo histórico Mixco, Guatemala. [https://www.msn.com/es-xl/el-tiempo/records/in-Mixco, Guatemala?loc=eyJsljoiTWl4Y28iLCJyIjoiR3VhdGVtYWxhIiwiaYyI6Ikd1YXRlbWFsYSIsImkiOiJHVCIslnQiOjEwMiwi3D%3D&weadegreetype=C](https://www.msn.com/es-xl/el-tiempo/records/in-Mixco-Guatemala?loc=eyJsljoiTWl4Y28iLCJyIjoiR3VhdGVtYWxhIiwiaYyI6Ikd1YXRlbWFsYSIsImkiOiJHVCIslnQiOjEwMiwi3D%3D&weadegreetype=C)
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. (2017). Diagnóstico de la situación del agua subterránea en Guatemala. <https://www.marn.gob.gt/>
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. (2019). Estrategias de protección del agua subterránea en Guatemala. <https://www.marn.gob.gt/>
- Ministerio de Obras Públicas y de Transporte. (2019). Programa piloto de captación de agua de lluvia de San Salvador. <https://www.mop.gob.sv>
- Mohammed, T. A., Megat Mohd Noor, M. J., Noor, A. H., y Ghazali, A. H. (2006). Study on Potential https://www.researchgate.net/publication/229050053_Study_on_Potential_Uses_of_Rainwater Muhamad, A. b., y Muzaffar, Z. A. (2016). Water Quality Assessment of Rainwater Collected from Rooftop <https://civil.utm.my/wp-content/uploads/2016/12/Water-Quality-Assessment-of-Rainwater-Collected-from>
- Municipalidad de Mixco. (2021). Ríos de Mixco. <https://www.facebook.com/MunicipalidadDeMixco/posts/2491253001019023/>
- Municipalidad de Mixco. (2022). Reporte Local Voluntario Mixco 2022. https://sdgs.un.org/sites/default/files/vlrs/2022-12/digital_rlv_mixco_reduced.pdf
- Nuti, P. (2023). Filtro de agua del grifo - Los métodos más comunes de filtración del agua: ventajas e inconvenientes. <https://lavie.bio/es/los-m%C3%A9todos-m%C3%A1s-comunes-de-filtraci%C3%B3n-del-agua-ventajas-e-inconvenientes/#:~:text=La%20filtraci%C3%B3n%20mec%C3%A1nica%20%20utilizada%20a,las%20part%C3%ADculas%20s%C3%B3lidas%20en%20suspen%20si%C3%B3n>
- ONU. (2024). ¿Qué es el fósforo y por qué aumenta la preocupación por su impacto ambiental? <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/que-es-el-fosforo-y-por-que-aumenta-la-preocupaci%C3%B3n-por-su-impacto#:~:text=El%20exceso%20de%20f%C3%B3sforo%20al,un%20proc%20eso%20conocido%20como%20eutrofizaci%C3%B3n>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2013). Captación y Almacenamiento de Agua de Lluvia, Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe. <https://www.fao.org/4/i3247s/i3247s.pdf>
- Orozco Lab. (2024). La importancia del Análisis de Agua en la Salud Pública. <https://www.oroicolab.info/la-importancia-del-analisis-de-agua-en-la-salud-publica>
- Pereira, J. R. (2006). Comportamiento de la Zona de Convergencia Intertropical durante el 2006. <https://www.tiempo.com/ram/2791/comportamiento-de-la-zona-de-convergencia-intertropical-durante-el-mes-de-octubre-de-2006/#:~:text=La%20Zona%20de%20Convergencia%20Intertropical%20%20E%20%20CITCZ%20%20una,del%20sureste%20y%20del%20noreste>
- Pérez, C. (2017). El 95 % del agua se desperdicia en Guatemala debido a la contaminación ambiental. <https://www.prensalibre.com/ciudades/el-95-del-agua-se-desperdicia-en-guatemala-debido-a-contaminacion-ambiental/>
- Rainy Filters. (s. f.). Tipos de filtros. <https://www.rainyfilters.com/about-us/blogs/types-of-filter>
- Romero, J. A., Andrade, I., y Mora, F. (2013). Calidad del agua lluvia [PDF]. <https://escuelaing.edu.co>

- Ruíz, L., Castillo, I., y Socorro, M. (2023). Requerimientos mínimos en la captación de agua de lluvia para abastecimiento humano. En A. Ramírez, A. Espejel, A. Monterroso, A. Barrera & E. Rodríguez (Eds.), *Seguridad hídrica y alimentaria ante el cambio climático* (pp. 214-238). Editorial Universidad Autónoma Chapingo. <https://doi.org/www.doi.org/seguridadhídricayalimentaria.chapingo.2023>
- Samuel, M. P., Senthivel, S., y Mathew, A. (2012). Water Quality Assessment of Various forms of Rainwater and Statistical Studies on Physico-Chemical Characteristics of Stormwater in Coimbatore, India. *Nature Environment and Pollution Technology*. [https://neptjournal.com/upload-images/NL-37-4-\(4\)-B-1779.pdf](https://neptjournal.com/upload-images/NL-37-4-(4)-B-1779.pdf)
- San Francisco Water Power Sewer. (2022). Sabor y olor en el agua potable [https://sfpuc.gov/2022-0307_WQ - Taste - Odor_FactSheet - ESP.pdf].
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2011). *Sistema de Captación de Agua de Lluvia SCALL Manual de Instalación*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. <https://www.gob.mx/imta/documentos/sistema-de-captacion-de-agua-de-lluvia-scall>
- Segeplan. (s. f.). Actividades Económico productivas Principales cultivos en Municipio de Mixco [https://sistemas.segeplan.gob.gt/sideplanw/SDPPGDMPRINCIPAL.VISUALIZAR?pid=ECONOMICA_pDF704].
- Servicio Meteorológico Nacional. (s. f.). Entre julio y agosto se podría presentar la canícula en zonas del país [<https://smn.conagua.gob.mx>].
- Shaxson, F., y Barber, R. (2005). Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal. El significado de la porosidad del suelo. [https://www.fao.org/4/y4690s/y4690s00.htm# Contents](https://www.fao.org/4/y4690s/y4690s00.htm#Contents)
- Siller, D., y Barrera, A. (2011). Sistema de Captación de Agua de Lluvia. <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/38271/rua6%20pag%2014-19.pdf?sequence=2&isallowed=y>
- Structuralia. (2021). 5 Sistemas de recogida de agua de lluvia. <https://www.structuralia.com>
- Swistock, B. (2023). Bacterias Coliformes. <https://extension.psu.edu/bacterias-coliformes>
- Torres Hugues, R. (2019). Rainwater harvesting as supply solutions in the past and the present. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 40(2), 125-139. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382019000200125&lng=es&tlng=en
- Triton. (2018). Tinacos y cisternas para almacenamiento de agua – tipos bala, verticales y horizontales. <https://www.tinacostriton.com.mx/#8203>
- Universidad Rafael Landívar. (2022). Aspectos hidrológicos y climáticos. <https://sie.url.edu.gt/mt-aspectos-hidrologicos-y-climaticos/>
- Water Science School. (2019). Acid Rain and Water. <https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/acid-rain-and-water#overview>
- Weather Atlas. (2023). Clima y previsión meteorológica mensual Mixco, Guatemala. <https://www.weather-atlas.com/es/guatemala/mixco-clima>

XI. APÉNDICES



Figura 24. Sistema de bolsa de geomembrana (Global Water Partnership, 2018).

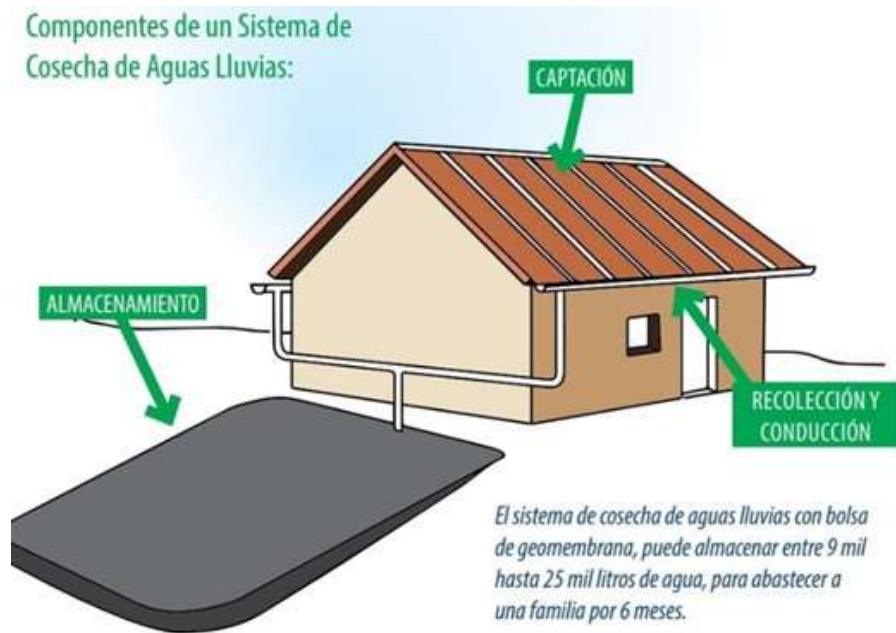


Figura 25. Componentes de un sistema de cosecha de aguas lluvias (CONAGUA Panamá, 2021).



Figura 26. Componentes de captación de aquacell (Amanco Wavin, 2024).



Figura 27. Sistema de captación de agua pluvial (Conavi, s. f.).

SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA - SCALL -

La cosecha de lluvia contribuye a solucionar la disponibilidad y falta de agua sin tener que extraerla del subsuelo o importarla de otras localidades; genera mayor resiliencia ante cortes de agua o fallas del sistema.



Estos sistemas recolectan el agua de lluvia que cae en los techos permitiendo canalizar, filtrar y almacenarla en un contenedor.



BENEFICIOS:

- Contribuye a drenar el agua pluvial para mitigar inundaciones.
- Combate la sobreexplotación de los acuíferos.
- Previene hundimientos.
- Ofrece contar con agua en época de sequía o cuando no se está conectado a la red de abastecimiento.



www.funcagua.org.gt

Figura 28. Beneficios de los sistemas de captación de agua de lluvia (FUNCAGUA, 2021).

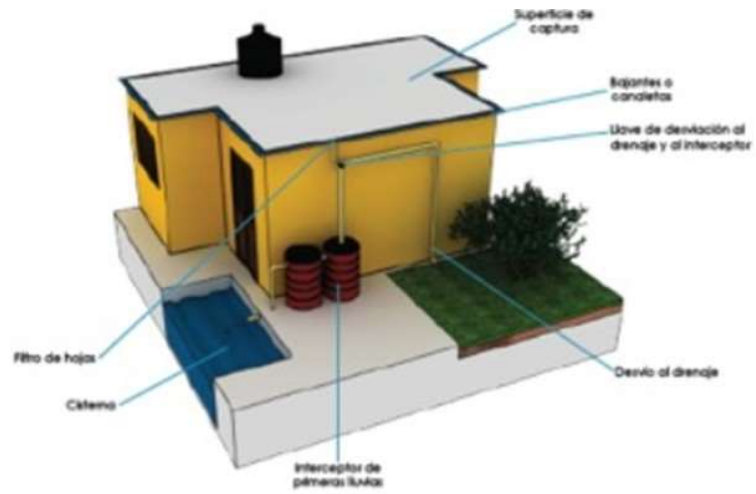


Figura 29. Colecta de agua pluvial (ECOTEC, 2024).

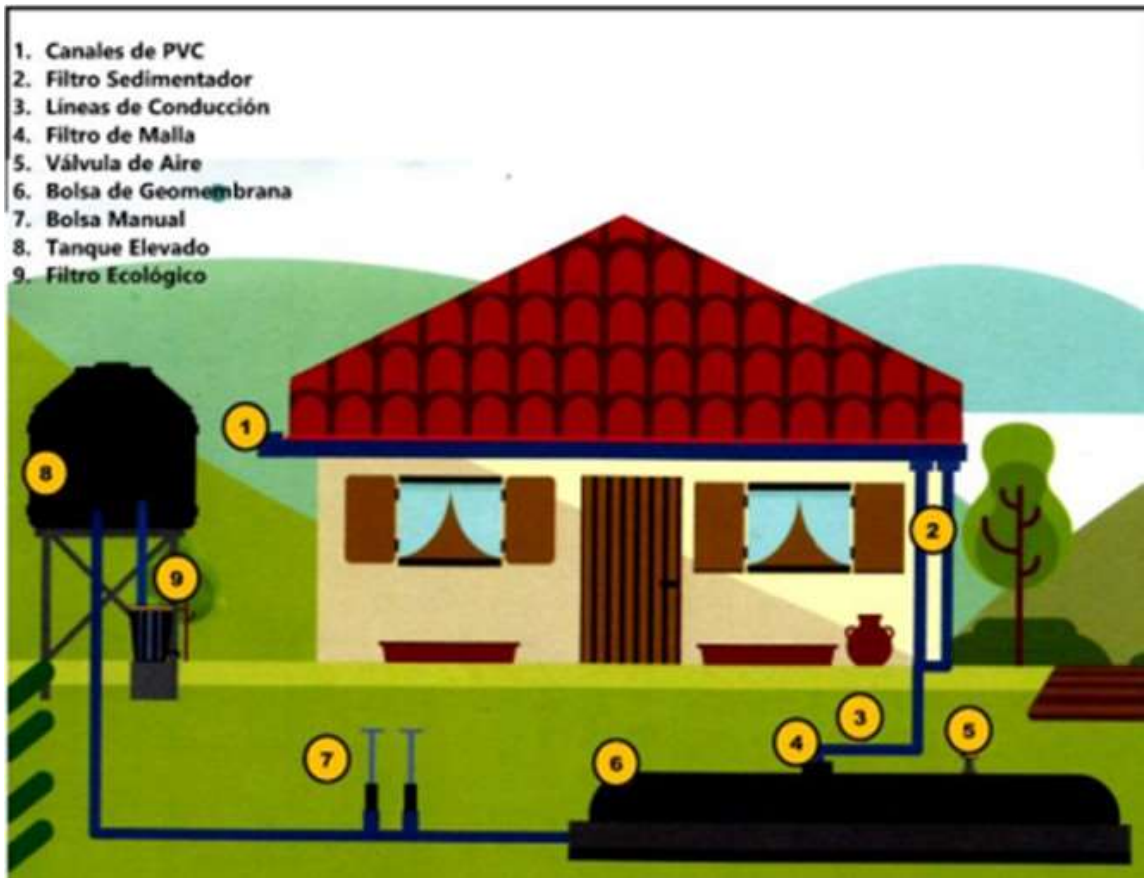


Figura 32. Sistema de bolsa de geomembrana
(Global Water Partnership, 2018).

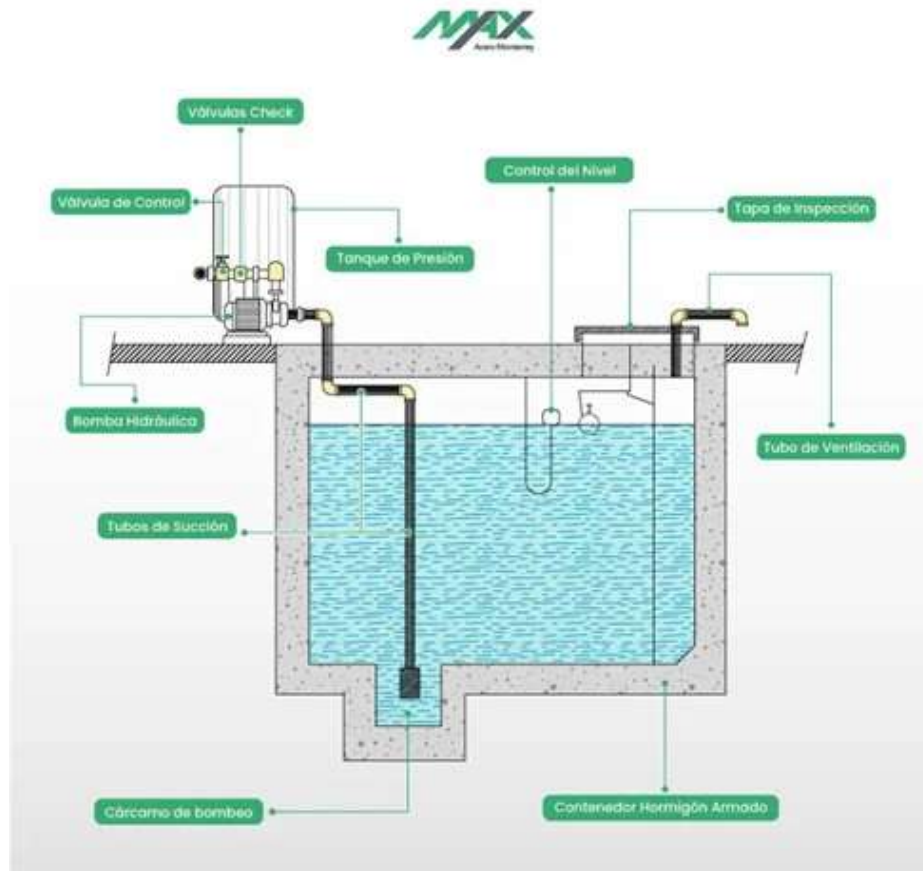


Figura 33. Componentes de una cisterna de concreto (MAX Acero Monterrey, 2024).

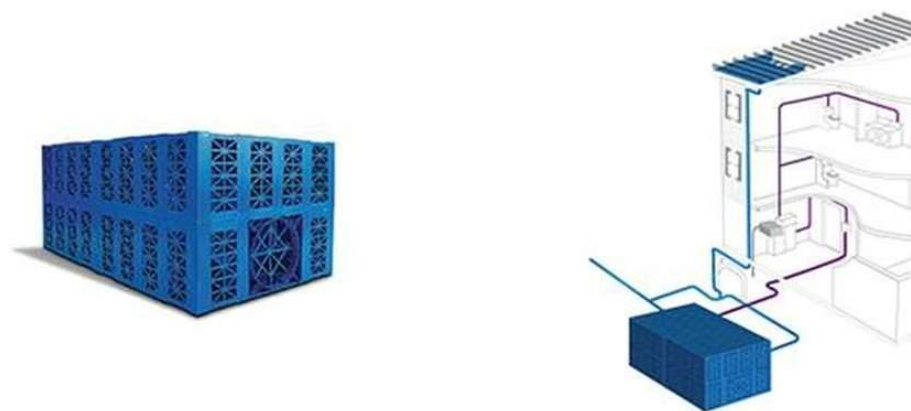


Figura 34. Celda de aquacell (Maury, 2019).

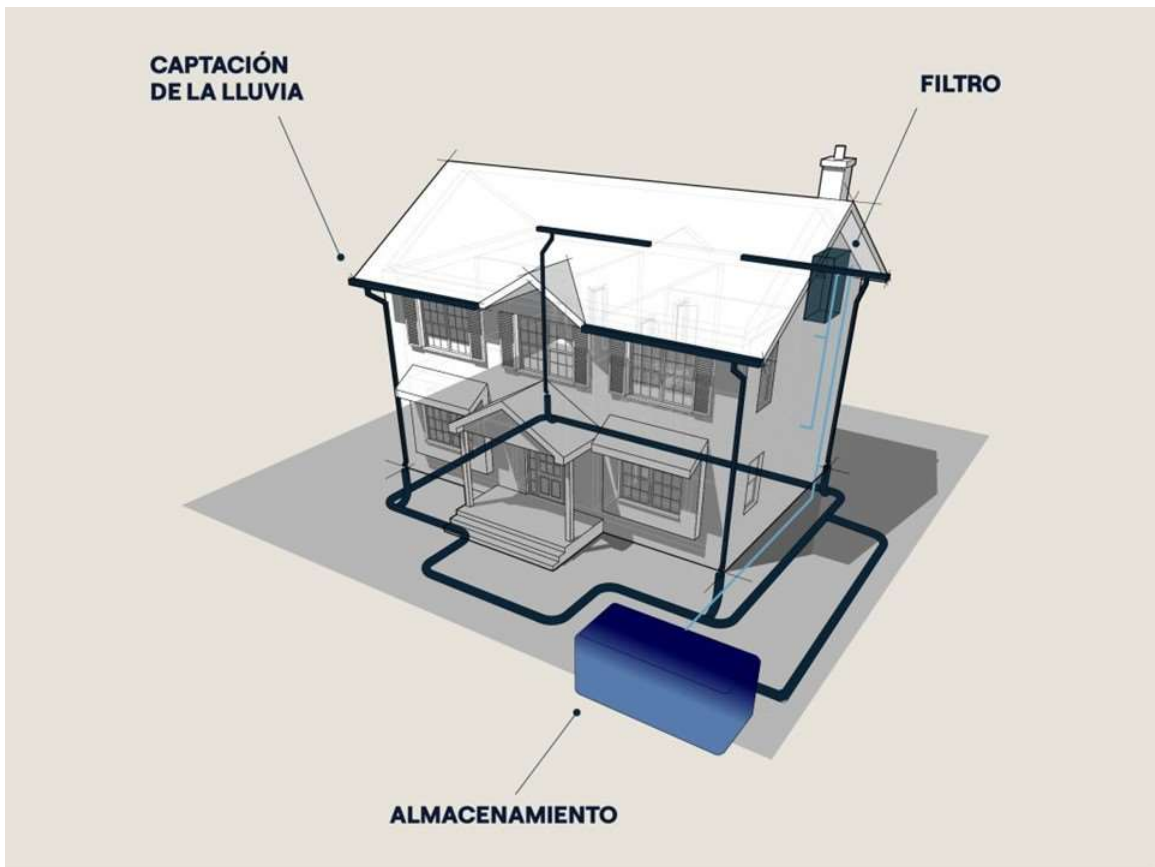


Figura 35. Sistema de captación de agua pluvial en el entorno urbano (Econova, 2022).

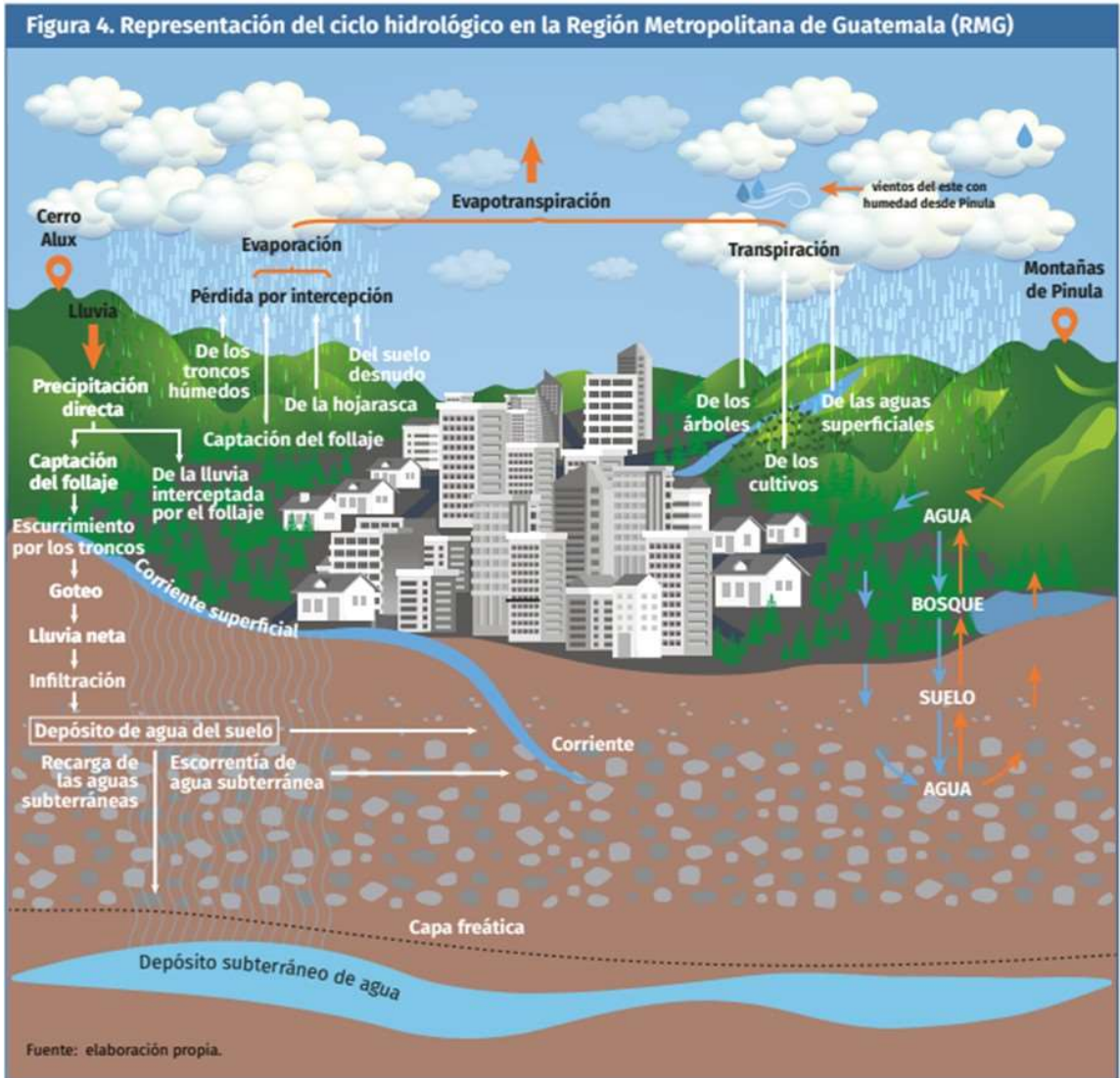


Figura 36. Informe del estado del agua de la región metropolitana de Guatemala 2022 (FUNCAGUA, 2022).