



Universidad Autónoma de San Luis Potosí
Facultad de Ingeniería
Centro de Investigación y Estudios de Posgrado

**Sustento Técnico para la Integración de la Cosecha de Agua de
Lluvia en el Marco Legal de San Luis Potosí**

T E S I S

Que para obtener el grado de:

Maestro en Tecnología y Gestión del Agua

Presenta:

Ulises Juárez Martínez

Asesor:

Dr. Rodolfo Cisneros Almazán

Co-asesora:

Dra. Violeta Mendezcarlo Silva



20 de junio de 2024

ING. ULISES JUÁREZ MARTÍNEZ
P R E S E N T E.

En atención a su solicitud de Temario, presentada por los **Dres. Rodolfo Cisneros Almazán y Violeta Mendezcarlo Silva**, Asesor y Coasesora de la Tesis que desarrollará Usted, con el objeto de obtener el Grado de **Maestro en Tecnología y Gestión del Agua**. Me es grato comunicarle que en la sesión del H. Consejo Técnico Consultivo celebrada el día 20 de junio del presente, fue aprobado el Temario propuesto:

TEMARIO:

"Sustento Técnico para la Integración de la Cosecha de Agua de Lluvia en el Marco Legal de San Luis Potosí"

1. Introducción.
 2. Antecedentes de la Cosecha de Agua de Lluvia en el Estado de San Luis Potosí.
 3. Interrelación de Factores de Medioambiente y Gobernanza del Agua. Análisis para el Área Metropolitana.
 4. Evaluación Económica de Diversas Tipologías de Cosecha de Agua de Lluvia en San Luis Potosí y su Entorno Urbano.
 5. Modelo Hídrico y Escenarios de Gestión del Agua de Lluvia para Uso Doméstico en el Área Metropolitana.
 6. Propuesta de Adición a la Ley de Aguas para el Estado de San Luis Potosí para Integrar la Cosecha de Agua de Lluvia.
 7. Conclusiones.
- Referencias.
Anexos.

"MODOS ET CUNCTARUM RERUM MENSURAS AUDEBO"

ATENTAMENTE


DR. EMILIO JORGE GONZÁLEZ GALVÁN
DIRECTOR.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCION

www.uaslp.mx

Copia. Archivo.
*etn.

Agradecimientos

A mis padres **Rubén Juárez** y **Nancy Martínez**, por su constante apoyo y por alentarme a seguir creciendo profesionalmente. Por respetar siempre mis decisiones, tanto en el ámbito personal como en el profesional. Por darme el privilegio de crecer en un entorno cómodo y seguro que me permitió continuar con mis estudios, una oportunidad que, lamentablemente, no está al alcance de muchas personas en nuestra realidad social.

A mi hermano **Rubén**, por ser siempre mi compañero y aliado en cada etapa de la vida. Llevo conmigo, a donde quiera que vaya, todos los recuerdos que hemos construido juntos.

A mi hermana **Jeanine**, cuyo apoyo incondicional ha sido fundamental para alcanzar muchas de mis metas, que de otro modo habrían sido mucho más difíciles de lograr. Gracias por las valiosas enseñanzas que me has brindado en lo personal, profesional y político. Has demostrado tu fuerza e independencia a través de sacrificios, pero siempre dejándonos el ejemplo de que el apoyo mutuo y colectivo logra mejores resultados que el esfuerzo individual.

Al **Dr. Rodolfo Cisneros**, por su valiosa asesoría, confianza, paciencia y todo el apoyo brindado a lo largo de este proyecto, así como por las enseñanzas compartidas en sus clases. Infinitas gracias por haberme impulsado a realizar la estancia y por darme la oportunidad de participar en un proyecto tan interdisciplinario, que me permitió acercarme a nuevos espacios y crecer profesionalmente.

A la **Dra. Violeta Mendezcarlo**, por aceptar formar parte de este proyecto y por sus valiosas observaciones, que han sido de gran ayuda. Gracias a su guía, he aprendido a trabajar en equipos interdisciplinarios y a profundizar en el conocimiento jurídico de proyectos enfocados en pro del medio ambiente.

Al **Dr. Hermann Rocha** y al **Dr. Clemente Rodríguez** cuyos vastos conocimientos fueron indispensables para el correcto desarrollo de esta investigación.

Al **Dr. Zoe Guadiana**, por todo el apoyo, confianza y guía desde mis días como estudiante de licenciatura, que fueron fundamentales para tomar la decisión de cursar un posgrado. Gracias por abrirme siempre las puertas y permitirme trabajar en el cubículo cuando lo necesité. Las

conversaciones y debates académicos y políticos que hemos compartido han sido una fuente invaluable de aprendizaje para mí.

Al **Dr. Sergio Zubelzu**, por darme la oportunidad de realizar una estancia de investigación en el Centro de Estudios e Investigación para la Gestión de Riesgos Agrarios y Medioambientales (CEIGRAM) de la Universidad Politécnica de Madrid, en España. Esta experiencia fue sumamente enriquecedora, tanto a nivel personal como profesional. Gracias por la confianza y por abrirme las puertas de un espacio en el que, además de aprender mucho, tuve la fortuna de hacer grandes amistades. Gracias también a todo el personal de CEIGRAM, siempre tan atentos, brindándome las mejores condiciones y un entorno de confianza y mucho respeto.

Agradezco profundamente a mis amigos del posgrado, **Andrea, José, Claudia y Diana**, quienes siempre estuvieron dispuestos a escucharme y ofrecerme valiosos consejos, especialmente en lo personal. Su compañía fue una gran fuente de apoyo durante toda la maestría

Quiero agradecer a todos los amigos que hice en el CEIGRAM, quienes me recibieron de manera muy cálida. Gracias por todas las charlas durante el café y la comida. En especial, agradezco a **Ernesto, Blanca, Elena, Laura, Andrés, Cayetano y Faten**, por su amistad y compañía.

Agradezco al **Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCyT)**, ahora **Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación**, por otorgarme una beca a través del programa de becas nacionales, lo que me permitió estudiar el posgrado.

Finalmente, y no por ello menos importante, agradezco a los programas federales **Sembrando Vida**, de la Secretaría del Bienestar, y **Jóvenes Construyendo el Futuro**, de la Secretaría del Trabajo y Previsión Social, por brindarme la oportunidad de trabajar y formarme como aprendiz. Gracias al apoyo recibido, pude ahorrar para estudiar el posgrado y cubrir los gastos iniciales. Aprecio especialmente que estos programas estén dirigidos a jóvenes como yo, que enfrentamos dificultades para laborar.

Dedicatoria

A los pilares de esta nación: **las obreras, obreros, campesinas y campesinos** de México, cuya dedicación y esfuerzo cotidiano sostienen la economía y el bienestar del país. A quienes, a pesar de las adversidades y las carencias en las instituciones públicas, permiten con sus contribuciones que la “educación pública” siga siendo un “derecho”. Este trabajo es un humilde tributo a su lucha diaria, a su resistencia y a su esperanza en un futuro más justo, donde el conocimiento sea un arma de emancipación para todas y todos.

Que este esfuerzo contribuya también a construir un camino hacia la justicia hídrica, donde el acceso al agua y un entorno sano no sean privilegios, sino derechos para las generaciones presentes y futuras.

Índice

Lista de Cuadros	9
Lista de Figuras.....	11
Glosario.....	13
Resumen.....	14
1. Introducción	18
1.1 Justificación.....	22
1.2 Hipótesis.....	23
1.3 Objetivos	23
2. Antecedentes de la Cosecha de Agua de Lluvia en el Estado de San Luis Potosí.....	25
2.1 Antecedentes Históricos Globales de la Captación de Agua de Lluvia	28
2.2 La Captación en el Continente Americano Previo a la Invasión Española y el Resultado de Diferentes Culturas	30
2.3 El Contexto Actual en San Luis Potosí de la Captación de Agua de Lluvia	32
2.3.1 Contexto desde las Políticas Públicas.....	32
2.3.2 Contexto Académico.....	35
3. Interrelación de Factores de Medioambiente y Gobernanza del Agua. Análisis para el Área Metropolitana.....	44
3.1 Desafíos y Estrategias Internacionales y Nacionales: Medioambiente y Gobernanza del Agua	45
3.1.1 Introducción a la Zona Metropolitana de San Luis Potosí	46
3.2 Metodología	49
3.2.1 Factores ambientales	49
3.2.1.1 Factores Geográficos.....	49
3.2.1.2 Factores Climáticos y Edáficos: Balance Hidrológico	51
3.2.2 Gobernanza: Marco Analítico de Gobernanza (MAG)	55
3.3 Resultados y Discusión	58
3.3.1 Factores Geográficos	58
3.3.2 Factores Climáticos: Balance Hidrológico	63
3.3.3 Marco Analítico de Gobernanza.....	65
3.4 Conclusiones del Capítulo	71
4. Evaluación Económica de Diversas Tipologías de Cosecha de Agua de Lluvia en San Luis Potosí y su Entorno Urbano	73
4.1 Introducción	73
4.1.1 Aspectos Técnicos en la Selección de Tipologías de Cosecha de Lluvia.....	76

4.2 Metodología	78
4.2.1 Cosecha de Agua de Lluvia en Edificaciones: Sistema de Captación de Agua de Lluvia (SCALL)	80
4.2.1.1 Método: Cálculo de Volumen del Tanque de Almacenamiento	81
4.2.1.2 Análisis de Costos	82
4.2.2 Cosecha de Agua de Lluvia en Suelo: Embalse Impermeable, Zanja de Infiltración, Jardín de Lluvia y Pozo de Infiltración	83
4.2.2.1 Selección de los Tipologías	84
4.2.2.2 Modelamiento Hidrológico: Estimación de Tormentas	84
4.2.2.3 Análisis coste-beneficio	88
4.3 Resultados y Discusión	90
4.3.1 Cosecha de Lluvia en Edificaciones	90
4.3.2 Cosecha de Lluvia con SUDS (Suelo)	95
4.4 Conclusiones del Capítulo	107
4.4.1 Cosecha de Lluvia con SCALL	107
4.4.2 Cosecha de Lluvia en Suelo	108
5. Modelo Hídrico y Escenarios de Gestión del Agua de Lluvia para Uso Doméstico en el Área Metropolitana	112
5.1 Introducción a los Modelos Hidrológicos y la Simulación Dinámica	112
5.1.1 Aplicaciones en la Toma de Decisiones en el Ámbito Gubernamental en San Luis Potosí	115
5.2 Metodología	119
5.2.1 Habitantes de la Cuenca y Tasa de Crecimiento Poblacional	119
5.2.2 Demanda de Agua en la Cuenca	119
5.2.3 Pérdida de Agua en las Redes de Abastecimiento	120
5.2.4 Implementación de SCALL	120
5.3 Resultados y Discusión	121
5.4 Conclusiones del Capítulo	130
6. Propuesta de Adición a la Ley de Aguas para el Estado de San Luis Potosí para Integrar la Cosecha de Agua de Lluvia	132
6.1 Introducción	132
6.2 Antecedentes en el Marco Legal y la Legislación de la Captación de Agua de Lluvia	134
6.2.1 Antecedentes Internacionales	134
6.2.2 Antecedentes Nacionales	140
6.2.3 Antecedente en San Luis Potosí	145
6.3 Metodología	147
6.4 Resultados y Discusión	148

6.4.1 Proceso Legislativo de Iniciativas de Ley en el Estado de San Luis Potosí	148
6.4.2 Exposición de Motivos	153
6.4.3 Cambios y Adiciones	159
6.5 Conclusiones del Capítulo	166
7. Conclusiones	168
7.1 Perspectivas y Recomendaciones	173
Referencias bibliográficas	175
Anexos	185

Lista de Cuadros

Cuadro 1. *Capas utilizadas para realizar el MDE completo de la ZMSLP.*

Cuadro 2. *Cálculo de temperatura media por isoyetas para el periodo 1994-2017.*

Cuadro 3. *Edafología y Uso de Suelo y Vegetación en la zona de estudio.*

Cuadro 4. *Método N de la curva de escurrimiento.*

Cuadro 5. *Análisis multicriterio para la selección de una subcuenca en la ZMSLP.*

Cuadro 6. *Características de la subcuenca A (seleccionada).*

Cuadro 7. *Características sociodemográficas de la subcuenca A.*

Cuadro 8. *Características de las estaciones utilizadas para el balance hidrológico.*

Cuadro 9. *Elementos climatológicos y edáficos para el balance general del agua en la subcuenca A.*

Cuadro 10. *Balance general de la subcuenca A.*

Cuadro 11. *Beneficios integrales de la cosecha de lluvia.*

Cuadro 12. *Tipologías seleccionadas para la cosecha de lluvia.*

Cuadro 13. *Variables propuestas por tipo de edificación en la subcuenca A.*

Cuadro 14. *Función específica de las tipologías SUDS en suelo para su análisis.*

Cuadro 15. *Estadística de las tormentas registradas ESIME San Luis Potosí.*

Cuadro 16. *Beneficios potenciales de la implementación de SUDS.*

Cuadro 17. *Costos de construcción y mantenimiento de cada SUDS.*

Cuadro 18. *Cobertura de demanda de agua con SCALL (Isoyetas-ESIME S.L.P.-CONAGUA).*

Cuadro 19. *Dotación diaria equivalente por tipo de edificación (Isoyetas-ESIME S.L.P.-CONAGUA).*

Cuadro 20. *Comparación entre características de cosecha de lluvia mediante SCALL.*

Cuadro 21. *Costo de producción de agua cosechada con SCALL.*

Cuadro 22. *Diferencias de costo entre agua cosechada con SCALL y agua del sistema convencional.*

Cuadro 23. *Diferencias de costo entre agua cosechada y agua de garrafón para consumo humano.*

Cuadro 24. *Estadística de las tormentas registradas productoras de escorrentía.*

Cuadro 25. *Estadística de la escorrentía estimada en San Luis Potosí*

Cuadro 26. *Periodo de amortización de los SUDS con VAN y TIR máximos.*

Cuadro 27. *Legislación internacional vigente con gestión del agua pluvial y de lluvia.*

Cuadro 28. *Modificación de leyes en México para el aprovechamiento de agua de lluvia.*

Cuadro 29. *Artículos modificados en el año 2015 donde se integran mecanismos sobre el agua pluvial.*

Cuadro 30. *Cuadro comparativo de los cambios en la LAESLP.*

Lista de Figuras

Figura 1. *Sistemas romanos de captación de agua de lluvia domus izquierda, cisterna en Estambul derecha.*

Figura 2. *Chultún maya para el almacenamiento de agua de lluvia.*

Figura 3. *1er. Foro Captación de Agua de Lluvia en el municipio de San Luis Potosí.*

Figura 4. *Histograma de la precipitación promedio mensual de las estaciones 24070 y 24081.*

Figura 5. *Esquema representativo de identificación de variables del agua en la ZMSLP.*

Figura 6. *Mapa de identificación de subcuencas pertenecientes a la ZMSLP SGS-SLP.*

Figura 7. *Mapas de la subcuenca A seleccionada como zona de estudio.*

Figura 8. *Diagrama del balance general de la cuenca zona de estudio.*

Figura 9. *Problemas de abastecimiento de agua potable en los domicilios.*

Figura 10. *Problemática que percibe la población sobre el agua.*

Figura 11. *Percepción del papel actual de la ciudadanía en la gestión del agua.*

Figura 12. *Percepción de la eficacia en la toma de decisiones para afrontar la problemática del agua.*

Figura 13. *Percepción del poder político en la toma de decisiones del agua.*

Figura 14. *Ejemplos de tipologías para cosecha de agua de lluvia.*

Figura 15. *Tipologías de sistemas para la cosecha de lluvia.*

Figura 16. *Diagramas de cajas de las tormentas productoras de escorrentía en San Luis Potosí.*

Figura 17. *Diagramas de dispersión de tormentas productoras de escorrentía en San Luis Potosí*

Figura 18. *Diagramas de cajas de las tormentas estimadas productoras de escorrentía en San Luis Potosí.*

Figura 19. *Diagramas de dispersión de tormentas estimadas productoras de escorrentía en San Luis Potosí.*

Figura 20. *Evolución de SUDS permeable e impermeable de 5m³ de almacenamiento (arriba), 15m³ de almacenamiento (centro) y 40m³ de almacenamiento (abajo).*

Figura 21. *Evolución costo/beneficio-volumen (€/año-m³) de las cuatro tipologías SUDS en suelo.*

Figura 22. *Interfaz de PowerSim Studio 10 y sus funciones.*

Figura 23. *Estimación del crecimiento poblacional en la cuenca.*

Figura 24. *Demanda de agua en la cuenca para uso doméstico.*

Figura 25. *Extracción total de la demanda/dotación de agua y robo/fugas en el sistema de abastecimiento.*

Figura 26. *Agua cosechada en los escenarios del 25, 50, 75 y 100% de cobertura de SCALL en viviendas.*

Figura 27. *Agua para dotación, fugas y cosechada al 25, 50, 75 y 100% de cobertura en viviendas con fugas del 30%.*

Figura 28. *Agua para dotación, fugas y cosechada al 25, 50, 75 y 100% de cobertura en viviendas con fugas del 50%.*

Glosario

CEA.- Comisión Estatal del Agua

CONAGUA.- Comisión Nacional del Agua

GIRH.- Gestión Integrada del Recurso Hídrico

INTERAPAS.- Organismo Intermunicipal Metropolitano de Agua Potable, Alcantarillado, Saneamiento y Servicios.

IV.- Infraestructura Verde

LAESLP.- Ley de Aguas para el Estado de San Luis Potosí

LAN.- Ley de Aguas Nacionales

MAG.- Marco Analítico de Gobernanza

SbN.- Soluciones basadas en la Naturaleza

SCALL.- Sistemas de Captación de Agua de Lluvia

SCP.- Proyecto de Ciudades Esponja

SIG.- Sistemas de Información Geográfica

SUDS.- Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible

Resumen

El aprovechamiento descentralizado del agua de lluvia en ciudades mexicanas es una práctica poco explorada a pesar de su potencial para aliviar la demanda de fuentes convencionales de agua. Modificar el marco legal es esencial para gestionar eficazmente este recurso.

Este estudio tiene como objetivo sustentar la incorporación de la cosecha de agua de lluvia a través de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), que incluyen los Sistemas de Captación de Agua de Lluvia (SCALL), en la Ley de Aguas para el Estado de San Luis Potosí (LAESLP). Esto mediante sustentos técnicos, económicos y jurídicos.

Para lograrlo, se empleó una metodología integral que incluyó el uso de sistemas de información geográfica para delimitar una subcuenca urbana y generar información ambiental sobre ella. Asimismo, se aplicó un marco analítico de gobernanza para comprender la perspectiva de la sociedad respecto a los problemas del agua y su papel en la gobernanza. Además, se llevó a cabo un análisis del costo del agua cosechada con SCALL en viviendas, escuelas, comercios e industrias, junto con un análisis coste-beneficio de embalses impermeables, jardines de lluvia, zanjas y pozos de infiltración, otras tipologías de SUDS. También se analizaron escenarios de oferta y demanda de agua para uso doméstico del 2020 al 2050, considerando una tasa de 0.9 de crecimiento poblacional y diversos porcentajes de cobertura de SCALL en vivienda, esto a través del *software PowerSim Studio 10*. Finalmente, se realizó un análisis jurídico de leyes internacionales, nacionales y locales. Todo esto aplicado a la zona metropolitana de San Luis Potosí (ZMSLP).

Los resultados indican que **85%** de la población experimenta problemas de interrupción del suministro de agua potable al menos una vez al mes y de estos, **75%** presentan problemas al menos una vez a la semana. Sin embargo, destaca el desconocimiento sobre el organismo

responsable de abastecerles agua, exponiendo el déficit de acceso a la información pública, limitando su papel en la gobernanza del agua. Además, **55%** de esta población entrevistada considera que el gobierno del estado posee el mayor poder político sobre el agua. También se destaca una percepción sobre el mal uso y desperdicio, la escasez y la infraestructura de distribución como los principales factores sobre los problemas del agua en la ZMSLP.

En cuanto a la cosecha de lluvia, debido a las condiciones climáticas de la región, los **SCALL** en viviendas no son tan eficientes y resultan costosos para abastecimiento doméstico. Sin embargo, pueden cubrir el equivalente a **11.74** y **20.86 L/hab/día**, representando el **11.7%** y **20.8%** de la demanda diaria que establece la ONU para garantizar que se cubren las necesidades más básicas respecto al agua. En el caso de escuelas, comercios e industrias, aunque la superficie de captación es mayor, tampoco se logra satisfacer completamente la demanda. Los porcentajes de cobertura son del **14.8%** para escuelas, **18.6%** para comercios y **48.2%** para industrias.

Dada esta situación y las condiciones hidrológicas locales, fue necesario adoptar diferentes enfoques para la cosecha de lluvia. Por esta razón, se evaluaron otras tipologías de cosecha, ya mencionadas. En este sentido, los **embalses impermeables** resultaron ser la tipología más eficiente, siendo el diseño óptimo de **36m³** de volumen de almacenamiento y un periodo de retorno de **2 años**, destacando tanto en términos económicos como de capacidad de almacenamiento. Las **zanjas de infiltración** y **jardines lluvia**, que también ofrecen servicios ambientales adicionales, demostraron ser similares en eficiencia entre sí, con diseños óptimos de **1m³** de almacenamiento y **2 años** de periodo de retorno. Por otro lado, los pozos de infiltración no son eficientes en las condiciones locales, siendo el diseño más eficiente de **1m³** de almacenamiento y un periodo de retorno de **7 años**. Esto demuestra que, en la ZMSLP, los SUDS son más eficientes para almacenar agua de lluvia que para infiltrarla.

Respecto a los escenarios simulados con *PowerSim Studio 10*, como se esperaba, el aumento de la demanda de agua creció en relación con el crecimiento poblacional. Sin embargo, la extracción de agua no logró atenuarse con la instalación de SCALL, ni en el escenario de 100% de cobertura de SCALL en vivienda. Demostrando que uno de los mayores enfoques de las políticas públicas en el tema hídrico para los ayuntamientos de la ZMSLP es trabajar en reducir el robo y las fugas de este recurso. Sin embargo, a pesar de estos escenarios, cabe destacar que si es necesaria la cosecha de lluvia con un enfoque integral que implique buscar estrategias para aprovechar las escorrentías, ya que el agua que escurre en la cuenca representa el **111.56%** de la demanda para uso doméstico en **2020** y el **85.25%** para el **2050**, logrando con su incorporación en la LAESLP un enfoque de sostenibilidad hídrica en zonas urbanas.

En cuando al análisis jurídico, se demostró que hay ciudades en México que ya han incorporado la cosecha de lluvia en su legislación y que responden a buscar dar atención al artículo 4 de la constitución de mexicana para garantizar el acceso a este recurso para consumo personal y doméstico. Además, esta propuesta legislativa pone a la vanguardia a San Luis Potosí, ya que, de las demás ciudades, sería la primera en establecer una integridad en cosecha de agua de lluvia con enfoque en aprovechar el agua y reducir escorrentías desde el enfoque de los SUDS.

En resumen, este estudio destaca la importancia de cosechar la lluvia con diversos fines, incluyendo la restauración del ciclo hidrológico. Esto, desde la modificación de la legislación, buscando garantizar el derecho humano al agua y mejorando el equilibrio ecológico en zonas urbanas, como la ZMSLP.

Palabras claves: gobernanza, cosecha del agua de lluvia, *PowerSim Studio 10*, marco legal.

Capítulo 1

Introducción

“En la ciencia no hay caminos reales, y sólo tendrán esperanzas de acceder a sus cumbres
luminosas aquellos que no temen fatigarse al escalar por senderos escarpados.”

Karl Marx (1872). *El Capital*.

1. Introducción

El agua es un recurso vital para la subsistencia de la vida a nivel global. Ocupa cerca de 1,386 millones de km³, de la cual solo 2.5% es agua dulce. Del total del agua dulce, solo 30% se encuentra disponible. El 0.9% la encontramos en cuerpos de agua superficial y el 29.1% restante lo encontramos de manera subterránea en los acuíferos. Sin embargo, debido a las necesidades inducidas por los modelos político-económicos y los factores ambientales, la explotación de este recurso ha llevado a que 115 de los 653 acuíferos administrativos de México se encuentren en condición de sobreexplotación (Stretton, 1978; Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], 2019a). Tal es el caso del acuífero profundo de San Luis Potosí, que descende de 3 a 4m/año (CONAGUA, 2020; Consejo Técnico de Aguas Subterráneas [COTAS], 2021; Organismo Intermunicipal Metropolitano de Agua Potable, Alcantarillado, Saneamiento y Servicios [INTERAPAS], 2023).

Esta explotación del agua sin un enfoque sostenible se debe a diversas razones, sin embargo, ahondando en las zonas urbanas, destaca la falta de planificación de ciudades a largo plazo, esto como resultado de los modelos políticos, económicos y/o sociales. Además, conlleva a afectaciones ambientales, como la interrupción del ciclo hidrológico, y sociales, como la generación de altos índices de desigualdad en el acceso al agua, priorizándose el uso para grandes ciudades, aun sin garantizar el derecho humano al agua (Marx, 1873; Stretton, 1978; Montero, 2007; Campos, 2010).

Además, este efecto tiene un impacto en la variación del uso del agua. En México, el 75.7% del agua se destina a la agricultura, 14.7% al abastecimiento doméstico, 4.9% a la industria y 4.7% en otros usos. En la Zona Metropolitana de San Luis Potosí (ZMSLP), es diferente, para el abastecimiento doméstico se destina el 67.22%, al sector agrícola 19.18%, a la industria 7.76% y

otros usos 5.69% (CONAGUA, 2019b, 2020). Sin embargo, para satisfacer estas necesidades se siguen implementando estrategias no sostenibles y basadas en infraestructura gris, lo cual no resuelve el problema de desabasto ni da pie a una gestión integral para lograr la equidad y garantizar el acceso al agua como derecho humano.

Para abordar soluciones integrales que garanticen la dignidad humana y promuevan la equidad global, la Asamblea General de las Naciones Unidas aprobó en 2015 la Agenda 2030, que se compone de 17 Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS) (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2023a). El ODS 6, busca garantizar la disponibilidad de agua, su gestión sostenible y el saneamiento para todos, utilizando alternativas que minimicen la inequidad del acceso al agua potable, reduciendo la contaminación, eficientizando su uso y protegiendo y restableciendo los ecosistemas (ONU, 2023b).

En este enfoque se encuentran las Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN). Las SbN se definen como un enfoque innovador que combina el desarrollo sostenible con la restauración de la biodiversidad y la mitigación del cambio climático. Estas soluciones no solo se enfocan en aumentar la cobertura vegetal y el uso de energías renovables, sino que también actúan como mecanismos adaptativos para gestionar riesgos asociados a desastres naturales, tales como inundaciones y sequías extremas. Además, promueven una conectividad urbana integral, mediante la incorporación de infraestructura verde y áreas urbanas que optimicen la relación entre los ciudadanos y su entorno natural, mejorando así la satisfacción socioambiental y psicológica (Lambrechts et al., 2023; Ruiz-Campillo, 2023; Villalpando Flores & Bustos Aguayo, 2023). Entre estas soluciones se encuentra el proceso de cosecha de agua de lluvia, que consiste en captar, almacenar y darle un uso al agua, como son los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) que incluyen los Sistemas de Captación de Agua de Lluvia (SCALL). Estas tecnologías se

consideran económicas, de fácil construcción, manejo y son adaptables a diversas regiones (Gleason et al., 2021).

El principal objetivo de este proceso es retener, ralentizar, almacenar e infiltrar la lluvia, contribuyendo a su gestión (Parada-Molina et al., 2020; Pérez, 2021). Además, esta agua se puede aprovechar para una variedad de usos, ya que se considera como un recurso relativamente limpio, protegiendo el medio ambiente y minimizando el impacto del cambio climático (Agatón et al., 2016; Tapia, 2016; López-Hernández et al., 2017; Hernández, 2018; CDC, 2022; Ndeketeya & Dundu, 2022; Ortiz et al., 2022).

Sin embargo, el conocimiento de diversas estrategias es insuficiente cuando no hay voluntad política y, por lo tanto, las autoridades de los diversos niveles y poderes de gobierno no trabajan en la creación de planes, estrategias en políticas públicas y un marco legal más estricto en las responsabilidades de competencia. Para ello, a nivel mundial se han creado leyes que incorporan estas estrategias, tal es el caso de España con el *Reglamento del Dominio Público Hidráulico (RDPH) 638/2016*, en el párrafo 7 del artículo 126 ter., que establece que las nuevas urbanizaciones, polígonos industriales y desarrollos urbanísticos introduzcan sistemas de drenaje sostenible. O el caso de Antigua y Barbuda con el *National action plan: combatting desertification, land degradation and drought (2015-2020)* que establece que todas las casas deben tener un sistema de almacenamiento para cosechar agua lluvia de manera higiénica y segura, entre otras legislaciones que se revisarán más adelante (Minister of Health and the Environment, 2015; Ministerio de Agricultura y Pesca, 2016). No obstante, en México también ya se han dado pasos importantes. Actualmente 12 leyes locales y una de carácter federal cuentan con estos mecanismos, como son la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) y las leyes de aguas de Ciudad de México, Nayarit, Oaxaca, Chiapas, entre otros. Sin embargo, en San Luis

Potosí en el año 2015 se hizo una modificación a la Ley de Aguas para el Estado de San Luis Potosí (LAESLP), donde se establecen mecanismos sobre el agua pluvial, siendo de carácter exclusivo para el alcantarillado de escorrentía pluvial, careciendo así de mecanismos legales para el aprovechamiento del agua de lluvia y pluvial además de dejar ambigüedad en los términos mencionados en la ley (Congreso del Estado de San Luis Potosí, 2023).

Por esto, hace falta establecer un enfoque más sostenible. Para ello, el presente trabajo se centra en sustentar técnicamente la integración de la cosecha de agua de lluvia en el marco legal de San Luis Potosí, a través de diversas metodologías de integrales.

En el capítulo 2 “Antecedentes de la Cosecha de Agua de Lluvia en el Estado de San Luis Potosí” se dará una introducción a los SCALL a lo largo de la historia, además de antecedentes en el ámbito académico y de políticas públicas sobre la cosecha de lluvia en San Luis Potosí.

En el capítulo 3 “Interrelación de Factores de Medioambiente y Gobernanza del Agua. Análisis para el Área Metropolitana”, se analizarán las características climatológicas, hidrológicas y de gobernanza para la gestión del agua de lluvia.

En el capítulo 4 “Evaluación Económica de Diversas Tipologías de Cosecha de Agua de Lluvia en San Luis Potosí y su Entorno Urbano” se llegará a un análisis económico y de coste-beneficio de diversas tipologías para la cosecha de agua de lluvia en la zona de estudio.

En el capítulo 5 “Modelo Hídrico y Escenarios de Gestión del Agua de Lluvia para Uso Doméstico en el Área Metropolitana” se analizará el efecto del actual sistema de gestión de agua para uso doméstico y la implementación de SCALL en vivienda.

Finalmente, en el capítulo 6 “Propuesta de Adición a la Ley de Aguas para el Estado de San Luis Potosí para Integrar la Cosecha de Agua de Lluvia” se analizarán algunas leyes existentes en el mundo, en México y se creará una propuesta para San Luis Potosí.

1.1 Justificación

La Ley de Aguas para el Estado de San Luis Potosí no cuenta con mecanismos para cosechar el agua de lluvia (Congreso del Estado de San Luis Potosí, 2023). Esto limita opciones para abordar diversas problemáticas, a pesar de ser una herramienta que puede aportar a garantizar el derecho humano al agua y equilibrar el ciclo hidrológico, principalmente en el entorno urbano.

1.2 Hipótesis

El sustento técnico, económico y jurídico en la zona metropolitana de San Luis Potosí demostrará la viabilidad de integrar la cosecha de agua de lluvia en el marco legal del estado.

1.3 Objetivos

General:

Sustentar técnicamente la integración de la cosecha de agua de lluvia en el marco legal de San Luis Potosí.

Específicos:

1. **Identificar** los factores sociopolíticos y ambientales para la gestión del agua de lluvia en la zona metropolitana de San Luis Potosí a través del Marco Analítico de Gobernanza, un balance hidrológico y un análisis geográfico con sistemas de información geográfica.
2. **Evaluar** económicamente la implementación de diversas tipologías de cosecha de agua de lluvia en edificaciones y espacios públicos en la zona metropolitana de San Luis Potosí.
3. **Modelar** un sistema de gestión sin y con cosecha de agua de lluvia para el uso doméstico del agua en la zona metropolitana de San Luis Potosí mediante el *software* de simulación dinámica *PowerSim Studio 10*.
4. **Proponer** adiciones a la Ley de Aguas para el Estado de San Luis Potosí para la incorporación de la cosecha de agua de lluvia.

Capítulo 2

Antecedentes de la Cosecha de Agua de Lluvia en el Estado de San Luis Potosí

“La frase con que inicia Marx el análisis del régimen de producción capitalista, definiéndola como un *inmenso arsenal de mercancías* (1873), hoy más que nunca refleja la voracidad del mercado, toda vez que aspectos como el agua, se convierten hoy en día en una mercancía de alto valor”

Delia Montero (2007). *Economía y sociedad en América latina: entre la globalización, la regionalización y el cambio estructural*.

2. Antecedentes de la Cosecha de Agua de Lluvia en el Estado de San Luis Potosí

La cosecha de agua de lluvia no es una actividad nueva, ha sido una práctica fundamental en el desarrollo de las culturas a lo largo de la historia de la humanidad (Cobos et al., 2017; Gleason et al., 2021). Los primeros registros datan de hace algunos 6, 500 años en lo que ahora es la India. Posteriormente hubo sistemas más sofisticados, como los que se han encontrado en el palacio de Cnosos, en la isla de Creta (1,700 antes de la Era Común [a.E.C.]). Esta actividad también tuvo mucha importancia para las culturas de la península arábiga (1,000 a.E.C.), hoy Yemen, donde gracias a la arquitectura de los templos dedicados a la oración, se facilitaba la captación y almacenamiento de la escasa lluvia de la región (Gleason et al., 2021).

Para los años 400-300 a.E.C., los iberos y cartagineses también construyeron sistemas de captación y almacenamiento. Sin embargo, fueron los romanos que desarrollaron mejores técnicas a nivel vivienda (casa greco-etrusca), aprovechando además las calles para dirigir el agua a cisternas (como la de Estambul), almacenando hasta 80,000 m³ (Cobos et al., 2017; Gleason et al., 2021).

Figura 1

Sistemas romanos de captación de agua de lluvia domus izquierda, cisterna en Estambul derecha.



Por otro lado, en el continente americano, principalmente en la región centro, también se desarrollaron sistemas de aprovechamiento del agua de lluvia. Ejemplo de estos desarrollos fue el sistema de almacenamiento que innovó la cultura maya, que eran sistemas tipo cisterna construidas en las viviendas que eran labradas en roca a las que llamaron *chultún* (Figura 2). Estos chultunes se construían de diferentes dimensiones, llegando a alcanzar hasta 5 metros de diámetro y eran sistemas impermeabilizados con yeso que permitían el almacenamiento de agua como reserva para la época seca (Gleason et al., 2021).

Figura 2

Chultún maya para el almacenamiento de agua de lluvia



Nota. *Chultún* proviene de “*chulub*” (agua de lluvia) y “*tun*” (roca labrada). En los hallazgos arqueológicos se han encontrado chultunes con capacidad para almacenar hasta 9,300 litros de agua de lluvia (Gleason et al., 2021).

En Mesoamérica, las civilizaciones de Tenochtitlan-Tlatelolco, además de contribuir con grandes avances en ingeniería hidráulica, destacaron en la captación de lluvia, ya que esta actividad era de vital importancia. Esto tuvo un impacto significativo en la organización social y política, logrando avances en la sustentabilidad de las ciudades (Gleason et al., 2021).

Para el siglo XVI, como resultado de la invasión europea al territorio americano, las técnicas de abastecimiento hídrico de ambas civilizaciones comenzaron a complementarse, eficientizando e innovando los sistemas de captación de lluvia existentes en ese momento, incorporándolos a las viviendas mediante la disposición de piletas como medio de almacenamiento. Además, la captación de agua de lluvia fue un sistema de abastecimiento que perduró en lugares como Guanajuato, Mérida y Zacatecas. Esta práctica fue dejada de lado con el crecimiento exponencial de las ciudades y la creciente complejidad de los sistemas de abastecimiento actuales. No obstante, debido a la escasez de agua provocada por el crecimiento demográfico, la explotación desmedida de los recursos naturales, la gestión ineficiente del recurso hídrico y el cambio climático, esta actividad está retomando importancia (Cobos et al., 2017; Gleason et al., 2021).

Con el resurgimiento de esta actividad, San Luis Potosí ha ido explorado tanto desde el ámbito gubernamental como académico. Ejemplo de ello fue el Programa Nacional para la Captación de Agua de Lluvia y Ecotecnias en Zonas Rurales (PROCAPTAR) de carácter federal que se llevó a cabo en algunos municipios del estado. Además, otras iniciativas locales han ido desarrollándose, como el programa municipal de San Luis Potosí “Con Mi Cisterna Sí”, entre otros. A su vez, se ha observado una creciente variedad de tesis de diferentes niveles académicos que analizan la factibilidad de esta práctica.

Por lo tanto, este capítulo explorará los antecedentes históricos globales de la captación de agua de lluvia, subrayando su relevancia en el desarrollo social, político y ambiental. También se examinará específicamente el caso de San Luis Potosí, evaluando cómo las prácticas históricas y las condiciones actuales pueden influir en la implementación futura de estrategias de captación de agua de lluvia en la región.

2.1 Antecedentes Históricos Globales de la Captación de Agua de Lluvia

Como ya se mencionó, la cosecha de agua de lluvia es una práctica que ha sido pieza clave en el desarrollo de la humanidad. Los primeros sistemas de tanques fueron construidos alrededor del año 4, 500 a.E.C. con el objetivo de recolectar el agua de lluvia que llegaba hasta ellos (Pandey et al., 2003).

Para los años 4, 000 a.E.C., se implementaron las primeras estructuras de almacenamiento de agua de lluvia a nivel superficial, dando origen a lo que hoy conocemos como aljibes. Los más antiguos se han encontrado en Palestina y Grecia. El agua era recolectada de las azoteas, plazas pavimentadas y, en algunos casos, de capas del subsuelo que transportaban agua. Los primeros aljibes se excavaban en roca, pero a partir del año 2, 000 a.E.C. se sellaban con mortero (Pandey et al., 2003).

Además, otros avances se dieron a la par con el proceso de captación de agua de lluvia. Cerca del año 3, 000 a.E.C., en lo que hoy es Pakistán, se regaban los campos agrícolas a través de estrechas franjas de tierra por donde se transportaba el agua de lluvia. Con el paso del tiempo, el aprovechamiento de estas franjas se extendió para llevar agua a las zonas bajas. Esto se hizo sólo durante las grandes inundaciones, dando origen al riego por derivación y al sistema de irrigación de estado perenne (Ahmed, 2000).

Posteriormente, surgieron las presas, infraestructuras de mayor volumen para captar y almacenar el agua de lluvia, teniendo su origen en Jawa, Jordania, y Wadi Garawi, Egipto, cerca del año 3, 000 y 2, 600 a.E.C., respectivamente (Agarwal & Narain, 2012).

En cuanto a los sistemas de cosecha de lluvia más similares a los que conocemos hoy en día, los primeros fueron contruidos hace aproximadamente 4, 900 años en Biblos, lo que hoy es Líbano (Gleason et al., 2021).

Posteriormente, se han encontrado hallazgos de sistemas más sofisticados de captación de lluvia cerca del año 1, 700 a.E.C. en el palacio de Cnosos, en la isla de Creta (Cobos et al., 2017).

Esta actividad también fue muy importante para el desarrollo de las culturas que se encontraban en la península arábiga. Para los años 1, 000 a.E.C., en lo que hoy son las zonas altas de Yemen, los edificios y templos de oración contaban con estructuras arquitectónicas para la captación y almacenamiento del agua de lluvia, es decir, el proceso de cosecha de lluvia. Esta actividad les daba la oportunidad de prolongar el aprovechamiento de la escasa lluvia de la región (Gleason et al., 2021).

Entre los años 400 y 300 a.E.C., los íberos y cartagineses comenzaron a construir obras de captación y almacenamiento de agua. Sin embargo, fue hasta la dominación romana cuando se desarrollaron mejores técnicas, creando así sistemas más funcionales a nivel de vivienda. Las casas unifamiliares se diseñaban con grandes patios internos a cielo abierto, permitiendo que el agua de lluvia que caía directamente en ellos y en las azoteas se dirigiera a un estanque llamado *impluvium* (casa *domus*). Además, se aprovechaban las calles para captar y dirigir el agua a cisternas grandes, que contaban con un sistema de filtración que aseguraba su saneamiento. Un ejemplo de esto es una cisterna construida en Estambul, cuyo sistema de almacenamiento tenía la capacidad de recibir hasta 80, 000 m³ de agua. Fue en esta época cuando las excavaciones realizadas para almacenar agua, llamadas *lacus*, que eran espacios regulares utilizados como piscinas, evolucionaron a sistemas cubiertos, dando origen a las primeras cisternas (Cobos et al., 2017; Gleason et al., 2021).

Con la caída del Imperio Romano en Europa central y la aparición de nuevos estados en el norte de África, entre los años 400 y finales del 700 de la Era Común (E.C.), se desarrollaron formas de pensamiento distintas a las anteriores. Con el florecimiento de la cultura musulmana, surgieron otros sistemas hidráulicos como las norias de sangre, máquinas de dos ruedas instaladas sobre pozos para extraer agua, además de los molinos de agua. Estas estructuras, a través de la influencia árabe, se transmitieron a la cultura española, y estos conocimientos fueron trasladados al continente americano durante la invasión española (Gleason et al., 2021).

Sin embargo, no fue hasta la invasión española cuando la hidráulica comenzó a surgir en América. En la región centro se desarrollaron grandes avances en sistemas de captación de agua de lluvia y otras técnicas hidráulicas (Cobos et al., 2017; Gleason et al., 2021).

2.2 La Captación en el Continente Americano Previo a la Invasión Española y el Resultado de Diferentes Culturas

Durante el periodo clásico en la región que abarca actualmente Guatemala, Belice, occidente de Honduras, El Salvador y el sureste de México, la civilización mesoamericana de los mayas desarrolló sistemas avanzados de captación de agua de lluvia. Estas estructuras incluían huecos tipo cisternas labradas en roca, conocidas como *chultún*. Los chultunes podían alcanzar hasta 5 metros de diámetro y estaban impermeabilizados con yeso, lo que permitía almacenar agua como reserva para la época seca. Estos sistemas fueron ampliamente utilizados, especialmente en el estado de Yucatán, México. Además, se ha descubierto un sistema de almacenamiento de mayores dimensiones en Tikal, Guatemala, con capacidad para almacenar hasta 75, 000 litros (Cobos et al., 2017; Gleason et al., 2021).

Otra de las civilizaciones mesoamericanas con gran importancia en el tema hidráulico fueron las culturas de Tenochtitlan-Tlatelolco. La región de Tenochtitlán fue planeada y construida

con gran cuidado conforme a los principios políticos, religiosos, militares y funcionales. Por ello, el aprovechamiento autosustentable de los recursos era un aspecto primordial para su prosperidad. En este diseño, la captación de agua de lluvia tenía una alta importancia (Cobos et al., 2017; Gleason et al., 2021; Colegio de Ciencias y Humanidades UNAM [CCH-UNAM], 2024).

Para el siglo XVI, resultado de la invasión europea al territorio americano, las técnicas de abastecimiento hídrico de ambas civilizaciones comenzaron a complementarse, eficientizando e innovando los sistemas de captación de lluvia existentes en ese momento. Se incorporaron piletas como medio de almacenamiento en las viviendas. Sin embargo, la relativa abundancia de agua, especialmente para los invasores españoles acostumbrados a menores cantidades, probablemente contribuyó al olvido de esos sistemas con el tiempo (Cobos et al., 2017).

A pesar de esto, la captación de agua de lluvia siguió siendo un sistema de abastecimiento que se mantuvo en lugares como Guanajuato, Mérida y Zacatecas. Con el tiempo, sin embargo, también fue abandonándose en estos estados debido a las necesidades para abastecer el crecimiento exponencial de las ciudades y la creciente complejidad de los sistemas de abastecimiento actuales (Gleason et al., 2021). A medida que se incrementó la urbanización y se instalaron sistemas de redes de agua potable en las ciudades, esta técnica empezó a desaparecer. Esto se debió a la necesidad de manejar grandes cantidades de agua para la industria y los altos estándares de calidad sanitaria, los cuales solo se lograron mediante el tratamiento y el abastecimiento centralizado (Cobos et al., 2017).

No obstante, debido a la escasez de agua provocada por el crecimiento demográfico, la explotación desmedida de los recursos naturales, la gestión ineficiente del recurso hídrico y el cambio climático, la captación de agua de lluvia está retomando importancia alrededor del mundo.

En México, aunque avanza más lentamente que en otros países, se han dado pasos importantes en algunos estados. Por ejemplo, en la Ciudad de México se han implementado leyes y reglamentos que fomentan el aprovechamiento del agua, no solo a nivel de sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL) en viviendas, sino también en otros tipos de desarrollos. Recientemente, en mayo de 2024, se aprobó una iniciativa que eleva la cosecha de agua de lluvia a rango constitucional, con el objetivo de depender en gran medida del agua de lluvia a largo plazo en la ciudad. Esto podría indicar un avance hacia la expansión del aprovechamiento de la lluvia a escalas mayores, como los Proyectos de Ciudades Esponja (PCE).

2.3 El Contexto Actual en San Luis Potosí de la Captación de Agua de Lluvia

Aunque, como se menciona, la Ciudad de México y algunos otros estados han avanzado en la implementación de la cosecha de agua de lluvia con investigación y políticas públicas más desarrolladas, San Luis Potosí también ha comenzado a avanzar gradualmente en la gestión y creación de programas de captación de agua de lluvia. Además, se han realizado diversas investigaciones a nivel académico para evaluar la viabilidad de estos proyectos. A continuación, se exponen los ejemplos más destacados en la ciudad.

2.3.1 Contexto desde las Políticas Públicas

En el año 2016, a través de la Comisión Estatal del Agua (CEA), se gestionó el programa federal PROCAPTAR para el municipio de San Antonio, ubicado en la región huasteca. Este proyecto se llevó a cabo mediante un convenio de colaboración para la ejecución de obras derivadas del Ramo 33: Aportaciones Federales para Entidades Federativas y Municipios, así como recursos federales del Ramo 16: Programa de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (PROAGUA), apartado rural. Los recursos fueron aportados por el gobierno del estado de San Luis Potosí a través de la CEA. Este proyecto incluyó obras de captación de agua de lluvia y obras

de saneamiento (letrinas secas), con un costo total de \$574,843.16 pesos (Comisión Estatal del Agua [CEA], 2016)

Durante el año 2018, a través de la Comisión Estatal del Agua (CEA), se aprobaron proyectos del entonces programa federal PROCAPTAR en diversas comunidades de los municipios de Aquismón, Axtla de Terrazas, Ciudad Valles, Tampamolón y Xilitla, todos en la región huasteca. En Aquismón, el proyecto se centró en la localidad de Barrio El Chamal. En Axtla de Terrazas, se llevó a cabo en la localidad de La Libertad, segunda sección. En Ciudad Valles, la localidad beneficiada fue El Cinco. En Tampamolón, el proyecto se realizó en la localidad de El Chote. Finalmente, en Xilitla, las localidades beneficiadas fueron Amayo de Zaragoza y Petatillo. Aunque la CEA no informó a detalle cuántos sistemas se construyeron, ni si fue uno solo por localidad o varios, se sabe que cada sistema tenía una capacidad de almacenamiento de 10 m³. Además, no se dispone de un reporte sobre la inversión total en las obras ni sobre la existencia de un plan de seguimiento o monitoreo de resultados (CEA, 2018).

Durante el año 2022, a través de la Secretaría de Desarrollo Agropecuario y Recursos Hidráulicos (SEDARH), se inició un proyecto de captación de lluvia en el municipio de Cerritos. La SEDARH proporcionó maquinaria pesada y personal capacitado para la reparación de bordos de abrevadero y presas, mejorando la captación de agua y ayudando a mitigar los efectos de la sequía. Se realizó una inversión de más de un millón de pesos, beneficiando a los ejidos de San Pedro de Los Hernández, Nuevo San Pedro, Manzanillas y Cerros Blancos, donde se proyectó una captación de 63,000 m³ (Secretaría de Desarrollo Agropecuario y Recursos Hidráulicos [SEDARH], 2022).

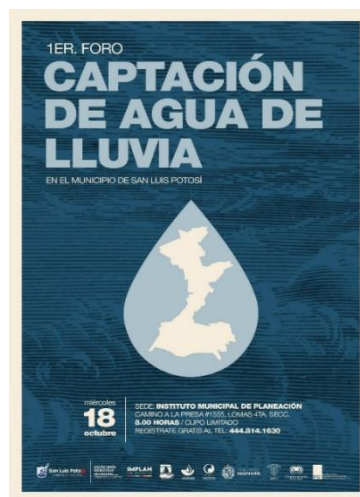
Más recientemente, en el año 2023, se inició el programa "Con Mi Cisterna Sí", impulsado por la Secretaría de Bienestar del ayuntamiento de San Luis Potosí. Este programa atiende

principalmente a zonas periurbanas y rurales con dificultades para garantizar el acceso al agua y consiste en la entrega de un kit de captación de agua de lluvia, el cual incluía la instalación de tuberías para la conducción del agua de lluvia, un mecanismo de filtración de primeras lluvias, una bomba y un tinaco para el almacenamiento del agua. Este programa ha atendido a diversas comunidades, como Escalerillas, San Sebastián, y la delegación de Bocas, entre otras. Es el programa más reciente y con mayor alcance en la instalación de SCALL a nivel de vivienda en San Luis Potosí (Código San Luis, 2024).

Además, gracias a este programa y con el interés de seguir colaborando en el tema, en el año 2023 se han iniciado diversas propuestas. La primera tuvo lugar el 18 de octubre de 2023, con la realización del primer Foro de Captación de Agua de Lluvia (figura 3). En este foro se expusieron diversos ejemplos de captación de agua de lluvia, estrategias y herramientas aplicables en la capital del estado, así como propuestas sobre el rumbo que debería tomar la captación de agua de lluvia en la ciudad.

Figura 3

1er. Foro Captación de Agua de Lluvia. Fuente: Secretaría de Bienestar Municipal SLP, 2023



También, desde finales del 2023 hasta mediados del 2024, se ha trabajado en la elaboración de una norma técnica vinculante al reglamento de construcción de la capital potosina. En este proyecto han participado miembros del cabildo, diversas direcciones del ayuntamiento como Desarrollo Urbano y Bienestar, así como estudiantes e investigadores de la Facultad de Ingeniería y la Facultad de Derecho de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Esta norma se crea con el propósito de incluir la cosecha de lluvia como requisito para aprobar los permisos de construcción en nuevos proyectos.

2.3.2 Contexto Académico

En las universidades se han logrado grandes avances en los últimos años sobre los SCALL, tanto en su forma tradicional en viviendas como en nuevas estrategias de cosecha de lluvia que permiten darle un uso al agua y promover la infiltración al suelo. Estas estrategias incluyen sistemas como azoteas verdes, jardines de lluvia, pozos de infiltración, zanjas de infiltración, pavimentos permeables, parques inundables, entre otros.

Chávez (2012) trabajó en un estudio de caso en el municipio de Zaragoza, S.L.P., cuyo objetivo fue incorporar sistemas de captación de agua de lluvia en azotea para obtener agua de calidad para consumo humano, basándose en la NOM-027-SSA1-1994 vigente en ese momento. La necesidad de analizar la factibilidad de los SCALL surgió debido a que Zaragoza es un municipio con clima semidesértico, con precipitaciones de 378mm/año y poca disponibilidad de agua de otras fuentes por su ubicación geográfica. El estudio demostró que la calidad del agua cumplía con todos los parámetros de la NOM-027-SSA1-1994, excepto en lo referente a la calidad microbiológica, ya que se detectó presencia de *Escherichia coli*. Sin embargo, también destacó la efectividad del separador de primeras lluvias en la reducción de contaminantes, lo que permitió que el agua almacenada fuera más limpia. Otro aspecto importante fue el análisis de la viabilidad

económica del SCALL, que tuvo un periodo de retorno de 6 años, menor gasto económico en comparación con el abastecimiento a través de camiones cisterna, y una opción más sostenible en contraste con el acarreo de agua desde el pozo artesiano.

Hernández et al. (2017) realizaron un estudio sobre la rehabilitación mediante infraestructura verde (IV), que se enmarca en el enfoque de Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN). Este enfoque también incluye sistemas de captación de agua pluvial, con el objetivo principal de gestionar las escorrentías y maximizar los beneficios ambientales frente a la infraestructura convencional. Para este trabajo, se eligió el Río Santiago, que pasó de ser un río natural temporal a una infraestructura vial y pluvial, con el único propósito de desalojar el agua hacia aguas abajo de la ciudad. De este trabajo se concluyó que rehabilitar el Río Santiago con este enfoque marcaría un eje en la regeneración de espacios con valor ecológico, devolviendo áreas a los sistemas naturales y aumentando su valor biológico. Además, implica una serie de beneficios como:

- Gestionar las escorrentías pluviales, mejorando la infiltración de una parte de estas sin perjudicar la función vial.
- Retener agua y, por ende, disminuir los volúmenes de escorrentía.
- Fungir como sistema de movilidad sostenible, incluyendo otros usos como el peatonal, la movilidad no motorizada y el transporte colectivo, mediante la reubicación de los carriles.
- Promover servicios recreativos y culturales.
- Crear ecosistemas de valor ecológico, reduciendo las islas de calor y promoviendo la biodiversidad.

- Mejorar la conectividad, integrando la ciudad como un corredor ecológico en lugar de un elemento divisorio.

En el 2017 se llevó a cabo otra investigación para evaluar la aplicación de diversas tecnologías apropiadas en comunidades rurales del municipio de Villa Juárez. Las tecnologías se propusieron con la finalidad de brindar abastecimiento y mejorar la calidad del agua. En el caso del abastecimiento, se decidió implementar sistemas de captación de agua de lluvia en azoteas. Este trabajo concluyó que la dotación a través de los SCALL fue satisfactoria para uso doméstico, sin embargo, debido a los usos y costumbres de la comunidad, el filtro para consumo humano no tuvo gran impacto. Comparando este sistema con el contexto urbano, se observa una gran diferencia en las características del diseño del sistema de almacenamiento. Por ejemplo, en el caso de las superficies de captación (azoteas), los rangos van de 25.6 a 125m²; las precipitaciones en el periodo de lluvias (mayo a octubre) varían entre 407 a 532mm, una cantidad no muy diferente al contexto urbano de la ZMSLP. Sin embargo, la dotación de 36 l/hab/día evidencia la viabilidad de su implementación para el abastecimiento debido a que estas condiciones son fáciles de cubrir. A pesar de ello, este trabajo deja otras conclusiones importantes sobre la aplicación de tecnologías apropiadas en el contexto social:

- La apropiación de las tecnologías garantiza mayor durabilidad de ellas.
- Participación femenina activa, empoderamiento en toma de decisiones.
- Reducción de labores de acarreo de agua, principalmente en mujeres, ya que generalmente son las que realizan estas actividades.
- Potencial de reducción de enfermedades relacionadas a la mala calidad del agua.
- Potencial de mejorar la cultura del agua a través de capacitaciones para la apropiación de las tecnologías (Díaz de León, 2017).

Pérez (2018) concluyó, a través de una evaluación de captación de agua de lluvia en la comunidad de San Juanico Chico, una comunidad periurbana cercana a la ZMSLP, que captar agua de lluvia y utilizarla en procesos cotidianos es una alternativa potencial para la seguridad alimentaria, además de ayudar a atenuar los conflictos sociales entorno al recurso hídrico. Esto se demostró al lograr almacenar 33.9m^3 al año, representando el 74.5% del total de la demanda para uso agrícola y consumo humano. Además, este análisis demostró un coste-beneficio de 2.13 y una tasa interna de retorno (TIR) del 35.46% en un sistema de abastecimiento combinado (SCALL y pipas). El enfoque de este proyecto fue integral en la cosecha de agua de lluvia, ya que también se analizó que un humedal construido puede satisfacer la demanda para producción de forraje para la alimentación de animales en un sistema de traspatio, evitando así la necesidad de otra fuente de agua, la contaminación del suelo y la presencia de focos de infección por falta de sistemas de drenajes eficientes. Cabe resaltar que en este proyecto hubo participación de la comunidad, con buena aceptación de los participantes, logrando que otros pobladores comiencen a interesarse por este tipo de infraestructura. Sin embargo, el buen porcentaje de captación de lluvia se debe a que las áreas disponibles para la captación son grandes, teniendo un total de área disponible de 449m^2 , una superficie difícilmente aprovechable en viviendas dentro de la zona metropolitana.

Por otro lado, Zubelzu et al. (2020) realizaron una investigación para determinar cuál sería la combinación óptima de cosechar agua de lluvia en (SUDS) en la ZMSLP. Integraron diversas tipologías con el objetivo de detener, reutilizar e infiltrar la precipitación *in situ*. Con este trabajo, concluyeron que promover la detención y reutilización de la escorrentía son soluciones óptimas, por encima de priorizar otras tipologías como pavimentos porosos y techos verdes. Esta conclusión se respalda con decisiones multicriterio económicas e hidrológicas. El principal aporte que hacen

mediante esta investigación para seguir analizando la incorporación de estas herramientas en la ZMSLP incluye:

- La necesidad de identificar estadísticas representativas para poder incorporar información climática. Para ello, es necesario fortalecer los sistemas de monitoreo.
- Definir costos representativos, garantizando la consistencia espaciotemporal en la ciudad.
- Incorporar criterios integrales de planificación de estos sistemas en nuevos desarrollos potenciales.

Posteriormente, Ponce de León (2022) llevó a cabo una investigación sobre SUDS en la Delegación de Villa de Pozos en San Luis Potosí como zona de estudio. Se desarrolló un modelo para representar la respuesta hidrológica y el comportamiento del drenaje pluvial utilizando la herramienta SWMM. A través de un análisis multicriterio, se generó una propuesta de SUDS con el objetivo de simular los escurrimientos y caudales en la red del drenaje pluvial. Además, se realizaron análisis costo-beneficio utilizando la herramienta BEST.

Con este trabajo se concluye que:

- En la zona de estudio, se enfrentan grandes escurrimientos de agua pluvial que la infraestructura actual no puede manejar adecuadamente, a pesar de la instalación de colectores en algunas áreas. Las vialidades sin estos colectores sufren más problemas de encharcamientos e inundaciones.
- La implementación de SUDS reduce la esorrentía pluvial entre un 10% y un 40% en 15 de las 27 subcuencas que componen la zona.

- Las cuencas de retención mostraron una efectividad del 100% para retener la escorrentía debido a las particularidades de la zona, mientras que las trincheras de infiltración redujeron hasta un 94%. En contraste, los SCALL en edificación, pavimentos permeables y techos verdes mostraron reducciones del 23%, 19% y 4%, respectivamente.
- Aunque las cuencas de retención representan el mayor porcentaje del presupuesto para su implementación, son la tipología que demostró la mejor relación costo-beneficio.
- Los beneficios económicos más significativos incluyen el aumento del valor de los predios cercanos a la infraestructura, la reducción de inundaciones, los beneficios educativos y recreativos.
- Estos sistemas se identifican como proyectos socialmente rentables.

Pérez (2024), a través de un modelo de captación de agua pluvial tipo SUDS, concluye que, para otorgar eficacia a esta herramienta de gestión de agua pluvial, es necesario centrar el diseño de las tipologías identificando zonas con potencial de inundaciones y centrar principalmente las tipologías en gestionar las escorrentías. Además, considera de importancia incluir la participación de diversos actores, como autoridades y la sociedad, ya que para su implementación es necesario considerar la inversión, el mantenimiento y otros factores. Incluir a estos actores también ayuda a integrar estas herramientas en la planificación urbana. Aunque aún no se han incorporado tangiblemente en San Luis Potosí, proyectos de investigación de este tipo respaldan la toma de decisiones. Su incorporación es necesaria en el marco legal, ya que, debido al desconocimiento de la gran variedad de beneficios y tipologías de estas herramientas, su

implementación en nuevos desarrollos urbanos o en la renovación de la infraestructura se ve estancada.

Por su parte, Félix (2024) evaluó la problemática del abastecimiento y saneamiento del agua en una zona periurbana de la capital potosina. El objetivo de este trabajo fue proponer soluciones, ya que, en esta zona debido a factores políticos, económicos y sociales, el abasto de agua y el tratamiento de las aguas residuales han sido tareas pendientes durante años. En este estudio se propusieron como soluciones los SCALL en azotea y humedales construidos. De acuerdo con estimaciones basadas en modelos, la implementación de SCALL permitiría aumentar la disponibilidad de agua para los hogares, ya que, aunque existe la infraestructura (presas, pozos y norias), la disponibilidad es deficiente debido a la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua. Además, los humedales construidos reducirían los contaminantes, lo que, con el tiempo, incrementaría la disponibilidad de agua en la infraestructura existente.

Hernández (2024) realizó un análisis de factibilidad para la implementación de sistemas de captación tipo SUDS en la zona industrial de San Luis Potosí. El análisis se centró tanto en aspectos técnicos como económicos. Utilizando el modelo *Storm Water Management Model* (SWMM), se seleccionaron las tipologías más viables en función de las características del lugar. La finalidad de incorporar estos sistemas en la zona industrial (ZI) es reducir el caudal de escorrentía pluvial, dado el alto potencial de inundaciones, al mismo tiempo que se busca aprovechar el agua captada. En este estudio se concluyó que en las subcuencas propuestas de la ZI se registran grandes caudales de agua, de hasta 9, 000 L/s. La principal razón de estos caudales se debe al cambio de uso de suelo, ya que en 1990 el 98.8% del área estaba destinado a la agricultura, mientras que en 2018 el 90.2% se había convertido en ZI. Con la implementación de sistemas de captación, se lograron

reducciones del 50, 60, 70 y 80% en los caudales en algunas subcuencas, aunque también hubo otras con reducciones menores del 10 y 20%. De las tipologías que más destacaron fueron:

- Cuencas de retención, con 100% de efectividad.
- SCALL en azotea, con 90% de efectividad.
- Pavimentos permeables, con 70% de efectividad.

Finalmente, en el análisis económico se comprobó que la menor inversión se destinaría a las cuencas de retención, con un 10.65%, seguido por los pavimentos permeables, que requerirían un 30.33%, finalmente los SCALL, que representarían el 59.05% restante de la inversión total.

Como se demuestra en estos estudios, los sistemas de captación son una infraestructura integral y eficiente que contribuyen al cumplimiento del derecho humano al agua, la reducción de escorrentías pluviales, el aprovechamiento del agua de lluvia, la mejora estética y el paisajismo, entre muchos otros beneficios. Por ello, su incorporación al marco legal es necesario frente a las afectaciones por la crisis hídrica y el cambio climático en San Luis Potosí.

Capítulo 3

Interrelación de Factores de Medioambiente y Gobernanza del Agua. Análisis para el Área Metropolitana

“La clase obrera no estará en condiciones de crear una ciencia y un arte propios hasta que se
haya emancipado de su situación actual como clase”

Rosa Luxemburgo (1903). *Estancamiento y progreso del marxismo*.

3. Interrelación de Factores de Medioambiente y Gobernanza del Agua. Análisis para el Área Metropolitana

En la actualidad, es sabido que la participación de la sociedad en la toma de decisiones genera un mejor entorno de democracia y una gestión más eficiente de las políticas públicas y los recursos naturales, como el agua. Además, se considera una estrategia clave para lograr el desarrollo sustentable en los ámbitos locales. Por ello, los acuerdos para implementar leyes no pueden ser impulsados únicamente por los representantes de los órganos de poder, es decir, en el caso de México, el ejecutivo, legislativo y judicial. Es necesario utilizar metodologías que integren la participación ciudadana y lograr una apropiación de los planes de gestión del agua a través de la gobernanza, ya que la gobernanza se entiende como una serie de interacciones entre los diversos actores públicos y privados con el que a través de un marco normativo son orientados a resolver diversos problemas sociales (Guerrero-De León et al., 2010).

La gobernanza se entiende como el proceso que actores como el gobierno, instituciones, organizaciones y la sociedad emprenden mediante procedimientos y prácticas establecidas en un marco normativo, con la finalidad de solucionar conflictos sociales en un determinado espacio-tiempo (Guerrero-De León et al., 2010; Oficina del Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Derechos Humanos [ACNUDH], 2023). Por lo tanto, la gobernanza del agua es el proceso que nos ayuda a analizar los conflictos por el uso del agua y como con la participación de diversos actores (principalmente político y social) se desarrollan acuerdos y se toman decisiones para solucionar dichos problemas, además de generar mejores espacios de confianza.

3.1 Desafíos y Estrategias Internacionales y Nacionales: Medioambiente y Gobernanza del Agua

Los problemas del agua en México y en el mundo son muy amplios y variados. En algunas regiones, la escasez de este recurso se debe a condiciones climatológicas, mala planificación de proyectos de urbanización, crecimiento industrial y mala distribución. Esto favorece el acceso al agua para unos pocos y deja fuera al sector más vulnerable. Otras regiones enfrentan problemas de contaminación del agua por fuentes naturales o antropogénicas, como descargas de aguas residuales municipales e industriales en cuerpos de agua naturales, contaminación atmosférica y arrastre de contaminantes en las escorrentías durante las lluvias

De las 8, 075 millones de personas en el mundo, alrededor de 2,200 millones no tienen acceso a servicios de agua potable. Cerca de 4, 200 millones no cuentan con servicios de saneamiento de forma segura y 2, 000 millones viven en países que sufren escasez de agua. Además, el 90% de los desastres naturales están relacionados con el agua, y cerca del 80% de las aguas residuales son vertidas en cuerpos de agua sin pasar por un tratamiento o ser reutilizadas, entre otros problemas (ONU, 2023b).

Algunas ciudades enfrentan grandes problemas de contaminación del agua debido a actividades económicas como la industria minera, metalúrgica, agroalimentaria y ganadera (García, 2009; Maguey, 2018; Restrepo, 2006; UNAM, 2014). Otras ciudades sufren por el deterioro ambiental en zonas cruciales para la recarga de acuíferos y ríos superficiales, como la deforestación y el desarrollo económico urbano (Escobar, 2006). Además, la desigualdad en la distribución de este recurso es un problema significativo en México, donde en 2015 el 11% de la población aún no tenía acceso a servicios de agua potable y el 23% carecía de alcantarillado, afectando principalmente a comunidades indígenas y zonas rurales (Monforte & Cantú, 2015).

Sin embargo, en las zonas metropolitanas, como el área periurbana de San Luis Potosí, existe un problema adicional de desigualdad. A lo largo de la zona urbana también se observan disparidades significativas en la prestación de servicios de agua.

Para entender estos detalles, es crucial adentrarnos en el contexto específico de la Zona Metropolitana de San Luis Potosí (ZMSLP).

3.1.1 Introducción a la Zona Metropolitana de San Luis Potosí

San Luis Potosí es un estado que comprende 59 municipios y abarca una superficie de 61,165 km², lo que equivale al 3.12% del territorio nacional. Su población asciende a 2,822,255 habitantes, representando el 2.2% del total del país. Del total de habitantes, el 67% reside en zonas urbanas y el 33% en zonas rurales (INEGI, 2020a). Esta distribución hace que las zonas urbanas enfrenten un mayor estrés hídrico y requieran estrategias específicas, aunque sin menospreciar las necesidades propias del recurso hídrico en las áreas rurales.

La zona metropolitana de San Luis Potosí (ZMSLP) comprende principalmente los municipios de San Luis Potosí y Soledad de Graciano Sánchez. Inicialmente, se consideraba incluir también al municipio de Cerro de San Pedro dentro del área metropolitana, conforme al principio de conformación del Organismo Intermunicipal Metropolitano de Agua Potable, Alcantarillado, Saneamiento y Servicios (INTERAPAS). Este organismo proporciona servicios a los tres municipios mencionados, además del nuevo municipio de Villa de Pozos a través de un convenio de colaboración para el servicio que compete del agua al organismo (Pulso, 2024).

En esta zona, se enfrentan varios problemas y retos significativos. Uno de ellos son los altos costos asociados con la extracción del agua, dado que el nivel del acuífero profundo desciende anualmente entre 3 y 4 metros. Además, se han identificado fallas estructurales en el sistema de

presas y del acueducto por el que se debería de suministrar agua de la presa El Realito a la capital potosina. También existe preocupación por la contaminación en cuerpos de agua superficial, como la presa San José, que está afectada por la proliferación de lirio acuático como resultado de la presencia de aguas residuales domésticas. Además, se han reportado problemas de inundaciones debido al aumento en la intensidad de las lluvias, lo cual sobrecarga los principales drenajes pluviales y provoca desbordamientos combinados con aguas residuales (INTERAPAS, 2023b).

En este contexto, la zona se caracteriza por tener un clima semiárido, con una temperatura media anual de 18°C y una precipitación media anual de 380 mm. El período de mayor precipitación abarca de mayo a septiembre, con un acumulado aproximado de 280 mm durante este periodo (Pérez et al., 2022).

A pesar de que la precipitación es baja, la vulnerabilidad de la ciudad frente al cambio climático es inminente. Cada vez son más comunes las precipitaciones de alta intensidad, generando colapsos en vialidades importantes para el tránsito de la ciudad. Se ha detectado que precipitaciones acumuladas en 24 horas mayores a 11mm han generado afectaciones, como el cierre de vialidades. También se han encontrado afectaciones para eventos de precipitación menores a 10 mm por día, cuando hay días consecutivos de lluvia, lo que genera cierres en los principales canales de flujo como el Río Santiago y el Río Españita. Aunque los gobiernos locales han invertido en la ampliación de drenajes pluviales, disminuyendo los cierres para el tráfico vehicular, aún con precipitaciones mayores a 20mm se generan problemas por las escorrentías en el norte de la ZMSLP (Pérez et al., 2022).

Para resolver la situación de desabasto y presión hídrica, se requieren de soluciones complejas e integrales. Por ello, cada órgano y nivel de poder deberá atender de acuerdo con sus atribuciones y competencias jurídicas establecidas en el marco legal federal, estatal y municipal,

buscando incluir la colaboración interinstitucional y social en las nuevas leyes para mejorar la coordinación desde la gobernanza del agua y atender al sector más vulnerable ante dicha problemática.

Si bien actualmente no existe un indicador claro para medir la gobernanza en la ZMSLP ni un recurso legal para involucrar ampliamente a la sociedad en la solución de los conflictos del agua, es cada vez más evidente que la sociedad comienza a tomar voz a través de diversos medios y actores, como es el caso de la constitución de contralorías autónomas del agua en México y el proceso de constitución de una en San Luis Potosí. Estas actividades fortalecen la participación de la sociedad en la toma de decisiones, divulgación de la problemática, enfoque de soluciones, iniciativas legislativas, entre otras.

Sin embargo, aún falta seguir explorando con el uso de diversas herramientas, como es el Marco Analítico de Gobernanza (MAG) que es una herramienta alternativa propuesta por *Hufty (2008)* para analizar la gobernanza y que ayuda a comprender el contexto sociopolítico particular. Esta herramienta tiene la capacidad de observar el problema, los actores, leyes y reglamentos, los puntos nodales (acuerdos) y los procesos de toma de decisiones.

Esta herramienta ha permitido explorar diversos procesos de gobernanza, como el caso de la microcuenca El Cangrejo en Jalisco, México, con lo que se logró identificar la estructura institucional y normativa de esta zona, las deficiencias técnicas y educativa. También se demostró la carencia de coordinación institucional y de participación ciudadana. Demostrando así, ser una herramienta eficiente para evaluar la gobernanza (Guerrero-De León et al., 2010).

3.2 Metodología

Se propuso una metodología en dos fases. La primera fase es un análisis de factores ambientales, en el que se seleccionaron la geografía, el clima y la edafología, con la finalidad de identificar subcuencas, seleccionar una mediante una evaluación multicriterio y obtener un balance general. La segunda fase consistió en un análisis de gobernanza para conocer la estructura política y social de la ZMSLP.

3.2.1 Factores ambientales

Los factores ambientales son aquellos elementos que rigen el comportamiento y la diversidad ecológica de una región. Se clasifican en bióticos y abióticos, y ambos se constituyen como elementos reguladores de la población (Enkerlin et al., 1997). Ningún factor es de menor importancia, sin embargo, para este proyecto se omitieron algunos. Para identificar aquellos relacionados con la disponibilidad del recurso hídrico, se seleccionaron únicamente los que influyen en la disponibilidad de agua superficial: factores geográficos, edáficos y climáticos.

3.2.1.1 Factores Geográficos. Con la finalidad de identificar las subcuencas que componen la ZMSLP, se realizó un análisis de la superficie del terreno utilizando diversas capas del Modelo Digital de Elevación (MDE) de tipo terreno de 1.5 metros del Continuo de Elevación Mexicana (CEM). Se seleccionó una de las varias subcuencas que comprenden la ZMSLP, se calcularon sus características morfométricas y se generó un mapa representativo y de orientación. Los criterios considerados en la selección incluyeron características sociodemográficas y espaciales. Para esta etapa, se hizo uso de sistemas de información geográfica (SIG), un modelo hidrológico y datos provenientes de fuentes bibliográficas (INEGI, 2023).

Cuadro 1

Capas utilizadas para realizar el MDE completo de la ZMSLP

Clave de la capa	Edición	Exactitud
De F14A84 : a1, a2, a3, a4; b1, b2, b3, b4; d1, d2, d3, d4; e1, e2, e3 y e4	Modelo Digital de Elevación de Tipo Terreno, Escala 1:10 000,	1.5 metros
De F14A83 : c1, c2, c3, c4; f1, f2, f3 y f4	2020.	

El MDE se exportó al modelo hidrológico *Hydrologic Modeling System* del *Hydrologic Engineering Center* (HEC-HMS 4.10). Con este modelo, se realizó un análisis del terreno para identificar el comportamiento hidrológico de la cuenca de acuerdo con las elevaciones. La finalidad de este análisis es identificar las posibles corrientes que se formarían en caso de una precipitación, considerando únicamente el factor de la elevación. A partir de este análisis, se obtendrían las delimitaciones de las subcuencas.

Para la evaluación multicriterio, se preseleccionaron tres subcuencas con criterio de abarcar territorialmente ambos municipios que conforman la ZMSLP, San Luis Potosí y Soledad de Graciano Sánchez, así como no ocupar una gran extensión a simple vista.

Los aspectos considerados en la evaluación multicriterio fueron los siguientes:

- Tamaño de la subcuenca (5 puntos).
- Urbanización en relación con áreas de cultivo y espacios verdes (5 puntos).
- Facilidad de monitoreo, cercanía para la aplicación del MAG (3 puntos).
- Sociodemográficos: tales como fuente de abastecimiento (pozos), plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR, de carácter público), viviendas sin agua entubada, viviendas sin drenaje, 5 puntos cada uno (INEGI, 2020d).

Una vez seleccionada la subcuenca, se determinaron sus características morfológicas, incluyendo el área, perímetro, longitud de la cuenca, entre otras.

Además, se realizó una revisión de las características sociodemográficas utilizando capas de Área Geoestadística Básica (AGEB) a nivel de manzanas, seleccionando específicamente aquellas pertenecientes a la zona de estudio (INEGI, 2020d, 2020b).

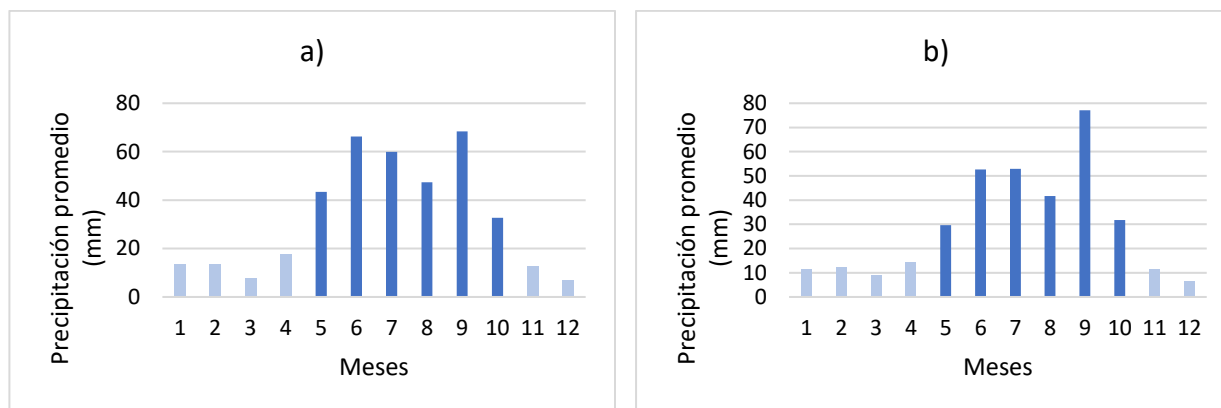
3.2.1.2 Factores Climáticos y Edáficos: Balance Hidrológico. Para el análisis de los factores climáticos, se emplearon datos de las estaciones climatológicas del Sistema Meteorológico Nacional (SMN), las cuales fueron integradas en *Google Earth* para su preselección basada en su distribución espacial.

Para la selección de las estaciones se realizó un histograma con el promedio de precipitación mensual por estación, con el fin de determinar el periodo de lluvia. Este periodo abarcó 6 meses en todas las estaciones (figura 4). Posteriormente, se consideraron solo los años de cada estación que contaban con datos de precipitación máxima de 24 horas durante al menos 4 meses del periodo de lluvia y 7 meses de los 12, como se muestra en la siguiente expresión (Ec. 1):

$$n/2 + 1 \quad (\text{Ec. 1})$$

Figura 4

Histograma de la precipitación promedio mensual de las estaciones a) 24070 y b) 24081



Nota. Ejemplos del periodo de lluvia de algunas estaciones utilizadas.

Se llevó a cabo un análisis de independencia para determinar si los datos estaban influenciados por valores anteriores o afectaban a los siguientes, lo que permitió descartar cualquier manipulación de los datos. Para esta evaluación, se empleó la prueba de Anderson (Campos, 2007).

Además, se realizó una prueba de homogeneidad para verificar si todos los datos de la serie provenían de una única población, es decir, si correspondían a una misma estación. En este análisis se aplicó la prueba de Helmer (Campos, 2007).

Ambas pruebas se llevaron a cabo utilizando datos de precipitación máxima de 24 horas por año, durante el periodo comprendido entre 1994 y 2017.

Además, dado que las estaciones no siempre contaban con todos los datos, fue necesario realizar estimaciones para la precipitación total mensual y la temperatura media mensual durante el periodo de 1994-2017.

Para la precipitación durante el periodo de lluvia y la temperatura media, se calculó utilizando el promedio de los datos disponibles de las estaciones cercanas que cumplieran con estos datos durante el mismo mes y año. En cuanto a la precipitación durante los meses que no pertenecían al periodo de lluvia, se calcularon utilizando el método racional deductivo.

Con el promedio de la precipitación anual y la temperatura media anual por estación, se interpolaron los valores utilizando el *software Surfer* 13. Este programa fue utilizado para generar mapas de variabilidad, los cuales posteriormente fueron exportados a QGIS. En QGIS se realizaron mediciones de las áreas de variabilidad. Finalmente, se llevaron a cabo los cálculos para obtener la precipitación y la temperatura efectiva para la zona de estudio, como se muestra en el cuadro 2.

Cuadro 2

Cálculo de temperatura media por isoyetas para el periodo 1994-2017

N. de área	Cambio de T(°C)	T media (°C)	Área (km ²)	T * Área
1	17.6 - 17.7	17.65	0.0082	0.14
2	17.7 – 17.8	17.75	17. 8345	316.5623
3	17.8 – 17.9	17.85	11.9312	212.97
4	17.9 - 18	17.95	0.7765	13.94
Suma			30.55	543.47

Donde Tc es la temperatura de la cuenca (ec. 2).

$$T_c = \frac{\sum(T * \text{Área})}{\sum(\text{Área})} \quad (\text{Ec. 2})$$

Para el factor edáfico, se utilizaron las capas más recientes que incluyen el uso de suelo, la vegetación y la edafología (cuadro 3).

Cuadro 3*Edafología y Uso de Suelo y Vegetación en la zona de estudio*

Tipo de carta	Escala	Serie	Edición
Uso de Suelo y Vegetación	1: 250 000	VI, SLP F14-4	2020
Conjunto de Datos Vectoriales Edafológico		II, SLP	2007

Se calcularon las áreas para cada zona utilizando el método del Número (N) de la curva de escurrimiento para determinar el coeficiente de escurrimiento (ce).

Cuadro 4*Método N de la curva de escurrimiento*

#	Uso de Suelo y Vegetación	Edafología	Área km2	% del área	Número de escurrimiento	N ponderada
1	Pastizal natural	Leptosol	0.2287	0.75	69	0.5175
2	Urbano*	Urb-Imp	16.429	53.78	92	49.4745
3	Parque urbano**	Urb-Imp	1.8649	6.10	91	5.5550
4	Agricultura de riego	Cambisol	0.6106	2.00	86	1.72
5	Agricultura de riego	Durisol	7.3573	24.08	76	18.3008
6	Temporal	Durisol	1.7534	5.74	81	4.6496
7	Temporal	Cambisol	2.3064	7.55	91	6.8705
			30.5504	100		87.0879

Nota. * clasificación de caminos con pavimentos duros incluyendo derecho de vía. **clasificación de bosque muy esparcido o de baja transpiración, en suelo D (Campos, 2010).

La evapotranspiración se calculó utilizando el método de Turc para obtener la evapotranspiración media anual. Para el cálculo de la evapotranspiración mensual, se empleó el método de *Coutagne* (Campos, 2007).

Finalmente, se llevó a cabo un balance general de la subcuenca, estimando los datos para el periodo de 1994-2017. Este cálculo se basó en el modelo de la ecuación 3.

$$P = E_{tr} + E + I \quad (\text{Ec. 3})$$

En donde P es la precipitación media anual, E_{tr} es la evapotranspiración calculada por el método de *Turc*, E es el escurrimiento e I la infiltración (SEMARNAT, 2015).

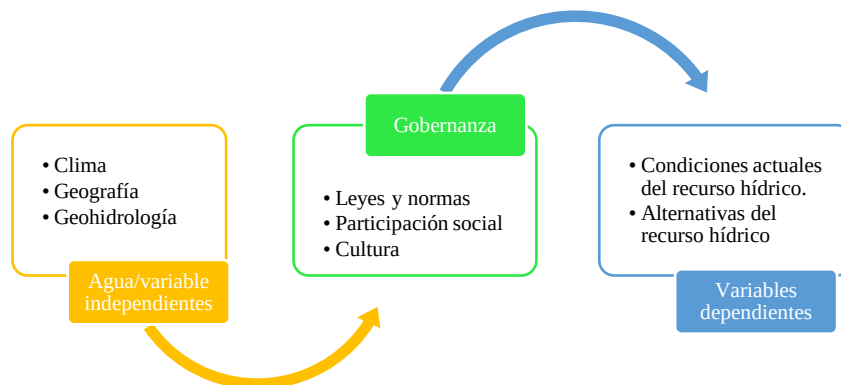
3.2.2 Gobernanza: Marco Analítico de Gobernanza (MAG)

Diversos autores concluyen que los acuerdos para implementar leyes no pueden ser únicamente impulsados por los representantes de los diferentes órganos. Es necesario utilizar metodologías que integren la participación ciudadana para lograr una apropiación de los planes de gestión del agua. Por ello, se propuso para este trabajo la implementación de la metodología Marco Analítico de Gobernanza (MAG) *Hufty (2008)*.

Para ello, el primer paso es identificar las variables para determinar qué está al alcance de los actores para resolver el problema del agua y qué no. Se plantea el siguiente esquema con los problemas en torno a la gobernanza y gestión del agua, para su identificación y su relación factores/impactos.

Figura 5

Esquema representativo de identificación de variables del agua en la ZMSLP



Nota. La figura es representativa y fue elaborada con información identificada únicamente de manera bibliográfica.

Para nutrir estas variables, se realizó una encuesta estructurada (**anexo 1**) de manera presencial a la población en general de las colonias pertenecientes a la subcuenca seleccionada. Las respuestas se recopilaron mediante *Google Forms*. Las preguntas de interés fueron diseñadas para identificar la perspectiva sobre:

- Frecuencia de abastecimiento.
- Principales problemas de gestión que ellos observan.
- El papel de la sociedad en la gestión del agua.

Una vez identificados los principales problemas, es necesario identificar a los actores. Para ello, se llevó a cabo una revisión bibliográfica, un análisis de documentos públicos, y se complementó con la misma encuesta (**anexo 1**). Esta encuesta se contempló inicialmente para realizarse al 1% de las viviendas habitadas de la cuenca, sin embargo, la extensión de esta y la dificultad de aceptación en horarios disponibles para llevarse a cabo complicó el proceso, ya que fue una encuesta presencial. Por lo tanto, se obtuvo una muestra de **25 personas** de diferentes colonias como La Tercera Grande, Tercera Chica, El Terremoto, San Felipe y Santo Tomás.

Identificados los actores, se realizó una encuesta que presencialmente se realizó a una regidora de la capital, sin embargo, la misma información de la encuesta se complementó indirectamente a través de mesas de trabajo, foros y talleres a los que se asistió, siendo la interpretación de una muestra de cerca de 30 actores, entre directores municipales, diputados, regidores, académicos, entre otros.

La finalidad de este paso es reconocer que cada actor pertenece a diferentes grupos o espacios de interés público, disciplinas, actividades económicas y conocimientos. Por lo tanto, cada uno de ellos tiene un enfoque diferente sobre cuál es el problema del agua y su preocupación desde ese espacio. Los resultados arrojados por estas encuestas deberán ser admitidos e integrados, aún si entre ellos y el trabajo existe una visión diferente. Esto ayudará a plantear una solución más profunda y comprehensiva.

Finalmente, se discuten las causas y soluciones. Para ello, el mayor esfuerzo del análisis se dirige a los actores estratégicos, ya que son los individuos o grupos de poder con los suficientes recursos para evitar, modificar o imponer las leyes.

Para el análisis de estos puntos de interés, se asistió a reuniones entre actores como regidores, representantes del Instituto Municipal de Planeación (IMPLAN), representantes de la Secretaría del Bienestar y representantes del sector de construcción de la vivienda, todos del municipio de San Luis Potosí, así como actores académicos para sustentar dichas posibilidades. La finalidad de estas reuniones fue la discusión de aspectos importantes de cada grupo de actores para obtener una propuesta a nivel municipal para impulsar una norma técnica vinculante al reglamento de construcción, integrando los sistemas de captación de agua de lluvia, así como ecotecnias para el ahorro del agua.

Es importante mencionar que el Marco Analítico de Gobernanza proporciona una herramienta para analizar la complejidad de la gobernanza, es decir, cómo se toman las decisiones, se implementan y se controlan las políticas y prácticas, así como también mejorar la gobernanza.

3.3 Resultados y Discusión

3.3.1 Factores Geográficos

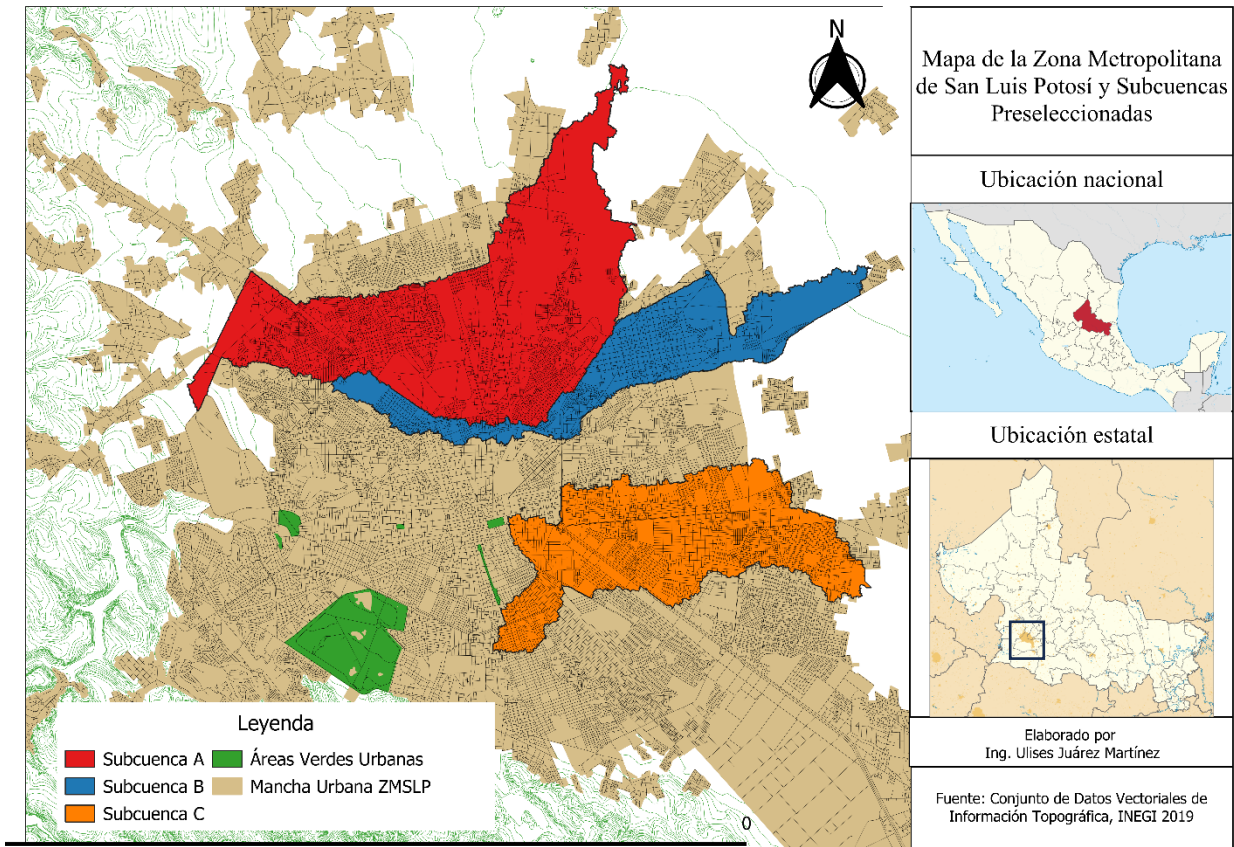
La zona metropolitana de San Luis Potosí se encuentra dentro de la cuenca Presa San José-Los Pilares y Otras, perteneciente a la región hidrológica El Salado, ubicada en la región hidrológico-administrativa Cuencas Centrales del Norte. A su vez, esta zona se encuentra dentro del polígono del acuífero San Luis Potosí 2411 (COTAS, 2021). La ZMSLP cuenta con 3 ríos naturales temporales Santiago, Españita y Paisanos.

Además, está compuesta por diversas subcuencas, siendo necesario un análisis territorial previo para preseleccionar algunas cuencas, para lo que se tomaron diversos criterios. El primero fue que no perteneciera a un municipio, si no que abarcara San Luis Potosí y Soledad de Graciano Sánchez. También se buscaba que su extensión no fuera demasiado amplia, descartándose la subcuenca donde corre el Río Santiago, que se extiende desde la presa San José hasta la zona periurbana de Soledad de Graciano Sánchez. Cumpliendo con estos criterios se eligieron 3 subcuencas denominadas A, B y C (figura 6).

Con estas tres subcuencas se realizó el análisis multicriterio (cuadro 5), considerando el tamaño de la subcuenca (5 puntos), la urbanización en relación con áreas de cultivo y espacios verdes (5 puntos), la facilidad de monitoreo para la aplicación del MAG (3 puntos) e indicadores sociodemográficos como el abastecimiento (pozos), plantas de tratamiento de aguas residuales (de carácter público), viviendas sin agua entubada, viviendas sin drenaje (5 puntos c/u). Como resultado se seleccionó la subcuenca A (color rojo, figura 6).

Figura 6

Mapa de identificación de subcuencas pertenecientes a la ZMSLP SGS-SLP



Cuadro 5

Análisis multicriterio para la selección de una subcuenca en la ZMSLP

Subcuenca	Tamaño de la subcuenca (5)		Urbanización (5)	Facilidad de monitoreo (3)	Factores Sociodemográficos (5 c/u)			
					a	b	c	d
	Área (km)			Puntos				
A	30.557	3	5	3	5	5	4	4
B	12.284	5	4	3	5	5	3	2
C	18.469	4	3	1	3	0	2	1

Nota. Cada letra corresponde a un factor diferente: **a)** pozos como fuente de abastecimiento, **b)** PTAR, **c)** viviendas sin agua entubada y **d)** viviendas sin drenaje (INEGI, 2020a).

Cuadro 6

Características de la subcuenca A (seleccionada)

Característica	Valor	Unidad
Área de la cuenca (Ac)	30.55	Km ²
Perímetro de la cuenca (Pc)	67.96	Km
Pendiente (Scp) (método de Taylor and Schwartz)	.048	
Longitud de la cuenca (Lc)	12.37	Km

Además, se realizó un análisis más detallado de las características sociodemográficas, como se muestra en el cuadro 7.

Cuadro 7

Características sociodemográficas de la subcuenca A

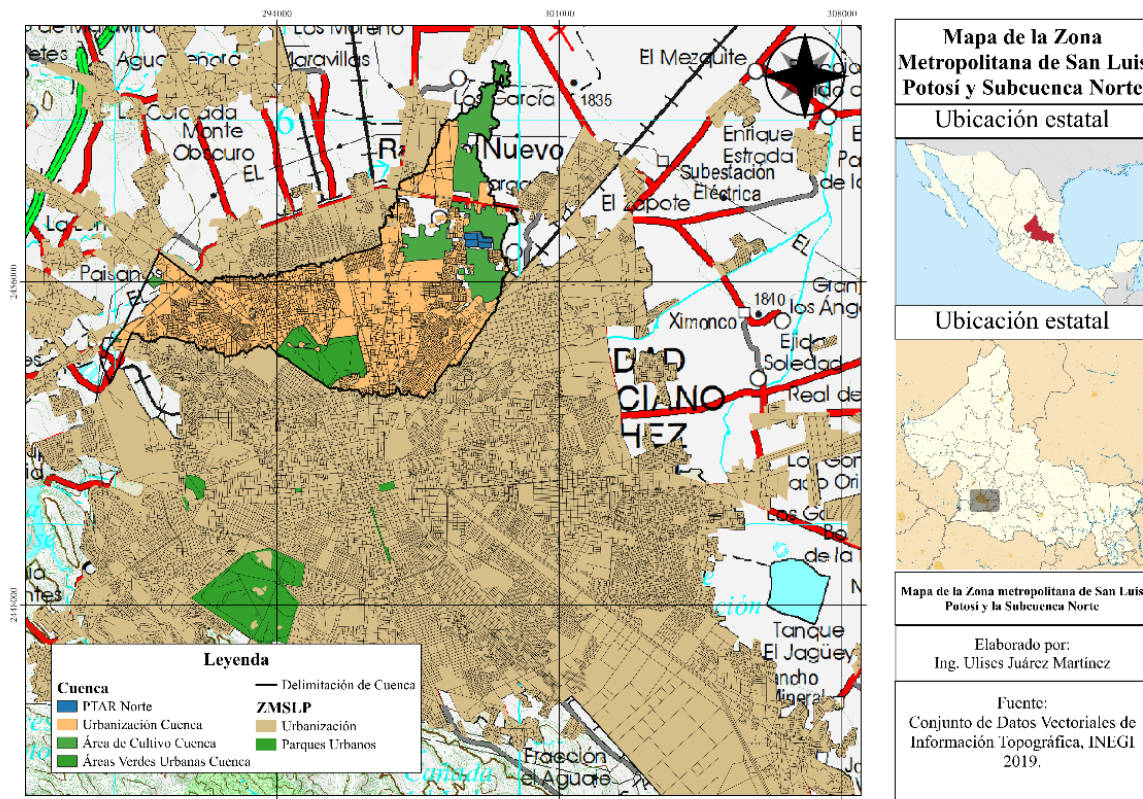
Característica	SLP	SGS	Total cuenca	%
Población total	122, 465	39, 705	162, 170	
Población 18+ años	82, 446	27, 027	109, 473	67.5
Total de viviendas	39, 034	13, 474	52, 508	
Viviendas habitadas (VibHab)	32, 695	11, 479	44, 174	
Viviendas particulares (VibPar)	36, 551	12, 893	49, 444	
Vivienda particular habitada	30, 389	11, 008	41, 397	
Promedio ocupantes vivienda	3.7	3.45	3.67	
VivHab servicio de agua entubada	31, 896	11, 409	43, 305	98
VivHab agua entubada de servicio público	29, 732	11, 105	40, 837	92.4
VivHab con sistema de drenaje	32, 232	11, 407	43, 639	98.8
VivHab con tinaco	27, 774	10, 931	38, 705	87.6
VivHab con cisterna-aljibe	24, 894	9, 957	34, 851	78.9
VivHab con excusado	32, 237	11, 426	43, 663	98.8
VivHab con letrina	82	5	87	0.2

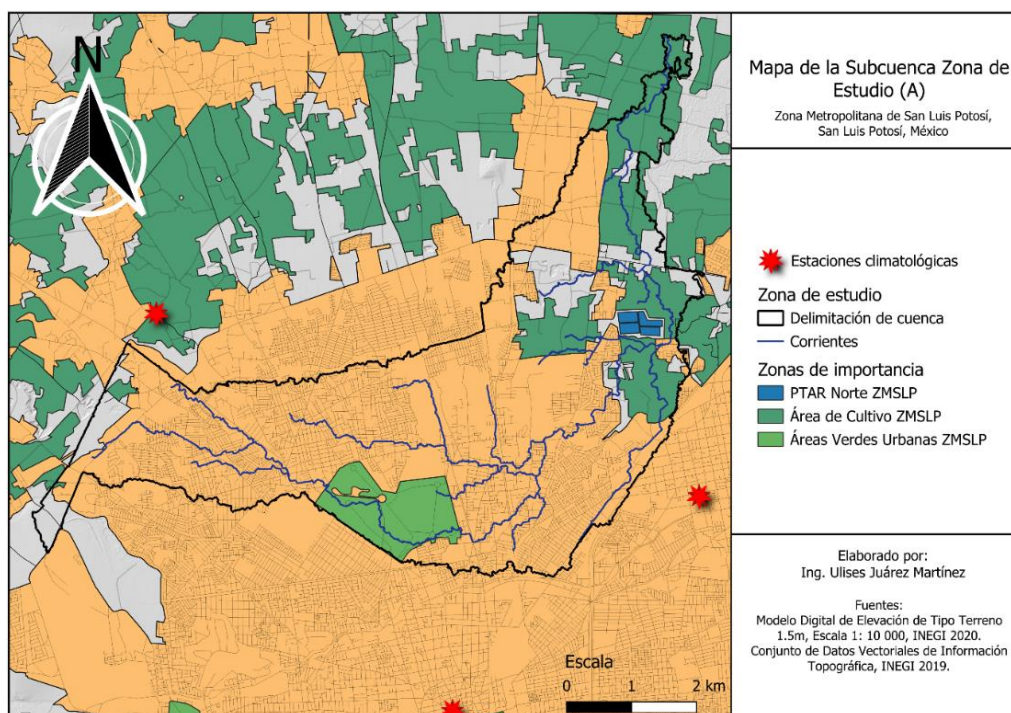
Nota. Según el censo de población y vivienda (INEGI, 2020b, 2020d), a partir de la vivienda habitada con servicio de agua entubada, debería entrar en la categoría de vivienda particular habitada, sin embargo, hay contradicción con esta información, ya que, en algunos casos, las viviendas que cuentan con esos servicios serían más que las viviendas particulares habitadas, por ello, se hizo la corrección de que entraran como vivienda habitada.

Finalmente, se elaboraron mapas para identificar la subcuenca en la zona metropolitana, destacando características importantes como polígonos de parques urbanos, la planta de tratamiento de aguas residuales del norte (PTAR-Norte) perteneciente a la subcuenca, así como áreas de cultivos en el norte de esta.

Figura 7

Mapas de la subcuenca A seleccionada como zona de estudio





Del uso de suelo y vegetación de la subcuenca A, de acuerdo con las cartas de Uso de Suelo y Vegetación, así como la del Conjunto de Datos Vectoriales Edafológico utilizadas, ya mencionadas en la metodología, la mayor cobertura la ocupa la urbanización. El suelo **urbano** impermeable ocupa cerca del **53.8%** de la cobertura total, sumando a este espacio el **6.1%** que ocupa el **parque urbano**, parque Tangamanga II, sumando así 59.9%, es decir, 18.29km² de superficie. Siguiendo de este el uso de **suelo agrícola de riego**, con 24.08% de clasificación de suelo durisol y un 2% de cambisol, teniendo un total de suelo agrícola de riego de **26.08%**, es decir, 7.96km².

Otro uso de suelo de gran cobertura es el **agrícola de temporal**, con 7.55% de clasificación de suelo cambisol y 5.74% de durisol, dando un total de **13.29%**, cubriendo 4.06km² del total de la superficie de la subcuenca.

Finalmente, tenemos una cobertura de pastizal natural en un tipo de suelo leptosol que cubren el 0.75% de la subcuenca o 0.23km².

3.3.2 Factores Climáticos: Balance Hidrológico

Se generó el Cuadro 8 a partir de las pruebas de independencia y homogeneidad. Este cuadro incluye las cinco estaciones preseleccionadas para el estudio.

Cuadro 8

Características de las estaciones utilizadas para el balance hidrológico

Estación	Prueba de independencia	Prueba de homogeneidad	Precipitación media anual (mm/año)
SLP OBS (24070)	Independiente	Homogénea	385.950
Col. Benito Juárez (24153)		No homogénea	347.779
Soledad de G.S. (24081)		Homogénea	334.830
SLP DGE (24069)		Homogénea	400.508
El Peaje (24024)		No homogénea	432.233

Nota. Es importante destacar que, debido a la posible pérdida de homogeneidad por factores externos (como cambios físicos), se otorgó mayor peso a la prueba de independencia.

Los resultados del cálculo de precipitación, temperatura, coeficiente de escurrimiento y evapotranspiración se presentan en el siguiente cuadro.

Cuadro 9

Elementos climatológicos y edáficos para el balance general de agua en la subcuenca A

Elemento	Valor	Método
Precipitación media anual	365.89mm/año	Isoyetas
Temperatura media anual	17.79°C	Isoyetas
Coeficiente de escurrimiento	0.8863	Número N de la curva de escurrimiento
Evapotranspiración real	361.03mm/año	<i>Turc</i>

Del balance general de la cuenca se generó el cuadro 10.

Cuadro 10

Balance general de la subcuenca A

Periodo	PMA (mm)	ETr (mm)	Ce	E (mm)	ETr D* (mm)	I (mm)
1994-2017	365.89	361.0288	.8863	324.27	36.75	4.86
Volumen	11.178hm³	11.029hm ³		9.907hm ³	1.123hm ³	0.148hm ³

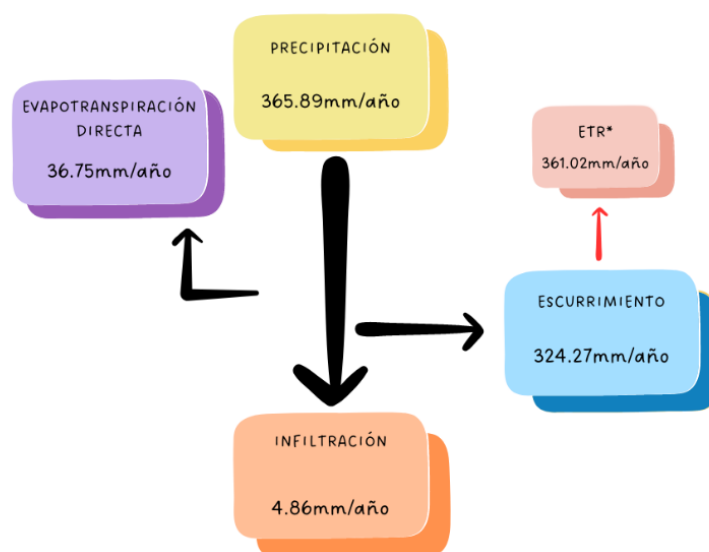
Nota. Dado que la evapotranspiración real (ETr) es mayor que el escurrimiento (E), se incluye el escurrimiento dentro del cálculo de la evapotranspiración, resultando en el cálculo de la evapotranspiración directa (ETR D*).

Deduciendo de estos resultados de acuerdo con la ecuación 3 ($P=ETr+E+I$):

$$365.89\text{mm/año}=33.76\text{mm/año}+327.26\text{mm/año}+4.85\text{mm/año}$$

Figura 8

Diagrama del balance general de la cuenca zona de estudio



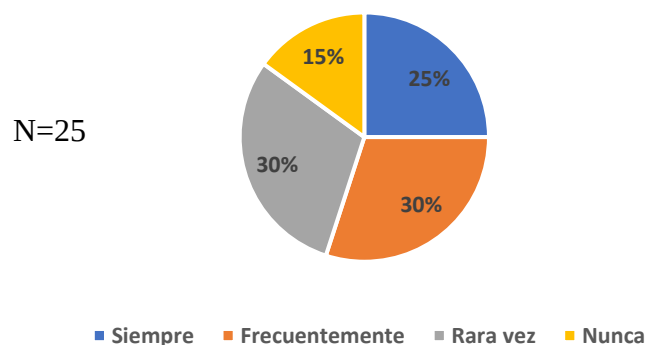
3.3.3 Marco Analítico de Gobernanza

El principal problema identificado a través de las encuestas fue que solo el **15%** de los encuestados **no experimenta problemas** de abastecimiento en ningún día de la semana, mencionando que las interrupciones, cuando ocurren, se deben siempre a labores de mantenimiento o reparación de las bombas del pozo que los abastece (figura 9a). Entre aquellos que sí presentan problemas, el 50% respondió que experimentan interrupciones en el suministro más de una vez a la semana, como se muestra en la figura 9b.

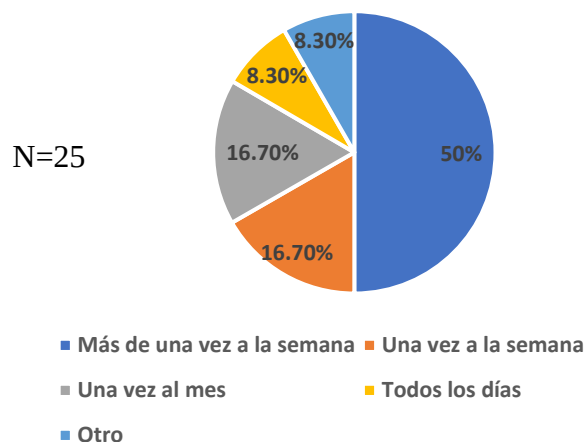
Figura 9

Problemas de abastecimiento de agua potable en los domicilios

a)



b)

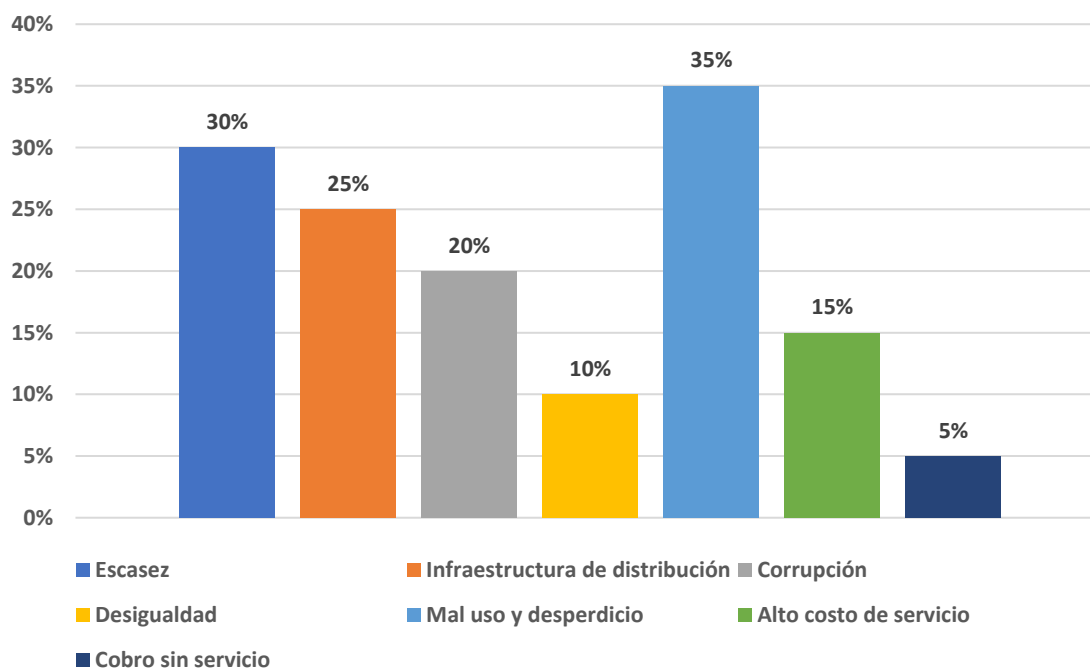


Entre los problemas más señalados por la población con respecto al agua, destaca el uso inadecuado, lo que genera un considerable desperdicio en los hogares y requiere atención. Otro problema general identificado es la escasez de agua, seguido por la infraestructura para su distribución (figura 10).

En cuanto al papel de la ciudadanía en la gestión del agua, el 30% de la población considera que su participación se limita al pago del servicio. Otro 30% cree que la ciudadanía colabora presentando quejas y sugerencias a las autoridades, mientras que un 25% opina que la población participa vigilando el cumplimiento de las normativas (figura 11).

Figura 10

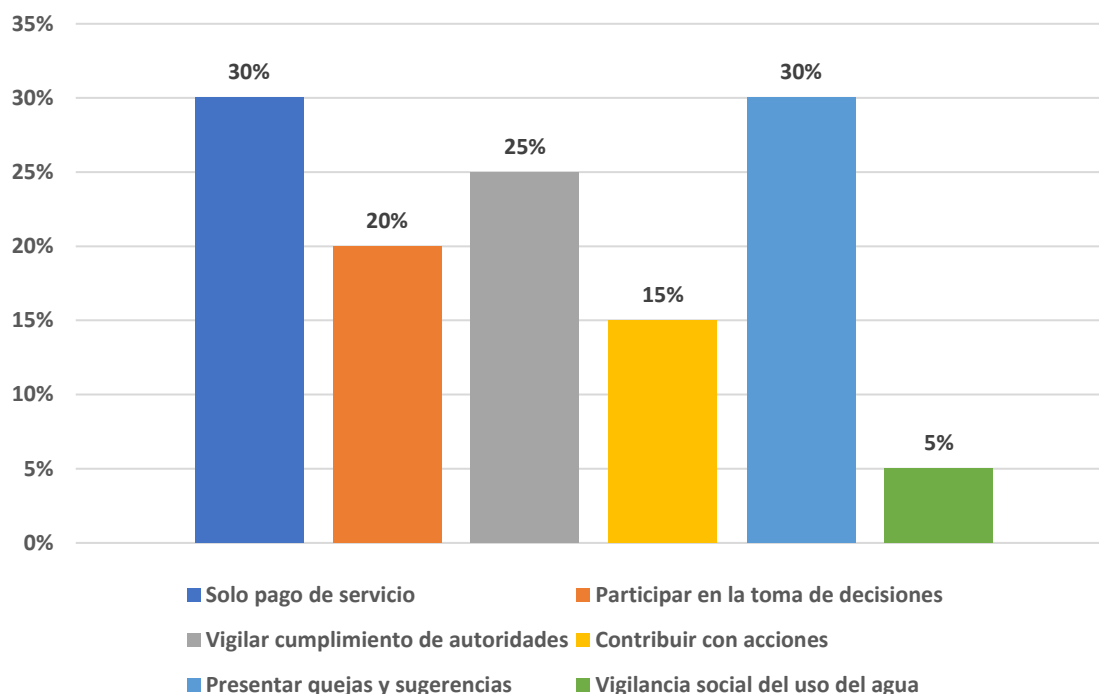
Problemática que percibe la población sobre el agua



Nota. En el caso de esta pregunta, los encuestados podían responder más de una vez, además de proponer otra problemática identificada, por esta razón, no suma el 100%.

Figura 11

Percepción del papel actual de la ciudadanía en la gestión del agua



Nota. Los encuestados podían responder más de una vez en esta pregunta y aportar opciones.

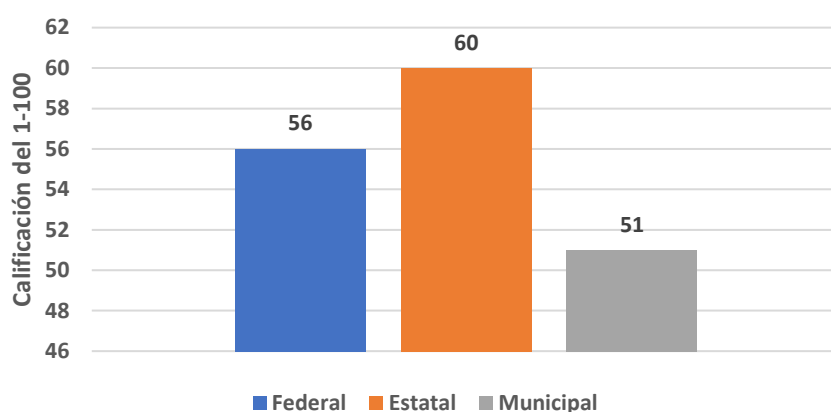
En la encuesta, se preguntó a la ciudadanía si conocían estrategias individuales o colectivas para el uso eficiente del agua, ya fueran tecnológicas o de servicio. Las respuestas más repetidas fueron:

- Reutilizar el agua, tanto la utilizada para lavar como la de la ducha, dándole un segundo uso en el inodoro, riego y limpieza de patios.
- Mejorar la cultura del agua, reduciendo su desperdicio o su uso en actividades de menor importancia.
- Implementar nueva infraestructura para reducir fugas en todo el sistema de distribución, incluido el domicilio.

La calificación otorgada a las autoridades ejecutivas en relación con las decisiones tomadas para resolver la problemática del agua se muestra en la figura 12. En ella, se observa que el gobierno estatal recibió la puntuación más alta, seguido por el gobierno federal, y finalmente las presidencias municipales.

Figura 12

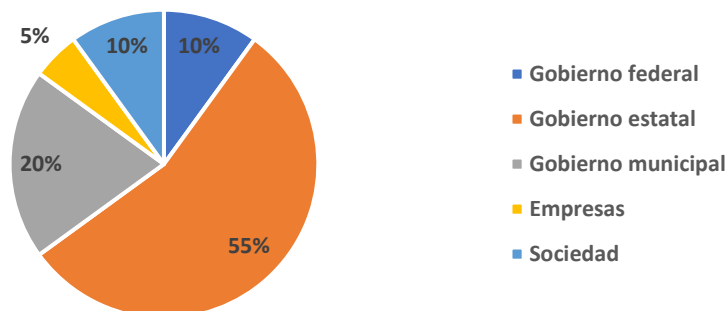
Percepción de la eficacia en la toma de decisiones para afrontar la problemática del agua



Finalmente, los encuestados opinaron sobre el poder político de los principales actores en la toma de decisiones. La mayoría considera que el gobierno estatal posee mayor poder político.

Figura 13

Percepción del poder político en la toma de decisiones del agua



Estas respuestas están relacionadas con los problemas identificados en la revisión bibliográfica. Sin embargo, existe un desconocimiento en la sociedad sobre quiénes son los responsables de diversas funciones en la problemática del agua. Por ejemplo, algunos creían que el abastecimiento dependía directamente de los ayuntamientos, mientras que otros pensaban que era responsabilidad de la Comisión Estatal del Agua (CEA). Esto refleja la necesidad de que la población tenga mayor acceso a la información para poder participar de manera efectiva en la gobernanza del agua.

Además de las encuestas, se trabajó con autoridades para complementar la percepción de algunos actores de diversas áreas. Como se mencionó anteriormente, estas reuniones tenían como objetivo modificar el reglamento de construcción del ayuntamiento de San Luis Potosí. A través de estas reuniones, se conocieron más a fondo los puntos de vista de los actores y las negociaciones en este sentido. Durante las discusiones, se destacó la importancia de integrar sistemas de cosecha de agua de lluvia en los nuevos proyectos de construcción. Las autoridades consideraron urgente y necesario obligar a su integración, mientras que los desarrolladores de proyectos inmobiliarios argumentaron la necesidad de establecer incentivos para adoptar estas herramientas. Estos incentivos no necesariamente implican beneficios económicos, sino que apuntan a reducir los tiempos en trámites burocráticos. En el caso del municipio de San Luis Potosí, por ejemplo, el proceso de autorización debe pasar por diversas instancias, incluyendo la mesa colegial para fraccionamientos, lo que puede retrasar el inicio de un proyecto por varios meses.

Además, durante las discusiones se planteó la necesidad de incorporar otras estrategias, como el racionamiento y diversas técnicas de captación de agua de lluvia (SCALL) y ecotecnias. Este enfoque ampliado permitió que todos los actores consultados coincidieran en la importancia

de diversificar las fuentes de abastecimiento de agua, marcando así un primer paso hacia la modificación integral del reglamento municipal de construcción

Sin embargo, con la participación de la Dirección de Normatividad y Desarrollo Urbano, se decidió enfocar los esfuerzos en la elaboración de una norma técnica vinculante en lugar de realizar modificaciones directas al reglamento de construcción. Esta decisión busca reducir los tiempos de revisión y aprobación en el cabildo, especialmente considerando que el 2024 es un año electoral, lo que podría implicar cambios administrativos y la renovación del cabildo.

En general, los actores principales involucrados en la gestión del agua en San Luis Potosí han adoptado gradualmente una postura hacia el cuidado y aprovechamiento del agua de lluvia. Sin embargo, tanto el gobierno del estado, representado por la Comisión Estatal del Agua (CEA) como el Congreso del Estado, parecen no haber definido una posición clara sobre este recurso, a pesar de la creciente preocupación e incertidumbre. Esta falta de decisión es preocupante dada la urgencia actual en la gestión del agua. La única medida considerada hasta ahora es la construcción de más presas, una propuesta de desarrollo impulsada por el actual gobernador. Esto refleja que, a nivel estatal, el enfoque predominante sigue siendo la infraestructura gris y centralizada.

3.4 Conclusiones del Capítulo

1. El mapeo detallado y la identificación de características clave en la subcuenca A, como la sociodemográfica y la distribución espacial, proporcionan una base sólida para futuras intervenciones. Esto es especialmente relevante para investigaciones sobre la gestión integral del recurso hídrico (GIRH).

2. La limitada capacidad de infiltración resulta en un aumento del volumen de escorrentía. De los **11.178hm³** de agua que precipitan en toda la subcuenca, solo **0.148 hm³** se infiltran, poniendo en riesgo el norte de la subcuenca, donde se dirige cerca de **9.9hm³** del volumen restante.

3. A pesar de no encuestarse una muestra significativa de la población de la subcuenca, el **85%** presenta interrupción en el abastecimiento de agua. De esta, el **58.3%** presenta problemas más de una vez a la semana.

4. La mayoría de los actores políticos con los que se trabajó consideran la cosecha de agua de lluvia como una estrategia viable y necesaria, por lo que están dispuestos a impulsar medidas legales para su gestión.

Capítulo 4

Evaluación Económica de Diversas Tipologías de Cosecha de Agua de Lluvia en San Luis Potosí y su Entorno Urbano.

“El hombre sólo puede encontrar sentido a su vida, corta y arriesgada como es, dedicándose a la
sociedad.”

Albert Einstein (1949). *¿Por qué el socialismo?*

4. Evaluación Económica de Diversas Tipologías de Cosecha de Agua de Lluvia en San Luis Potosí y su Entorno Urbano

4.1 Introducción

La cosecha de agua de lluvia es la acción o proceso por el cual se colecta, conduce, almacena y se sana el agua para su posterior aprovechamiento (Secretaría del Medio Ambiente [SEDEMA] de la Ciudad de México, 2024). Este proceso representa numerosos beneficios (cuadro 11), así como también una serie de limitantes.

Cuadro 11

Beneficios integrales de la cosecha de lluvia

Beneficio	Tipo	Descripción
Ambiental	Energético	Aumenta la disponibilidad de agua, reduciendo la necesidad de transporte mediante bombeo y pipas, y proporcionando una fuente de agua con menor gasto energético.
	Emisión de gases	Al reducir el gasto energético, también se disminuye la emisión de gases de efecto invernadero.
	Extracción	La cosecha de agua reduce la extracción de los acuíferos.
	Escorrentía	Reduce los escurrimientos hacia drenajes y calles durante las lluvias, lo que disminuye la presión sobre la infraestructura hidráulica y minimiza los riesgos de inundaciones.
Económico	Retorno	La recuperación de la inversión será más rápida si se aprovechan los almacenamientos existentes, el área de captación es amplia y se implementa en una nueva edificación. El costo es casi exclusivamente de la instalación.
Sociales	Cultural	Fomenta la cultura del uso y cuidado del agua.
Salud		Puede proporcionar agua de mayor calidad que la de la red, siempre y cuando el sistema esté bien diseñado y reciba el mantenimiento adecuado.

Dentro de las desventajas más notables se encuentran que:

- La disponibilidad de agua dependerá directamente de la cantidad de lluvia.
- En muchas partes de México, la lluvia es estacional. Por lo tanto, la cosecha de agua de lluvia será una práctica limitada a este periodo y no podrá servir como fuente única.
- Además, se considera que en zonas con una precipitación menor a 400mm/año, la cosecha de lluvia no será significativa (SEDEMA, 2020).

Por esta razón, es crucial considerar aprovechar la lluvia de manera integral en zonas con condiciones climatológicas con estas desventajas, ya que, a pesar de presentar precipitaciones inferiores a los 400mm/año, no están exentas de presentar eventos de lluvia con alta intensidad. Esto impulsa la búsqueda de estrategias, como los sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL, figura 14a) cubiertas vegetales o azoteas verdes (b), pavimentos permeables (c), jardines de lluvia (d), pozos y zanjas de infiltración (e), drenajes filtrantes, cunetas vegetadas (f), entre otros.

Estos sistemas son conocidos en México, aunque tienen una mayor implementación en países europeos bajo la denominación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS). Sin embargo, para diseñar y construir los mejores sistemas para cosechar la lluvia en las diferentes tipologías existentes, es crucial considerar aspectos técnicos y económicos.

Figura 14

Ejemplos de tipologías para cosecha de agua de lluvia



Nota. a) SCALL; b) cubiertas vegetales o azoteas verdes; c) pavimentos permeables; d) jardines de lluvia; e) zanjas de infiltración; f) cunetas vegetadas.

4.1.1 Aspectos Técnicos en la Selección de Tipologías de Cosecha de Lluvia

El principal objetivo de la incorporación de sistemas de captación de agua de lluvia activos y pasivos en conjunto es detener, ralentizar, almacenar e infiltrar el agua de lluvia y pluvial. Estos aspectos deben ser considerados principalmente en el diseño de sistemas de captación a nivel del suelo (sistemas pasivos).

El primer paso es conocer ampliamente el lugar para identificar las condicionantes de la zona. Normalmente, estas condicionantes son físicas, como la topografía, geología, hidrología, pluviometría, la capacidad de la infraestructura existente y el paisajismo urbano.

La topografía nos permitirá conocer las características del drenaje natural, al centrarse en identificar las pendientes y el punto más bajo al que fluirá naturalmente el agua. Esto facilita la construcción de sistemas que dirijan el agua de acuerdo con la naturaleza de la zona. Sin embargo, no se recomienda la construcción en pendientes muy pronunciadas, ya que esto optimiza la infiltración, la fitorremediación y la filtración del agua.

La geología permitirá conocer la capacidad de infiltración del suelo, lo cual es determinante para las funciones de los sistemas. Es importante considerar la presencia de agua subterránea, ya que niveles freáticos muy altos dificultarán la infiltración. El estudio comenzará con la caracterización de los materiales geológicos para identificar su permeabilidad, lo cual determinará la idoneidad de la zona para la implementación del sistema.

La hidrología es fundamental para reproducir las características naturales. Es necesario realizar un estudio de las cuencas drenantes dentro del proyecto y de las zonas colindantes que vierten sus aguas a esta. Además, es importante caracterizar el tipo de suelo, ya que esto

proporcionará información sobre la impermeabilidad de la cuenca, caracterizada por el coeficiente de escorrentía.

La pluviometría es una herramienta que nos ayuda a conocer los escenarios espaciotemporales, tales como la intensidad, la frecuencia, la duración y el volumen de las lluvias. Para ello, es importante contar con curvas intensidad-duración-frecuencia, que permiten conocer las precipitaciones esperadas con intensidades máximas y su duración para cierto periodo de retorno. Estas curvas son fundamentales para realizar los cálculos hidráulicos.

La importancia de la infraestructura existente radica en que los sistemas de captación pueden llegar a saturarse en eventos extremos consecutivos. Por ello, es necesario conocer hacia dónde dirigir la salida de emergencia del agua y la capacidad disponible para ello. Otro aspecto importante es que estos sistemas requieren espacio superficial y subterráneo, si se favorece la infiltración existe infraestructura que puede ser dañada, como las cimentaciones de las edificaciones. En el caso de nuevos desarrollos, es más conveniente construir corredores específicos para los servicios, previendo así las posibles afectaciones y necesidades de mantenimiento adicionales.

La infraestructura de captación de agua de lluvia en suelo generalmente está diseñada para ser construida en entornos urbanos como una alternativa a los sistemas de drenaje pluvial tradicionales. Esto favorece la creación de entornos biodiversos y la formación de ecosistemas urbanos. Al considerar su construcción en espacios verdes ya existentes, es importante tener en cuenta la vegetación y los hábitats establecidos, para alterar lo menos posible el ecosistema. Además, se debe establecer vegetación nativa, ya que esta tendrá mayor resistencia a las condiciones climáticas. Es importante tener en cuenta que la vegetación puede estar sometida a encharcamientos temporales (de la Fuente et al., 2021).

4.2 Metodología

Se propusieron dos análisis económicos para evaluar diversas tipologías de cosecha de lluvia. El primero busca determinar el costo por m³ de agua cosechada en SCALL. El segundo análisis se enfoca en realizar un análisis coste-beneficio de otras tipologías de cosecha de agua de lluvia, conocidas con bajo el enfoque de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS). Estas tipologías fueron contempladas para su instalación en viviendas, escuelas, comercios, industrias y espacios públicos (suelo).

La selección de cada una se basó en cumplir con el objetivo de gestión del agua de lluvia, que consiste en retener, ralentizar, almacenar e infiltrar (Ministerio para la Transición Ecológica, 2019). Las tipologías que se contemplaron se presentan en el cuadro 12 y figura 15.

Cuadro 12

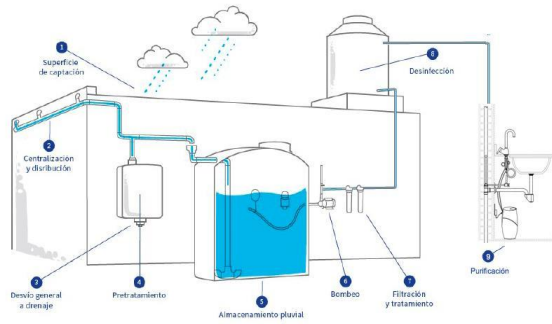
Tipologías seleccionadas para la cosecha de lluvia

Espacio de construcción	Tipología de cosecha	Objetivo de gestión
Azotea (vivienda, escuela, comercio, industria).	• Sistema de captación de agua de lluvia (SCALL) (a).	• Almacenar
Suelo (espacio público).	• Embalse impermeable (b). • Zanja de infiltración (c). • Jardín de lluvia (d). • Pozo de infiltración (e).	• Retener-almacenar • Infiltrar • Retener-ralentizar • Infiltrar

Figura 15

Tipologías de sistemas para la cosecha de lluvia

a)



b)



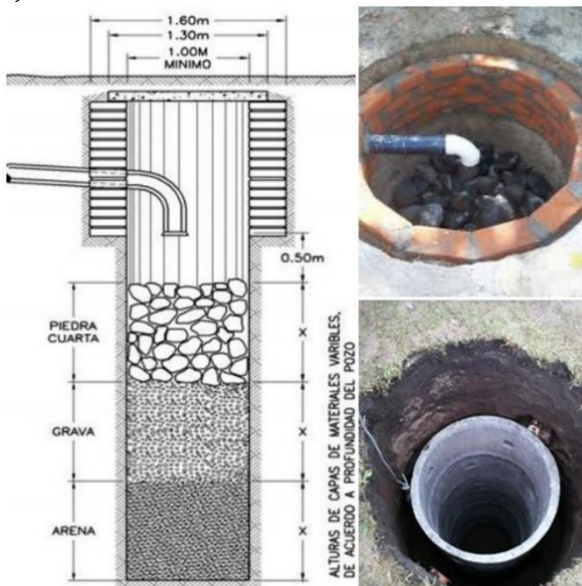
c)



d)



e)



4.2.1 Cosecha de Agua de Lluvia en Edificaciones: Sistema de Captación de Agua de Lluvia (SCALL)

Se analizó el volumen de captación de agua de lluvia por edificación, así como el costo del agua para uso doméstico y consumo humano.

Se propuso usar la metodología “Cálculo del volumen del tanque de almacenamiento” (Organización Panamericana de la Salud [OPS], 2004; Instituto Mexicano de Tecnología del Agua [IMTA], 2022; CONAGUA, 2023) mediante un análisis comparativo, debido a que este método recomienda utilizar datos de precipitación de al menos los últimos 10 años (OPS, 2004). Además, se utilizó la herramienta “sistema de captación de agua de lluvia a nivel vivienda” de CONAGUA.

Este análisis comparativo utilizó la precipitación mensual calculada mediante isoyetas (balance hidrológico), así como la precipitación promedio mensual registrada por la Estación Sinóptica Meteorológica (ESIME) San Luis Potosí, durante los años 2012-2020 y 2022. Las variables propuestas se muestran en el cuadro 13.

Cuadro 13

Variables propuestas por tipo de edificación en la subcuenca A

Edificación	Superficie de captación	Dotación por proyecto	Usuarios
Vivienda:			
• Económica	40m ²	150 l/hab/día	3
• Popular	50m ²		
• Tradicional	71m ²		
Escuela	2, 020m ²	20 l/alumno/turno	600
Comercio	6, 350m ²	5 l/m ² /día	-
Industria	7, 770m ²	75 l/trabajador	200

Nota. Los usuarios de las viviendas son el promedio de habitantes en la cuenca (INEGI, 2020d). Las dimensiones de los tipos de vivienda están consideradas conforme al promedio de superficie por tipología (Comisión Nacional de Vivienda [CONAVI], 2017). La dotación por tipo de proyecto se ajusta a los reglamentos de construcción del municipio de San Luis Potosí y Soledad de Graciano Sánchez.

4.2.1.1 Método: Cálculo de Volumen del Tanque de Almacenamiento. Para esta metodología es necesario calcular primero la dotación mensual. Para ello se utilizó la siguiente ecuación (4).

$$Vd_{mn} = \frac{C_a * D_{mn} * O_v}{1000} \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde:

Vd_{mn} : volumen de demanda de agua en el mes n (m³).

C_a : consumo de agua (l/hab/día).

D_{mn} : días del mes n.

O_v : ocupantes de la vivienda.

Posteriormente, se calculó el volumen de agua cosechada por mes, considerando coeficientes de escurrimiento diferentes según el tipo de uso:

- Para la industria y el comercio, se utilizó un coeficiente de escurrimiento (C_e) de 0.95.
- Para los demás usos, se aplicó un coeficiente de escurrimiento de 0.9, conforme a la Norma Mexicana de Edificación Sustentable – Criterios y Requerimientos Ambientales Mínimos (NMX-AA-164-SCFI-2013, 2023).

Para ello se utilizó la ecuación 5:

$$Vc_{mn} = \frac{P_{mn} * A * Ce}{1000} \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde:

Vc_{mn} : volumen de captación en el mes n (m^3).

P_{mn} : precipitación en el mes n (mm).

A : área de superficie de captación (azotea de edificación) (m^2).

Ce : coeficiente de escurrimiento (de acuerdo con el material de azotea).

Finalmente se calculó el volumen de almacenamiento requerido por mes, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$Va_{mn} = Vc_{mn} - Vd_{mn} \quad (\text{Ec. 6})$$

Donde:

Va_{mn} : volumen del tanque de almacenamiento para el mes n (m^3).

En este caso, el volumen de almacenamiento será el volumen máximo de los 12 meses.

4.2.1.2 Análisis de Costos. Para evaluar el costo económico de la captación de agua de lluvia, se empleó una metodología basada en los costos totales y el volumen captado (López-Hernández et al., 2017), en la cual se consideró además la vida útil del sistema de captación. Para comparar estos costos, se tomó en cuenta el costo de extracción de agua de los pozos y el costo del servicio por m^3 .

Para ello, se realizó una revisión de los costos disponibles de los SCALL en México, así como de los sistemas de almacenamiento necesarios para cubrir los volúmenes requeridos según la dotación prevista. Con esta información, se utilizaron las siguientes expresiones:

$$C_{anual} = \frac{\text{Costo total del sistema}}{\text{años de vida útil}} \quad (\text{Ec. 7})$$

$$$/m^3 = \frac{\text{Costo anual } (C_{anual})}{\text{Volumen anual } (m^3)} \quad (\text{Ec. 8})$$

4.2.2 Cosecha de Agua de Lluvia en Suelo: Embalse Impermeable, Zanja de Infiltración,

Jardín de Lluvia y Pozo de Infiltración

Este apartado del capítulo se realizó como parte de una estancia de investigación dirigida por el investigador Sergio Zubelzu Mínguez en el Centro de Estudios e Investigación para la Gestión de Riesgos Agrarios y Medioambientales (CEIGRAM), de la Universidad Politécnica de Madrid, en Madrid, España. De acuerdo con el marco legal y la literatura europea sobre esta herramienta, el enfoque de la cosecha de agua de lluvia y las tipologías se clasifican como Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS). Por lo tanto, para los resultados respectivos se utilizará dicho término, asumiendo que nos referimos a la cosecha de agua de lluvia con otras tipologías.

Esta investigación se lleva a cabo con el propósito de realizar un análisis coste-beneficio de diversos SUDS, comparando las ciudades de Madrid, España; San Luis Potosí, México; y Florencia, Italia. Sin embargo, en esta tesis se presentarán únicamente la metodología y los resultados correspondientes a la ciudad de San Luis Potosí, México.

Las principales variables consideradas para el diseño fueron el volumen de agua de lluvia a retener y utilizar, así como el destino del agua almacenada.

La primera ha sido abordada de manera tradicional al asegurar que la capacidad de retención y almacenamiento de las lluvias no supere un límite definido. Por otro lado, la segunda se ha tratado desde una perspectiva técnica con un enfoque socioeconómico. Para ello, se supuso

que ambas dimensiones están interrelacionadas y deben ser evaluadas de manera integral al examinar el papel y el funcionamiento de los SUDS.

4.2.2.1 Selección de los Tipologías. Como ya se mencionó, suponiendo que los SUDS tienen por objeto retener-ralentizar-almacenar-infiltrar la escorrentía, se seleccionaron las tipologías (cuadro 14) con sus respectivas consideraciones.

Cuadro 14

Función específica de las tipologías SUDS en suelo para su análisis

Tipo de SUDS	Función específica
Embalse impermeable	Retener y almacenar completamente las precipitaciones que caen directamente, así como la escorrentía procedente de la cuenca de captación aguas arriba.
Zanja de infiltración	Retener, almacenar e infiltrar el agua en una infraestructura longitudinal (desarrollo superficial 1-D).
Jardín de lluvia	Retener, almacenar e infiltrar el agua almacenada en una infraestructura desarrollada espacialmente (desarrollo superficial 2-D).
Pozo de infiltración	Retener, almacenar e infiltrar el agua almacenada en una infraestructura desarrollada en profundidad (1-D).

4.2.2.2 Modelamiento Hidrológico: Estimación de Tormentas. De la Estación Sinóptica Meteorológica (ESIME) San Luis Potosí se recogieron los registros de precipitación y se extrajeron los eventos de tormenta. Los tiempos de los registros se analizaron a intervalos de 10, 15 minutos y de 1 hora. De esta manera, se puede estimar el funcionamiento real.

En el cuadro 15 se muestran los principales momentos estadísticos obtenidos de la estación, la cual tiene datos de registros de cada 10 minutos.

Cuadro 15

Estadística de las tormentas registradas ESIME San Luis Potosí

	Concepto	San Luis Potosí
Duración (h)	Máxima	11.5
	Media	0.87
	SD	0.5
	Skw	4.72
	K	31.78
Profundidad (mm)	Máxima	55
	Media	1.41
	SD	4.02
	Skw	6.36
	K	52.43
Máxima intensidad (mm/h)	Máxima	104
	Media	2.29
	SD	5.51
	Skw	8.01
	K	95.26
Intensidad media (mm/h)	Máxima	36.67
	Media	0.99
	SD	1.85
	Skw	7.9
	K	100.56

Para predecir la ocurrencia y las características de las escorrentías de las tormentas, se empleó el modelo *Green-Ampt* según *Chow et al. (1988)*. Además, se comparó la intensidad de lluvia estimada con la tasa de infiltración potencial de *Green-Ampt*, como se muestra en la ecuación 9.

$$f(t) \cong k_s \left(1 + \frac{\tau_f \cdot \Delta\theta}{F(t)}\right) \quad [9]$$

Donde

$f(t)$: tasa de infiltración

Se supuso que no se produce escorrentía si la intensidad es menor $i(t) < f(t)$. Para eventos de este tipo, la precipitación se infiltra completamente $F(t) = P(t)$ siendo $F(t)$ y $P(t)$ los valores agregados de infiltración y precipitación, respectivamente.

Para el caso contrario, si la intensidad es mayor $i(t) > f(t)$, $F(t)$ se calcula con la ecuación y el volumen de escorrentía viene dado por $VR(t) = F(t) - P(t)$.

$$F(t) = k_s \cdot t + \tau_f \cdot \Delta\theta \cdot \ln\left(1 + \frac{\Delta\theta}{\tau_f \cdot \Delta\theta}\right) \quad [10]$$

Donde

K_s : conductividad hidráulica saturada

$\Delta\theta$: diferencia entre el contenido de agua en el suelo saturado e inicial

□_f: cabeza de succión del frente de humectación estimada, de acuerdo con Neuman (1976), tal como se muestra en la ecuación 11, con ayuda de los modelos de *Van Genutchen* (1980) y *Mualem* (1976) para la conductividad del suelo y las curvas de retención de agua (ecuaciones 12 y 13)

$$\tau_f = \frac{1}{K_s} \int_{h(\theta_i)}^{h(\theta_s)} K(\theta) dh(\theta) \quad [11]$$

$$\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \theta^* = [1 + (\alpha h(\theta))^n]^{-m} \quad [12]$$

$$k(\theta) = k_s \theta^{*0.5} \left[1 + \left(1 - \theta^{*\frac{1}{m}} \right)^m \right]^2 \quad [13]$$

Donde

θ_s : niveles de humedad saturada

θ_r : niveles de humedad residual del suelo

θ^* : humedad normalizada del suelo

m , n y α : parámetros dependientes del tipo de suelo.

Al ejecutar el modelo de *Green-Ampt*, se estimó la cantidad de agua infiltrada y almacenada. Cuando el volumen de agua almacenada supera la capacidad de almacenamiento, el exceso de esorrentía se vierte directamente al sistema de alcantarillado.

Los volúmenes de almacenamiento modelados para las cuatro tipologías fueron de 5, 15 y 40 m³, para condiciones permeables como impermeables.

4.2.2.3 Análisis coste-beneficio. Los beneficios potenciales en términos de ahorro de agua de riego y reducción de la escorrentía no tratada en la PTAR se muestran en el cuadro 16. Los costos de construcción y mantenimiento por cada SUDS se presentan en el cuadro 17.

Cuadro 16

Beneficios potenciales de la implementación de SUDS

Concepto	(\$/m ³)
Agua de riego (potable)	54.89
Tratamiento de aguas residuales	2.41

Nota. El costo deriva del informe anual 2022 del INTERAPAS (INTERAPAS, 2022)

Cuadro 17

Costos de construcción y mantenimiento de cada SUDS

Concepto	Costo
Excavación (zanja) (\$/m ³)	53.59
Excavación (pozo) (\$/m ³)	913.75
Impermeabilización (\$/m ³)	289.75
Laboreo superficial (\$/m ²)	8.93
Grava (\$/m ³)	392.85
Mantenimiento anual (\$/año·m ²)	49.50

Nota. La información fue obtenida de fuentes oficiales sobre obras, materiales y el salario mínimo para el mantenimiento, actualizados hasta el 28 de septiembre de 2023 (CONAGUA, 2023b, 2023c; Procuraduría Federal del Consumidor, 2021; Secretaría de Trabajo y Previsión Social, 2023).

En cuanto a los costos de los SUDS, se incluyen los requerimientos para su construcción y mantenimiento. Por otro lado, los beneficios potenciales se derivan de la reducción en el uso de agua para riego y de la disminución de la escorrentía que llega a las PTAR. Para el análisis de los costos-beneficio se utilizó el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Rentabilidad (TIR) y el periodo de recuperación (PP).

4.3 Resultados y Discusión

4.3.1 Cosecha de Lluvia en Edificaciones

El cuadro 18 muestra los resultados correspondientes a la cobertura de agua con SCALL utilizando el método cálculo de volumen del tanque de almacenamiento. La dotación anual corresponde a la solicitada por los reglamentos de ambos municipios (SLP y SGS).

Cuadro 18

Cobertura de demanda de agua con SCALL (Isoyetas-ESIME S.L.P.-CONAGUA)

Edificación	Superficie de captación (m ²)	Captación anual (m ³ /año)	Dotación anual (m ³ /año)	Cobertura
Vivienda:				
• Económica	40	12.87	164.25	7.8%
• Popular	50	16.07		9.8%
• Tradicional	71	22.85		13.9%
Escuela secundaria	2, 020	649.74	4, 380	14.8%
Local comercial	6, 350	2, 156.05	11, 588.75	18.6%
Industria	7, 770	2, 638.19	5, 475	48.2%

El siguiente cuadro muestran la dotación posible de cubrir en cada edificación. A esta se le asignó el término de “dotación diaria equivalente”, dejando en claro que no forzosamente tiene que ser una dotación constante del SCALL, si no que, aprovechado de manera inmediata, la cobertura sigue siendo la misma, facilitando la incorporación de un sistema de almacenamiento a las condiciones de la edificación.

Cuadro 19*Dotación diaria equivalente por tipo de edificación (Isoyetas-ESIME S.L.P.-CONAGUA)*

Edificación	Cobertura	Dotación diaria equivalente
Vivienda:		
Económica	7.8%	11.74 l/día/persona
Popular	9.8%	14.66 l/día/persona
Tradicional	13.9%	20.86 l/día/persona
Escuela secundaria	14.8%	2.96 l/alumno/día
Local comercial	18.6%	0.93 l/m ² /día
Industria	48.2%	36.13 l/trabajador

Estos resultados se compararon con la plataforma de la fundación *SamSamsWater*, arrojando resultados similares. Sin embargo, se observó que esta plataforma tiende a sobreestimar el volumen del almacenamiento, sugiriendo una demanda constante (cuadro 20).

Cuadro 20*Comparación entre características de cosecha de lluvia mediante SCALL*

Edificación	Volumen (m³/año)		Dotación (L)		% de cobertura		Contenedor de almacenamiento necesario (m³)	
	CVTA	SSW	CVTA	SSW	CVTA	SSW	CVTA	SSW
V. Económica	12.9	14.5	11.74	13.33	7.8	9	0.45	4.8
V. Popular	16.1	18.1	14.66	16.66	9.8	11	0.45	6.0
V. Tradicional	22.2	25.7	20.86	23.33	13.9	16	0.6	8.6
Escuela	649.74	360.0	2.96	2.6	14.8	13	12.5	189.8
Comercio	2, 156	2, 314	0.93	1	18.6	20	15	772.6
Industria	2, 638	2, 834.8	36.13	38.83	48.2	50	40	946.4

Nota. Cálculo de volumen del tanque de almacenamiento (CVTA) y *SamSamWater* (SSW). Dotación en CVTA es el equivalente diario, es decir, lo que representa por día. Para SSW, dotación se refiere a utilizar esa misma cantidad todos los días.

Como se observa en el cuadro 20, la diferencia más notable se encuentra en los tanques de almacenamiento. En el caso del método CVTA, no se asume que la demanda de agua sea constante todos los días, ya que resultaría en un aumento en el almacenamiento, como SSW. En cambio, el CVTA considera que, durante los días lluviosos, el agua cosechada debería ser utilizada, lo que resulta en un aprovechamiento del mismo volumen de agua, distribuido de manera diferente.

López-Hernández et al. (2017) llevaron a cabo un estudio para diseñar un sistema de captación de agua de lluvia como alternativa al uso de agua subterránea. Este diseño se basó en un balance de masas, evaluando el suministro para un hogar de 4 personas para uso doméstico y consumo humano, una escuela con 1,000 personas para uso doméstico y riego agrícola. Los costos del agua para el hogar, la escuela y el riego fueron de **\$42.10**, **\$40.30** y **\$26.00** por m³, respectivamente. Aunque el área de captación en la escuela es mayor, lo que resulta en un volumen de captación/almacenamiento casi el doble que en el hogar (**300m²** y **146m³/año**; **136m²** y **74m³/año**), no hay una gran diferencia en el costo del agua.

A diferencia con el enfoque de López-Hernández et al. (2017), Avelar et al. (2019) incorporaron un filtro para garantizar la calidad del agua destinada al consumo humano. En su estudio, utilizaron un filtro de la marca *British Berkeled®*. Esta medida proporciona una mayor seguridad contra enfermedades gastrointestinales, al reducir la presencia de posibles contaminantes que podrían encontrarse en las azoteas (Agatón et al., 2016).

Para el análisis económico, se tomó en cuenta el volumen de almacenamiento respecto a la máxima dotación posible.

Cuadro 21

Costo de producción de agua cosechada con SCALL

Edificación	Costo del sistema		Costo de m ³		$\tilde{x}$	S
	Isoyetas	ESIME	Isoyetas	ESIME		
V. Económica	\$13,529.7	\$13,529.7	\$33.1	\$39.6	\$36.4	4.61
V. Popular	\$13,529.7	\$13,529.7	\$26.5	\$31.7	\$29.1	3.69
V. Tradicional	\$14,222.2	\$14,222.2	\$19.6	\$23.5	\$21.5	2.73
Escuela	\$98,502.9	\$75,990.9	\$4.8	\$4.4	\$4.6	0.26
Comercio	\$126,025.1	\$88,069.4	\$1.8	\$1.5	\$1.7	0.21
Industria	\$130,828.8	\$129,326.7	\$1.6	\$1.8	\$1.7	0.20

Cuadro 22

Diferencias de costo entre agua cosechada con SCALL y agua del sistema convencional

Edificación	Costo de producción (m ³)		Costo de tarifa (m ³)	
	SCALL	Convencional	SCALL	Convencional
V. Económica	\$36.4		\$36.4	
V. Popular	\$29.1		\$29.1	\$11.66
V. Tradicional	\$21.5		\$21.5	
Escuela	\$4.6	\$9.56	\$4.6	-
Comercio	\$1.7		\$1.7	\$63.6
Industria	\$1.7		\$1.7	\$58.3

Nota. Para el caso de producción, se estima el costo promedio por m³ (INTERAPAS, 2023c), la tarifa, el promedio del precio que pagan los usuarios por m³ (INTERAPAS, 2023d) y la industria el costo conforme al Decreto 0607- Ley de Cuotas y Tarifas Para La Prestación de Servicios

Públicos Del Organismo Operador Intermunicipal Metropolitano de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento y Servicios Conexos de Los Municipios de Cerro de San Pedro, San Luis Potosí y Soledad de Graciano Sánchez, S.L.P. (2022).

Cuadro 23

Diferencias de costo entre agua cosechada y agua de garrafón para consumo humano

Vivienda	Costo de producción (\$/m ³)	
	SCALL con purificador	Garrafón
Económica	216.40	
Popular	209.10	600
Tradicional	201.50	

Nota. El costo por metro cúbico de agua filtrada es de \$180.00, al que se sumó el costo total por SCALL. Para el precio de garrafón se tomó el promedio del costo de las purificadoras de agua.

Los resultados obtenidos en este estudio difieren de los previamente mencionados, ya que se observaron mayores diferencias en los costos del agua entre las distintas edificaciones analizadas. Aunque no se logre cubrir completamente la demanda total, se encontró que, como fuente alterna, el agua de lluvia resulta más económica en áreas de captación más extensas, a pesar de requerir sistemas de almacenamiento de mayor capacidad. Además, en el caso de la Zona Metropolitana de San Luis Potosí (ZMSLP), debido a las condiciones de calidad del aire, no se consideró seguro el uso del agua captada para consumo humano. Por lo tanto, fue necesario incorporar un filtro. Aunque esto incrementó considerablemente el costo por metro cúbico, resultó más económico destinar el agua captada para consumo humano.

4.3.2 Cosecha de Lluvia con SUDS (Suelo)

Dado que el enfoque principal de la cosecha de agua de lluvia en suelo (también llamados SUDS) es retener, ralentizar, almacenar e infiltrar el agua de lluvia para reducir el riesgo de inundaciones en áreas urbanas, es crucial realizar un análisis detallado de las condiciones climáticas reales. Hasta donde se sabe, este análisis no se ha explorado con profundidad. Por lo tanto, el diseño de un SUDS debe basarse en un modelado hidrológico que refleje con precisión estas condiciones climáticas.

En San Luis Potosí, se han registrado eventos de lluvia que han ocasionado desde ligeras afectaciones, como cierres de vialidades con precipitaciones acumuladas de **11.5** mm, hasta problemas más graves, como inundaciones en pasos a desnivel en la avenida Salvador Nava (puente PEMEX, parque Tangamanga 1, entre otros puntos de la avenida), derivadas de precipitaciones de hasta **51.6** mm, ambos casos durante un período de **24** horas. Es importante destacar que, en este último caso, la precipitación no se produjo en el valle de San Luis Potosí, sino en la Sierra de San Miguelito. Esta situación ha llevado a la construcción de grandes drenajes para conducir las escorrentías, lo que ha representado una considerable inversión económica. Sin embargo, el enfoque en la infraestructura gris sigue demostrando ser ineficaz. Esto subraya la necesidad urgente de gestionar el agua de lluvia *in situ*, como señalan Pérez et al. (2022). Por lo tanto, se requieren alternativas para mitigar el flujo de escorrentías con carácter urgente.

Para poder conocer las condiciones reales de la lluvia a gestionar, se utilizó información registrada cada 10 minutos en la ESIME S.L.P. A esta información se le hizo un análisis estadístico, para obtener la información de las tormentas que producen escorrentía en los sistemas de cosecha en suelo ya mencionados. Esta información se muestra en el cuadro 24 y figuras 16 y 17, donde se puede observar la duración, volumen, intensidad máxima e intensidad media.

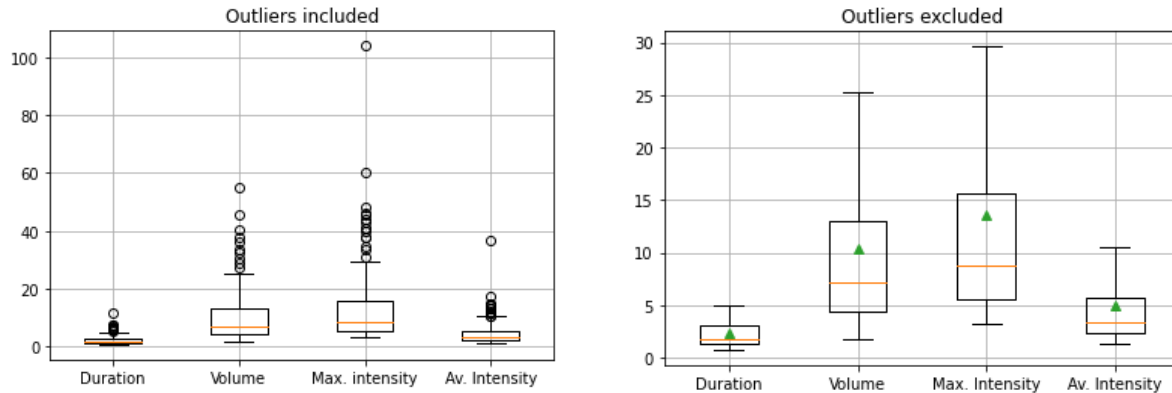
Cuadro 24*Estadística de las tormentas registradas productoras de escorrentía*

	Concepto	San Luis Potosí
Duración (h)	Máxima	11.5
	Media	2.39
	SD	1.64
	Skw	2.19
	K	6.47
Profundidad (mm)	Máxima	55.0
	Media	10.38
	SD	9.18
	Skw	2.07
	K	4.96
Máxima intensidad (mm/h)	Máxima	104
	Media	13.52
	SD	13.48
	Skw	2.93
	K	12.92
Intensidad media (mm/h)	Máxima	36.67
	Media	4.9
	SD	4.37
	Skw	3.24
	K	17.12

Según los registros de tormentas de la ESIME S.L.P., se han observado máximas intensidades de hasta **104** mm/h, con una media de **36.67** mm/h. Aunque estas precipitaciones no son constantes, representaron riesgos significativos.

Figura 16

Diagramas de cajas de las tormentas productoras de escorrentía en San Luis Potosí

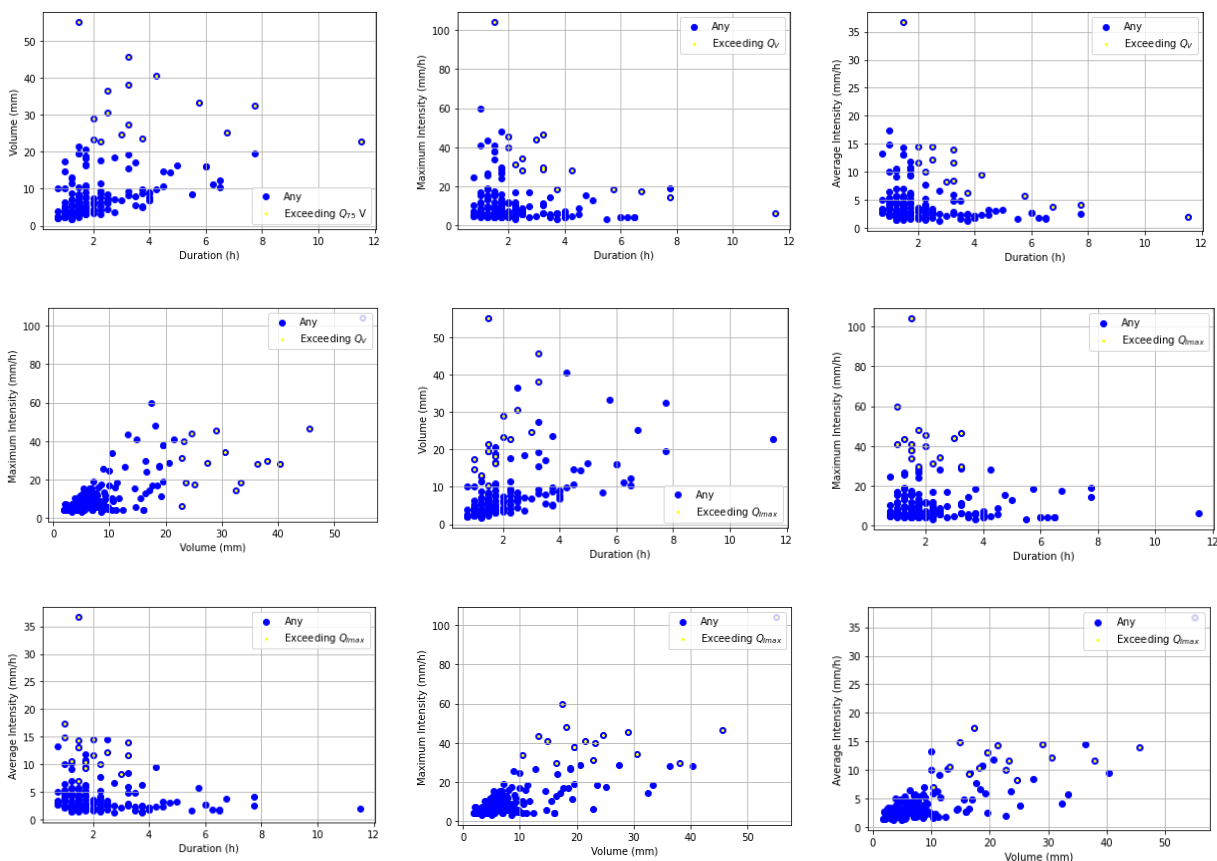


Como se puede observar, existe una similitud entre el volumen de lluvia (o profundidad en mm) y la intensidad máxima (mm/h), tanto cuando se incluyen los valores atípicos (izquierda) como cuando no se incluyen (derecha). Esta similitud se refleja en los valores medios y la mediana, lo que indica un comportamiento similar en las tormentas productoras de escorrentía. Sin embargo, al analizar las medianas, se observa que las tormentas con mayor precipitación e intensidad máxima ocurren con más frecuencia que las de menor intensidad.

Esto también es evidente en los valores extremos, especialmente cuando se incluyen los valores atípicos, ya que se identifican intensidades desproporcionadas. Estas intensidades representan eventos de lluvia y escorrentía que seguro superaron la capacidad de los sistemas de drenaje pluvial en la ZMLSP, generando problemas de inundaciones. Además, en las gráficas se observa que estos eventos de lluvia duraron menos de 5 horas, con la mayoría de los registros concentrados en un rango de duración de una a dos horas. Esto es especialmente claro en los diagramas de dispersión (figura 17), que muestran la relación entre volúmenes totales (o profundidad en mm), máximas intensidades (mm/h) e intensidades promedio (mm/h).

Figura 17

Diagramas de dispersión de tormentas productoras de escorrentía en San Luis Potosí



Los gráficos de dispersión representan el volumen-duración, intensidad máxima-duración, intensidad media-duración, intensidad máxima-volumen y volumen-duración para todas las tormentas. Este análisis se obtuvo del registro de **1706** tormentas, **9.08%** productoras de escorrentía.

Además de la estadística de tormentas productoras de escorrentía, también se realizó una estimación basada en dichos parámetros para el caso de tormentas que podrían presentarse en la ZSMLP (cuadro 25).

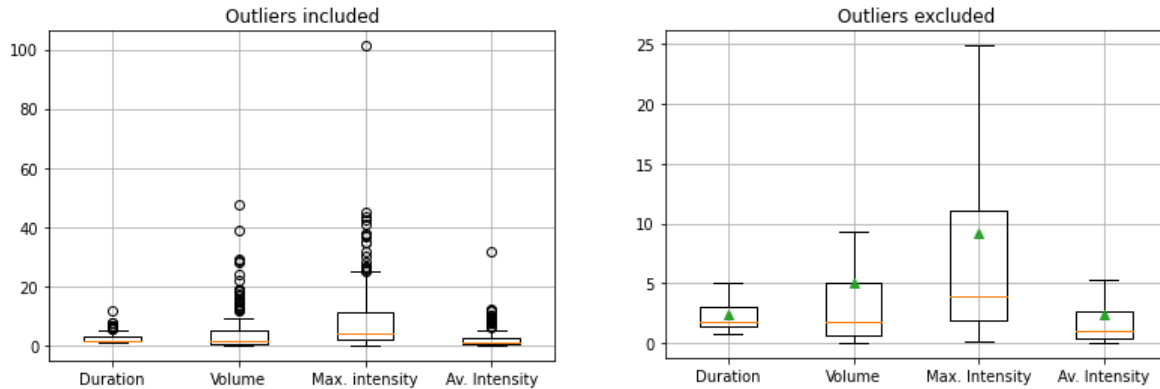
Cuadro 25*Estadística de la escorrentía estimada en San Luis Potosí*

	Concepto	San Luis Potosí
Duración (h)	Máxima	11.5
	Media	2.39
	SD	1.64
	Skw	2.19
	K	6.47
Profundidad (mm)	Máxima	47.56
	Media	5.02
	SD	7.66
	Skw	2.66
	K	8.45
Máxima intensidad (mm/h)	Máxima	101.18
	Media	9.24
	SD	12.85
	Skw	3.27
	K	16.39
Media intensidad (mm/h)	Máxima	31.7
	Media	2.42
	SD	3.77
	Skw	3.83
	K	22.67

Según estas estimaciones, se prevé que las escorrentías resulten de tormentas con intensidades máximas de hasta **101.18mm/h** y una intensidad media de **31.7mm/h**, representando potencial de riesgo por inundaciones cuando dichas tormentas se presenten. Esto representa un potencial de riesgo de inundaciones cuando tales tormentas ocurran en la ZMSLP.

Figura 18

Diagramas de cajas de las tormentas estimadas productoras de escorrentía en San Luis Potosí

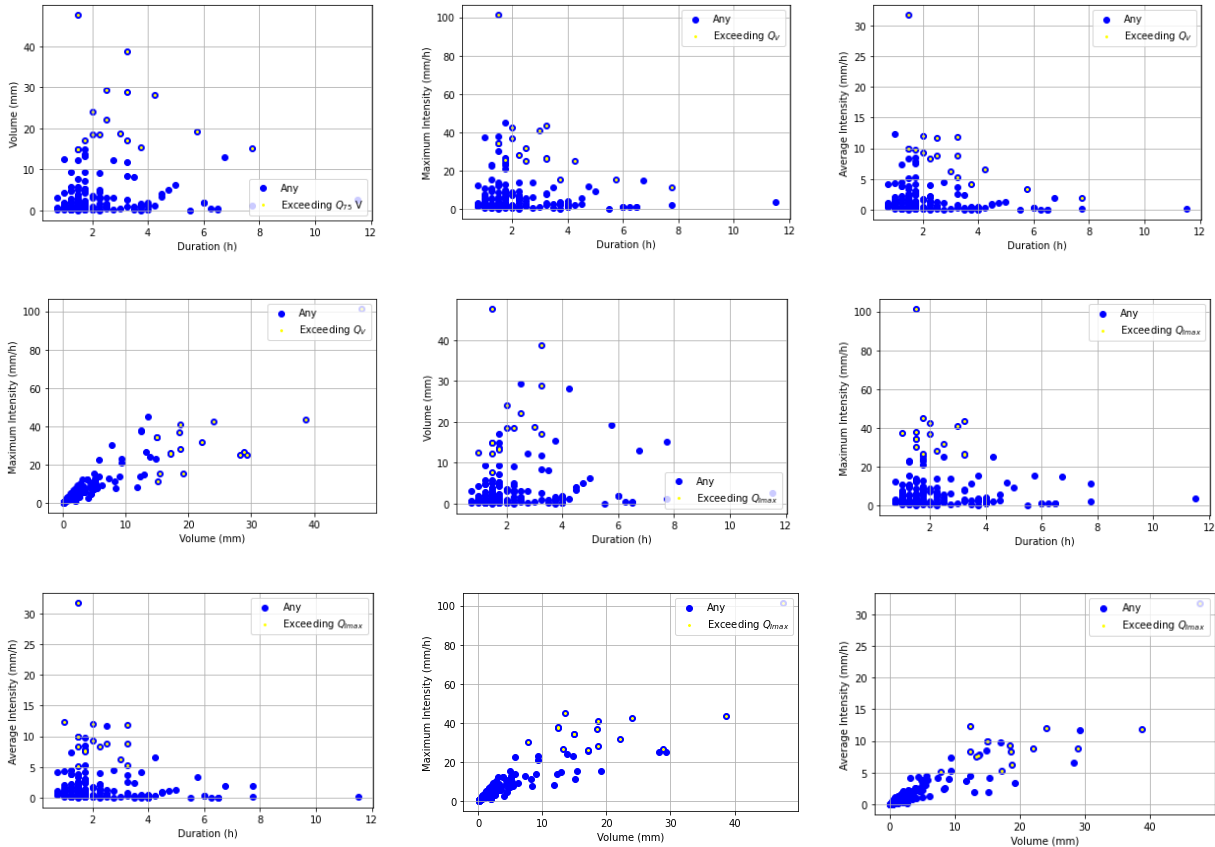


En el caso de los diagramas de cajas de las tormentas estimadas productoras de escorrentía se observa menor similitud entre el volumen de lluvia (o profundidad en mm) y la intensidad máxima (mm/h), que en el caso de las tormentas registradas. Sin embargo, a pesar de ello, los datos de las medias se encuentran cercanos entre sí tanto para el caso del gráfico que incluye valores atípicos (izquierda) como el que no incluye (derecha). Además, los valores atípicos estimados se encuentran en rangos menores que en el caso de los valores atípicos de las tormentas registradas, interpretándose así que ocurrirán eventos con potencial de riesgo por inundación de menor escala.

Sin embargo, a pesar de ello, pueden estas estimaciones en la ZMSLP aún podría representar riesgos que superen la capacidad de los sistemas de drenaje pluvial en la ZMLSP, generando problemas de inundaciones, debido a que como se observa en los registros y las estimaciones, la mayoría de las intensidades de las tormentas suceden en poco tiempo con poco volumen, siendo estos rangos con los que se planean y diseñan en la actualidad los sistemas de drenaje pluvial, pues diseñar para eventos atípicos o extremos representa grandes costos económicos. Estas afirmaciones se pueden observar en los diagramas de dispersión de las tormentas registradas y de las estimadas.

Figura 19

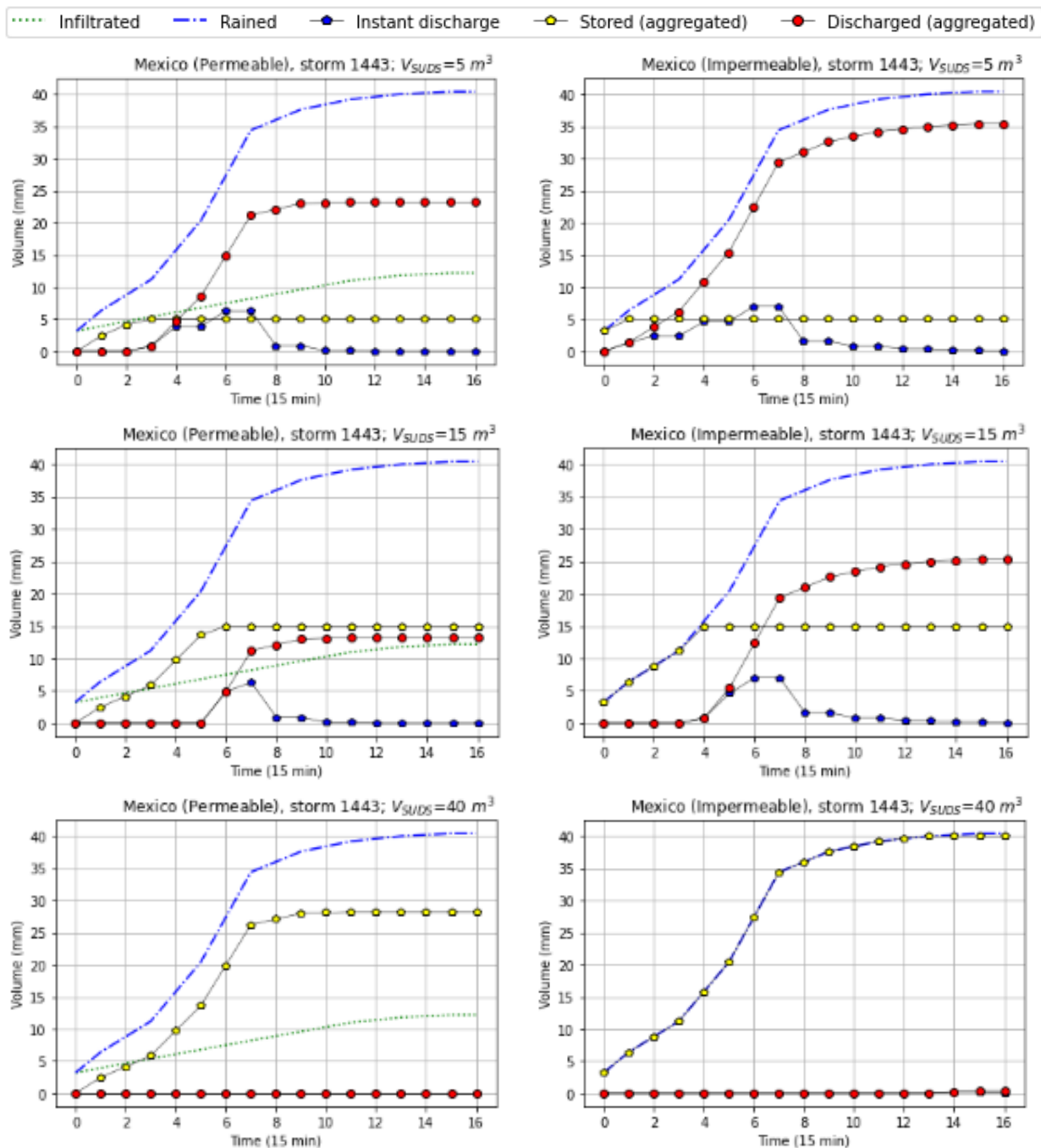
Diagramas de dispersión de tormentas estimadas productoras de escorrentía en San Luis Potosí



Después del análisis estadístico, se desarrollaron modelos hidrológicos de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) utilizando datos de tormentas reales y estimadas (figura 20). Estos modelos tienen como objetivo analizar la evolución de los SUDS bajo diferentes condiciones de precipitación. En particular, se evalúa la infiltración del agua tanto en el suelo como en el sistema, la descarga de agua hacia la escorrentía, y el almacenamiento en sistemas permeables e impermeables. Los modelos consideran capacidades de almacenamiento de 5, 15 y 40 m³, y también simulan el comportamiento de la descarga agregada.

Figura 20

Evolución de SUDS permeable e impermeable de 5m³ de almacenamiento (arriba), 15m³ de almacenamiento (centro) y 40m³ de almacenamiento (abajo)



Como se muestra en los gráficos, en el caso de los SUDS permeables, la lluvia se infiltra inicialmente, y el agua restante se almacena hasta alcanzar la capacidad máxima del sistema. Cuando esta capacidad se excede, el exceso de agua suele verterse en el sistema de alcantarillado convencional. En cambio, en los SUDS impermeables no ocurre infiltración, lo que provoca que se saturen más rápido.

Aunque es evidente que un mayor volumen de almacenamiento permite retener más agua y retrasar la saturación, o incluso evitar la descarga hacia la escorrentía, no siempre es viable diseñar sistemas con grandes capacidades. La factibilidad depende del tamaño, la cantidad de lluvia que se retiene y se aprovecha, y el nivel de mantenimiento necesario, junto con el costo que su construcción implica. Por ello, el modelo representado en la figura 20 permite analizar dimensiones óptimas en función de costos, necesidades de mantenimiento y beneficios esperados.

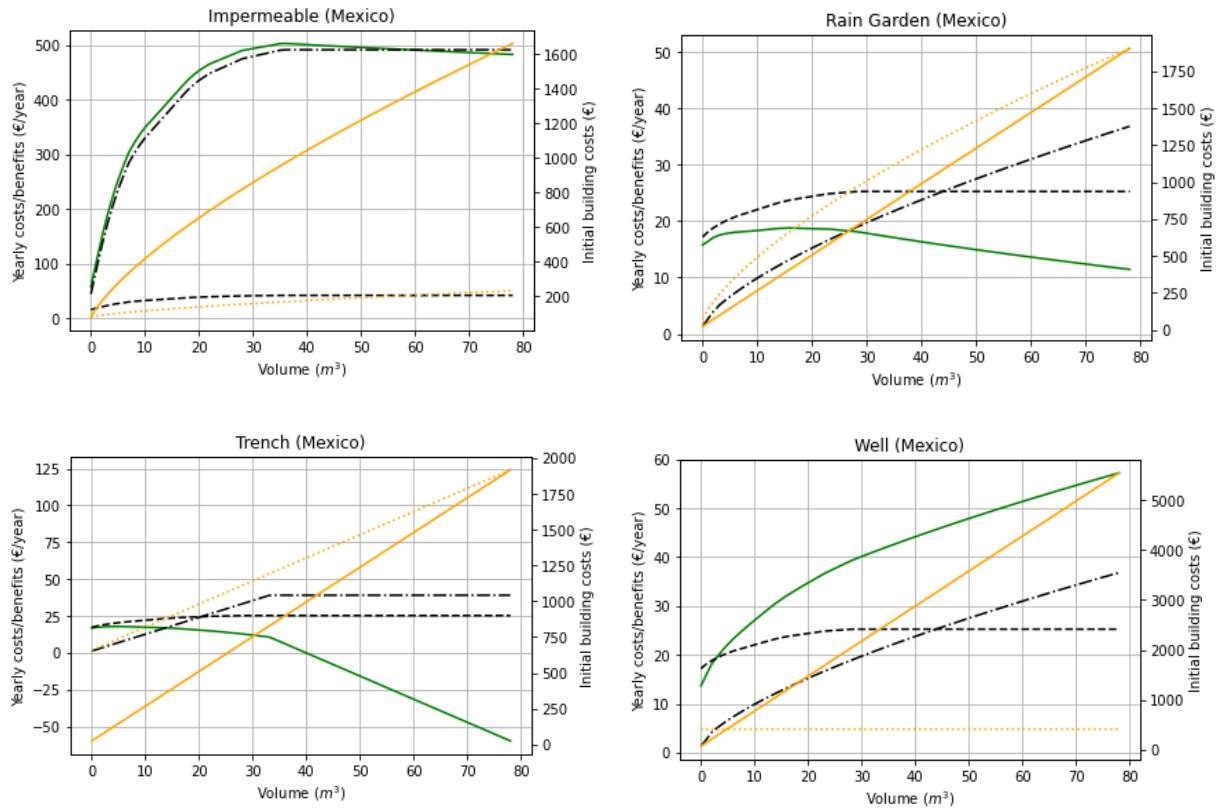
Por esta razón, finalmente el análisis se centra en identificar el diseño óptimo en términos de coste-beneficio, es decir, el volumen de almacenamiento ideal que ofrezca el mejor periodo de recuperación de inversión (periodo de amortización), como se muestra en la figura 21.

A continuación, se presenta la evolución de la relación coste-beneficio por volumen (€/año-m³). En esta figura, cada tipo de línea y color se representan de la siguiente manera:

- Costes de construcción: naranja continuo.
- Mantenimiento: naranja punteado.
- Ahorro en riego: negro punteado homogéneo.
- Ahorro de tratamiento de agua pluvial: negro guion-punteado.
- Flujo de caja: verde.

Figura 21

Evolución costo/beneficio-volumen (€/año- m^3) de las cuatro tipologías SUDS en suelo



Como se observa en el caso del embalse impermeable (esquina superior izquierda), el flujo de caja es favorable (línea verde) cuando el volumen de almacenamiento se encuentra entre 30 y 35 m^3 . Aunque el costo de construcción es significativo (línea naranja continua) y directamente proporcional al tamaño, el diseño permite un ahorro considerable en agua que no se descarga al drenaje pluvial (línea negra guion-punteado), lo cual implica también un ahorro económico en el tratamiento de aguas al reducir la cantidad de agua que llega a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Norte (PTAR-Norte). Otra ventaja importante de este diseño es que el incremento en el volumen de almacenamiento no representa un aumento significativo en los costos de mantenimiento.

En el caso del jardín de lluvia (esquina superior derecha), el flujo de caja óptimo se alcanza con un volumen de almacenamiento de hasta 5 m^3 , comenzando a disminuir a partir de los 15 m^3 . Su costo de construcción aumenta proporcionalmente al volumen de almacenamiento. La optimización de este diseño permite reducir el consumo de agua para riego en el área verde del jardín, ya que las plantas absorben gran parte del agua captada, representando el mayor potencial beneficio, además de otra parte que se ahorra por consecuencia de no ser vertida al drenaje pluvial. A diferencia del embalse impermeable, este tipo de SUDS presenta un aumento considerable en los costos de mantenimiento a medida que se incrementa el volumen de almacenamiento, llegando incluso a superar los costos de construcción.

En el caso de la zanja de infiltración (esquina inferior izquierda), el flujo de caja óptimo se alcanza con un volumen cercano a 1 m^3 , ya que a partir de esta capacidad comienza a disminuir. La optimización de este diseño permite ahorrar agua para riego. Al igual que en los jardines de lluvia, estos sistemas presentan costos de mantenimiento superiores a los de construcción, por lo que el diseño óptimo debe buscar un equilibrio entre la capacidad de almacenamiento, los costos asociados y los beneficios potenciales.

Finalmente, el pozo de infiltración (esquina inferior derecha) presenta un flujo de caja óptimo en varias capacidades de almacenamiento. Sin embargo, esto también implica un incremento en los costos de construcción en función del volumen de diseño. A pesar de ello, el pozo ofrece beneficios significativos al reducir la cantidad de agua que llega a la planta de tratamiento y al ahorrar agua que podría destinarse al riego tras su almacenamiento, aunque su objetivo principal es infiltrar el agua en el suelo. Otra ventaja de estos sistemas es que el costo de mantenimiento se mantiene estable y no aumenta con mayores capacidades de almacenamiento modeladas.

Para estimar los diseños más adecuados, se analizaron los Valores Actuales Netos (VAN) estimados, la evolución de los flujos de caja de las soluciones con el VAN máximo y los valores de la Tasa Interna de Retorno (TIR) (ver anexo 4). De este análisis se concluyó que los periodos de amortización, es decir, el tiempo necesario para recuperar la inversión total, en relación con los volúmenes óptimos de construcción de los SUDS, posicionan al embalse impermeable como el diseño más eficiente en términos financieros y de capacidad de agua. Le siguen la zanja de infiltración, el jardín de lluvia, y finalmente el pozo de infiltración (cuadro 26).

Cuadro 26

Periodo de amortización de los SUDS con VAN y TIR máximos

Tipología SUDS	San Luis Potosí	
	Volumen	Pay-Back
Embalse impermeable	36	2
Jardín de lluvia	1	2
Zanja de infiltración	1	2
Pozo de infiltración	1	7

Según Zubelzu et al. (2020), en la zona metropolitana de San Luis Potosí, las soluciones óptimas para el aprovechamiento del agua a través de SUDS deben enfocarse en detener y reutilizar la escorrentía. Además, destacan la importancia de considerar puntos clave específicos para cada caso, como las estadísticas representativas que incorporen información climática. Esto se debe a que utilizar datos climatológicos promedio en un modelo puede diferir del funcionamiento real. Asimismo, enfatizan que el uso de información sobre los costos debe garantizar una coherencia temporal. Estos dos aspectos fueron tenidos en cuenta en el análisis del costo-beneficio de los SUDS, lo que garantiza una mayor similitud con lo que ocurriría en una construcción real.

4.4 Conclusiones del Capítulo

4.4.1 Cosecha de Lluvia con SCALL

1. Debido a las condiciones climatológicas de la Zona Metropolitana de San Luis Potosí, no es posible cubrir la dotación solicitada por los reglamentos de construcción de los municipios de San Luis Potosí y Soledad de Graciano Sánchez. Sin embargo, cosechar la lluvia en las viviendas ayuda a contribuir al cumplimiento del derecho humano al agua.

- En la vivienda **económica**, la cosecha de lluvia representa el equivalente diario del **7.8%** para la dotación solicitada por el reglamento y **11.74%** por la ONU.
- En la vivienda **popular**, representa el equivalente diario del **9.8%** solicitada por el reglamento y **14.66%** por la ONU.
- Para la vivienda **tradicional**, representa el equivalente diario del **13.9%** solicitada por el reglamento y el **20.86%** por la ONU.

Exigir viviendas de mayores dimensiones contribuye al cumplimiento del derecho a una vivienda adecuada según las normas de derechos humanos. Además, contribuye a un mayor cumplimiento del **derecho humano al agua** si en ellas se cuentan con las instalaciones necesarias para la cosecha de lluvia.

2. Edificaciones con mayor superficie para la captación de lluvia logran una mayor cobertura de cosecha de lluvia frente a la dotación. Sin embargo, tampoco es posible lograr el **100%** de la dotación solicitada para las condiciones climatológicas de la ZMSLP.

3. Utilizar métodos tradicionales para calcular las dimensiones del sistema de almacenamiento del agua de lluvia en edificaciones en la ZMLSP u otra región con características

similares de precipitación, es irreal y genera una sobreestimación del volumen. La intensidad será un factor necesario en la aplicación de nuevos cálculos.

4. Para edificaciones grandes, aun sin cubrir la dotación solicitada, la cosecha de lluvia será económicamente más viable que en el caso de edificaciones pequeñas. En los comercios e industrias, debido a que las tarifas son más altas que para otras edificaciones, la cosecha de lluvia será aún más viable económicamente.

5. Para edificaciones pequeñas, como las viviendas, destinar el agua cosechada al consumo humano y la preparación de alimentos será más económico que utilizando fuentes convencionales, como garrafones. Esto es especialmente cierto considerando que el abasto de agua a través de purificadoras para rellenar garrafones es la fuente más económica y accesible para la mayor parte de la población.

4.4.2 Cosecha de Lluvia en Suelo

1. En San Luis Potosí, se han registrado precipitaciones con intensidades máximas de hasta **104 mm/h** y una media de **36.67 mm/h**, lo que subraya la necesidad de sistemas capaces de gestionar estos eventos extremos. Las precipitaciones intensas, aunque no constantes, presentan riesgos significativos de inundaciones y requieren soluciones integrales.

2. Los resultados indican que los SUDS **permeables** permiten una mejor gestión del agua de lluvia al infiltrarla primero y almacenar el excedente. Sin embargo, cuando la capacidad se excede, el agua se vierte al sistema de alcantarillado convencional. En contraste, los SUDS **impermeables**, que no permiten infiltración, se llenan más rápido, destacando la necesidad de diseños que favorezcan la infiltración.

3. El análisis coste-beneficio revela que, a largo plazo, las soluciones que combinan detención y reutilización de escorrentías son más rentables. Los SUDS mejor retorno de inversión son los **embalses impermeables, jardines de lluvia, zanjas de infiltración**, con periodos de amortización relativamente cortos (alrededor de **2 años**), siendo los **pozos de infiltración** los de mayor periodo, con **7 años**. Además, los **embalses impermeables** destacan sobre las otras 3 tipologías, ya que, con el análisis coste beneficio, destaca también el volumen de almacenamiento, de **36m³**, sobre 1m³ de las demás.

4. El análisis económico demuestra que, aunque la inversión inicial en SUDS puede ser considerable, los **beneficios a largo plazo**, incluyendo el ahorro en riego y tratamiento de agua pluvial, superan los costos, proporcionando un **flujo de caja positivo** y una rápida recuperación de la inversión.

5. El estudio muestra que para diseñar SUDS efectivos, es crucial basar los modelos en análisis detallados de las **condiciones climáticas reales**, en lugar de promedios climatológicos. Esto asegura que los diseños sean representativos de la variabilidad y extremos climáticos locales. Además, se recomienda la implementación de SUDS que **detengan y reutilicen la escorrentía**. Para ello, se deberá de incluir la consideración de **puntos específicos** y **datos climáticos** representativos para cada caso, asegurando que los diseños sean realistas y eficientes en la gestión del agua de lluvia.

En términos prácticos, los SUDS deben ser diseñados considerando la variabilidad y extremos climáticos específicos de San Luis Potosí, o en su defecto, de cada región, para ser efectivos. Además, las autoridades locales deben fomentar la implementación de SUDS en lugar de infraestructura gris, debido a su mayor eficiencia y rentabilidad a largo plazo. Para lo cual, es

fundamental educar a la sociedad y los actores responsables de la toma de decisiones sobre los beneficios de los SUDS y la importancia de una gestión adecuada del agua de lluvia.

Capítulo 5

Modelo Hídrico y Escenarios de Gestión del Agua de Lluvia para Uso Doméstico en el Área Metropolitana.

“Saber mucho no es lo mismo que ser inteligente. La inteligencia no es sólo información sino también el juicio para manejarla.”

Carl Sagan (1934-1996).

5. Modelo Hídrico y Escenarios de Gestión del Agua de Lluvia para Uso Doméstico en el Área Metropolitana

Dada la complejidad de las ciudades, es fundamental evaluar los beneficios que pueden aportar los sistemas a diferentes escalas, desde el nivel doméstico y comunitario hasta la escala ciudad o cuenca (macroescala). Para abordar este desafío, se han desarrollado herramientas computacionales que permiten evaluar estrategias de gestión adecuadas. Estas herramientas incluyen diversos modelos con diferentes propósitos, como modelos hidrológicos integrales y modelos de simulación dinámica, que permiten simular tanto las condiciones actuales como predecir escenarios futuros. La elección de cada modelo dependerá de la finalidad del análisis. Estos modelos son fundamentales para respaldar la toma de decisiones en la planificación a largo plazo del recurso hídrico en las ciudades. Además, el acoplamiento de varios modelos hidrológicos con sistemas de información geográfica (SIG) ha demostrado ser eficaz para realizar análisis más complejos y detallados, lo que permite evaluaciones más exactas (Ferrans et al., 2022; Ferrans & Temprano, 2022; Lashford et al., 2020; Ndeketea & Dundu, 2022; Wu et al., 2023).

5.1 Introducción a los Modelos Hidrológicos y la Simulación Dinámica

Los modelos son herramientas con una amplia diversidad de aplicaciones, como analizar el funcionamiento de las redes de conducción de agua, planificar y diseñar mejoras en la infraestructura hídrica actual y futura, además de predecir procesos como el ciclo del agua. Esto facilita la prevención de problemas, generando así ahorros económicos (WSP, 2024).

Martínez-Austria y Vargas-Hidalgo (2016), mencionan que la gestión hídrica en entornos urbanos se compone de una diversidad de elementos que interactúan entre sí, tales como ciclos de retroalimentación y conductas emergentes, lo cual, imposibilita el uso de modelos simples para su análisis.

Algunos autores optan por implementar modelos como WEAP, SWMM, *UrbanBEATS*, *MicroDrainage*, *HiPIMS*, entre otros, además de SIG, para planificar y evaluar la implementación de sistemas de captación de agua de lluvia en sus diversas variantes (Ferrans et al., 2022; Lashford et al., 2020; Ndeketeya & Dundu, 2022; Wu et al., 2023).

Sin embargo, algunos investigadores prefieren utilizar herramientas más flexibles para estudios específicos, como códigos en *Python* (Zubelzu et al., 2020). Además de estas herramientas, emplean diversas metodologías y herramientas digitales para fortalecer la toma de decisiones en la implementación de la captación de agua de lluvia

Por ejemplo, en el caso del modelo WEAP, Ndeketeya & Dundu (2022) utilizaron un balance hídrico volumétrico para evaluar la influencia de la Alianza para la Gestión Sostenible del Agua (AWS) en la seguridad hídrica futura de Johannesburgo. Además de WEAP, implementaron un modelo hidrológico en HEC-HMS para cuantificar los volúmenes de escorrentía hasta el año 2050. Concluyeron que integrar los resultados en WEAP desarrolló una herramienta más robusta para respaldar la toma de decisiones y evaluar el AWS. También identificaron zonas óptimas para la captación de agua de lluvia, demostrando que la escorrentía generada supera la demanda para usos no potables.

En el caso del SWMM, de acuerdo con Ferrans et al. (2022) este modelo desempeña un papel importante, pues facilita la modelación del sistema de drenajes existente. Además, les permitió predecir y evaluar el impacto que tendría la captación de agua de lluvia, facilitando la selección de las tipologías, el diseño y la ubicación óptima. Sin embargo, ellos utilizaron otras metodologías adicionales, como sistemas de optimización, matrices multicriterio, inteligencia artificial, métodos estadísticos y SIG, lo cual forma parte de los sistemas de soporte de decisiones (DSS). Para Wu et al. (2023), SWMM juega un papel importante al permitirles simular escenarios

de inundaciones en cuencas urbanas complejas. Utilizando modelos adicionales como *UrbanBEATS* para la planificación espacial, identificaron subcuencas prioritarias para reducir y mitigar las inundaciones. Esta combinación también les permitió realizar análisis de sensibilidad y optimización de la ubicación y tipología de las intervenciones. De acuerdo con Ma et al. (2022), en una investigación sobre el dimensionamiento de sistemas de captación de lluvia tipo SUDS, se utilizaron los modelos *HiPIMS* y *SWMM* para obtener datos más precisos de la escorrentía superficial correspondiente a la intensidad de lluvia. Este enfoque combinado permitió un análisis más detallado y preciso sobre la respuesta de los sistemas de captación frente a eventos extremos de precipitaciones, asegurando así una mayor efectividad para mitigar inundaciones. La utilización conjunta de estos modelos facilita la planificación y optimización de SUDS, proporcionando una base sólida para tomar decisiones informadas en la gestión de aguas pluviales.

Por otro lado, Lashford et al. (2020), en una investigación sobre el control de escorrentías, utilizaron el modelo *MicroDrainage* para diseñar estrategias combinadas de gestión de aguas pluviales. Con este modelo, demostraron qué tipología de captación de agua resultó ser más efectiva en las condiciones específicas de la zona de estudio. Por lo tanto, este modelo se presenta como una herramienta prometedora para el análisis y diseño de sistemas que ayudan a reducir la escorrentía en diversos escenarios, optimizando la gestión de aguas pluviales y mitigando el impacto de las inundaciones.

En el caso de otras herramientas, como los códigos *Python*, Zubelzu et al. (2020) destacaron su importancia para el análisis de modelos hidrológicos debido a su mayor flexibilidad para estudios específicos. Con esta herramienta, se logró validar indirectamente la efectividad de diversas tipologías de captación de lluvia en suelo, a pesar de la ausencia de información en la zona del estudio. Las estimaciones obtenidas con *Python* coincidieron con la información de las

plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), demostrando así su utilidad y precisión en contextos con datos limitados.

Esto demuestra que las herramientas computacionales son funcionales para planificar la gestión del agua, sea de lluvia únicamente, o en el marco de la GIRH tanto para nuevos proyectos, como en la infraestructura actual, permitiendo el análisis de diversos escenarios climáticos, económicos y sociales, lo que permite una anticipada prevención de riesgos. Además, aunque la mayoría de los modelos se han desarrollado en ciudades de países desarrollados, lo cual es un desafío para otros contextos donde el acceso a la información escasea, es necesario alimentar los modelos con la información existente y buscar la integración de más de una o más herramientas adicionales.

Por ello, algunas ciudades recurren a estas herramientas para planificar, como es el caso de la elaboración del Programa Hídrico del Estado de San Luis Potosí (Comisión Estatal del Agua [CEA], 2021), en el cual utilizaron la herramienta de simulación dinámica *PowerSim Studio 10*, el cual se explicará a continuación.

5.1.1 Aplicaciones en la Toma de Decisiones en el Ámbito Gubernamental en San Luis Potosí

En San Luis Potosí, el modelo de simulación dinámica *PowerSim Studio 10* se adaptó para realizar el Programa Hídrico del Estado 2021. Este modelo se utilizó para establecer un programa hídrico mediante proyecciones de la demanda de agua en todo el estado. Se optó por este modelo debido a su valor en la planificación, ya que facilita la estimación de la oferta y demanda de agua a corto, mediano y largo plazo.

Para las proyecciones, el modelo se dividió en dos submodelos: el de oferta y el de demanda. El submodelo de oferta consideró las áreas de cuenca, incluyendo las aguas superficiales

en subcuencas y las aguas subterráneas a nivel de acuífero. En el caso del submodelo de demanda, se tomaron en cuenta los principales usos del agua (agrícola, doméstico e industrial, principalmente). Con dicha información se realizaron balances hídricos para los años de análisis que comprendieron del 2018 al 2040.

Estos análisis permitieron establecer metas claras y sentar las bases para alcanzar objetivos dentro del esquema del desarrollo sustentable a largo plazo. A corto plazo, proporcionaron mayor certidumbre sobre las áreas prioritarias que deben atenderse en la planificación y gestión hídrica. Las metas incluyen áreas en las que el gobierno estatal debe tener una fuerte participación, tales como la cobertura en agua potable, alcantarillado y saneamiento en los ámbitos urbano y rural principalmente. Este ejercicio demuestra la importancia de utilizar modelos a nivel gubernamental para predecir a tiempo los riesgos asociados con los actuales ritmos de desarrollo, corregirlos oportunamente y establecer una agenda de prioridades. En este caso, se centró en la gestión del agua, aunque su uso puede aplicarse a otras áreas también.

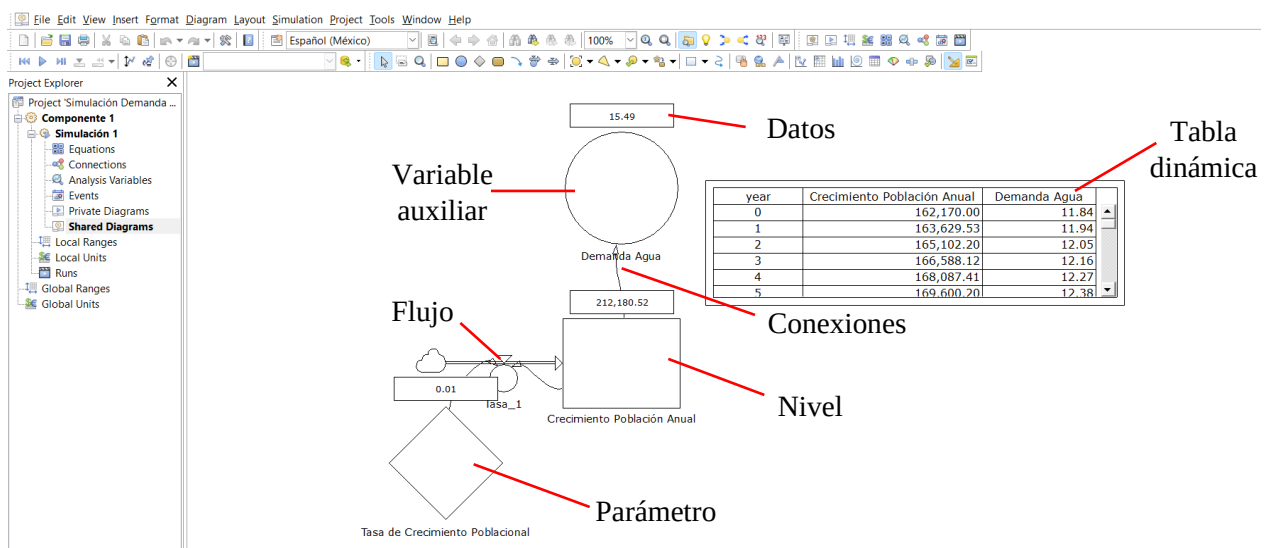
Bajo este contexto, se decidió utilizar el modelo de simulación dinámica *PowerSim Studio* 10. El objetivo es modelar un sistema de gestión sin y con cosecha de agua de lluvia para el uso doméstico del agua en la zona metropolitana de San Luis Potosí. Esto se hace principalmente para comparar escenarios de demanda de agua de fuentes convencionales, incorporando el agua de lluvia como suministro alternativo para el actual ritmo de crecimiento poblacional.

Gracias a las herramientas del sistema de simulación, se pudo realizar este análisis, ya que las funciones con las que cuenta son las siguientes:

- Nivel: permite introducir un nivel o variable de estado. Esta variable sirve para indicar el valor inicial, es decir, en el caso de la población, indicar el dato de la población inicial del año de referencia.
- Variable auxiliar: su función permite introducir variables para operaciones matemáticas. Aquí si se introducen ecuaciones que apoyan los cálculos del modelo.
- Parámetro: su función es introducir valores constantes para toda la simulación.
- Flujo: permite interconectar el parámetro con un nivel durante el tiempo en el que se realizará la simulación. Ejemplo, nos ayuda a proyectar el incremento de un nivel (población) respecto a un parámetro dado (tasa de crecimiento).
- Conexiones: conecta dos variables para indicar el flujo de información y realizar las operaciones matemáticas correspondientes.
- Tabla dinámica: esta herramienta permite tabular una o más variables respecto al tiempo.

Figura 22

Interfaz de PowerSim Studio 10 y sus funciones



Además, se comparan los cambios en el consumo y el impacto de la demanda en escenarios de cobertura de SCALL en viviendas, para finalmente determinar si aprovechar el agua de lluvia a nivel vivienda es suficiente para reducir el impacto de la extracción de agua o si es necesario incorporar la cosecha de lluvia con otras tipologías, como las ya analizadas en el capítulo anterior.

5.2 Metodología

Se propuso una metodología para evaluar la extracción-demanda en dos escenarios futuros: uno basado en el sistema de gestión actual y otro que incorpora SUDS a nivel de vivienda. Para ello, se utilizó el modelo de simulación dinámica *PowerSim Studio 10*, en el que se consideraron variables como:

- Habitantes en la cuenca y tasa de crecimiento poblacional.
- Dotación/demanda por habitante.
- Pérdida de agua en el sistema de abastecimiento.
- Cosecha de agua de lluvia en viviendas de la cuenca.

5.2.1 *Habitantes de la Cuenca y Tasa de Crecimiento Poblacional*

Para estimar la evolución del crecimiento poblacional se utilizó como base la información del Censo de Población y Vivienda (INEGI, 2020a), la cual fue procesada utilizando la base de datos de Área Geoestadística Básica (AGEB) en QGIS (INEGI, 2020d). Además, se consideró la última tasa de crecimiento de referencia para el estado de San Luis Potosí, que es de 0.9 (INEGI, 2020c).

5.2.2 *Demanda de Agua en la Cuenca*

La dotación requerida para viviendas en la ZMSLP se estimó según el reglamento de construcción de los municipios de San Luis Potosí y Soledad de Graciano Sánchez, considerando una homogeneidad en la dotación/distribución debido a la falta de exactitud en la información disponible. Esta dotación para todos los tipos de vivienda es de 150 L/día/habitante.

5.2.3 Pérdida de Agua en las Redes de Abastecimiento

Se consideró un porcentaje de pérdidas del 30 y 50% (INTERAPAS, 2023a), lo cual se calculó en conjunto con la demanda. La pérdida a lo largo de los años se consideró con una disminución considerando un porcentaje de cobertura de agua por la instalación de SCALL en viviendas.

5.2.4 Implementación de SCALL

Se contemplaron 4 escenarios de políticas públicas con un aumento gradual en la instalación de sistemas de captación hasta lograr que el 25, 50, 75 y 100% de las viviendas contaran con un sistema. Sin embargo, debido a que no hay un registro público y disponible sobre cuantas viviendas pertenecen a cada clasificación en la cuenca, se contempló que 30% representan viviendas económicas, 30% viviendas populares y 40% viviendas tradicionales.

5.3 Resultados y Discusión

La precisión en el análisis y modelado de escenarios hidrológicos suele ser un desafío en muchas regiones del mundo, especialmente en países en vías de desarrollo, donde la disponibilidad de datos es limitada. La calidad de los resultados de estos modelos está directamente relacionada con la calidad de los datos utilizados para alimentarlos. Además, es necesario adaptar los modelos a los contextos específicos de cada ciudad para obtener resultados relevantes y útiles (Ndeketea & Dundu, 2022). La elección de un modelo o varios modelos adecuados depende tanto de la disponibilidad de información para alimentarlos como de las necesidades y objetivos específicos de cada proyecto (Pérez, 2021).

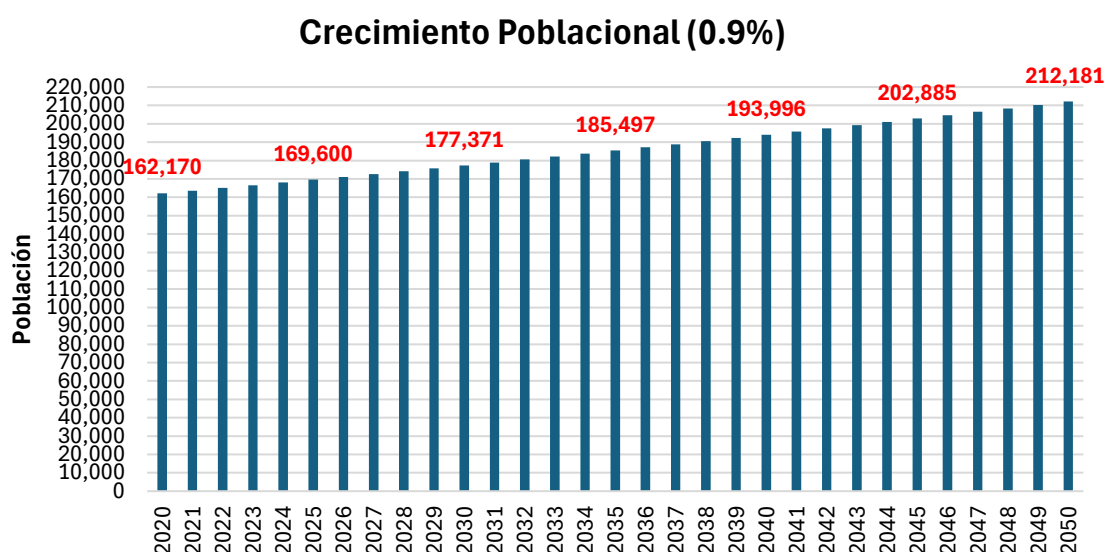
En la zona metropolitana de San Luis Potosí, la simulación de un modelo complejo con todas sus variables y la predicción de escenarios resulta difícil debido a la escasez de datos disponibles. Además, en la cuenca donde se desarrolló este estudio, no existe un río temporal o perenne que sirva como referencia para corroborar la información sobre los caudales durante las épocas de lluvia. Esta ausencia de información dificulta la calibración y validación de modelos, lo que afecta la confiabilidad de los supuestos utilizados en el estudio.

Aunque en trabajos previos en la Zona Metropolitana de San Luis Potosí se han utilizado modelos hidrológicos (Ponce de León, 2022; Hernández, 2024) y otras herramientas como la programación en Python (Zubelzu et al., 2020), en este capítulo se optó por utilizar la herramienta de simulación dinámica *PowerSim Studio 10*. Esta elección se basó en el enfoque del análisis, que se centró exclusivamente en la demanda de agua para uso doméstico y en la oferta a través del agua de lluvia captada en las viviendas, en diversos escenarios de cobertura. Como se detalló en la metodología, se recurrió a información reglamentaria y disponible para llevar a cabo el análisis del comportamiento de estas variables.

El crecimiento poblacional estimado en la cuenca se presenta en la figura 23. Como ya se había mencionado con anterioridad, el análisis fue simulado del año 2020, debido a la información del último censo de población, al año 2050.

Figura 23

Estimación del crecimiento poblacional en la cuenca



Se observa que, con la actual tasa de crecimiento poblacional estimada para el estado de San Luis Potosí, en 30 años, la población de la cuenca pasará de **162,170** a **212,181** (50,011 habitantes más), con una mediana estimada de **1,662** habitantes más por año.

Es importante tener en cuenta que la tasa de crecimiento es una estimación a nivel estatal y no se diferencia por municipios, lo que sugiere que el crecimiento podría ser mayor al tratarse de una zona metropolitana. Dicho esto, las demás variables también están sujetas a estimaciones basadas en esta tasa.

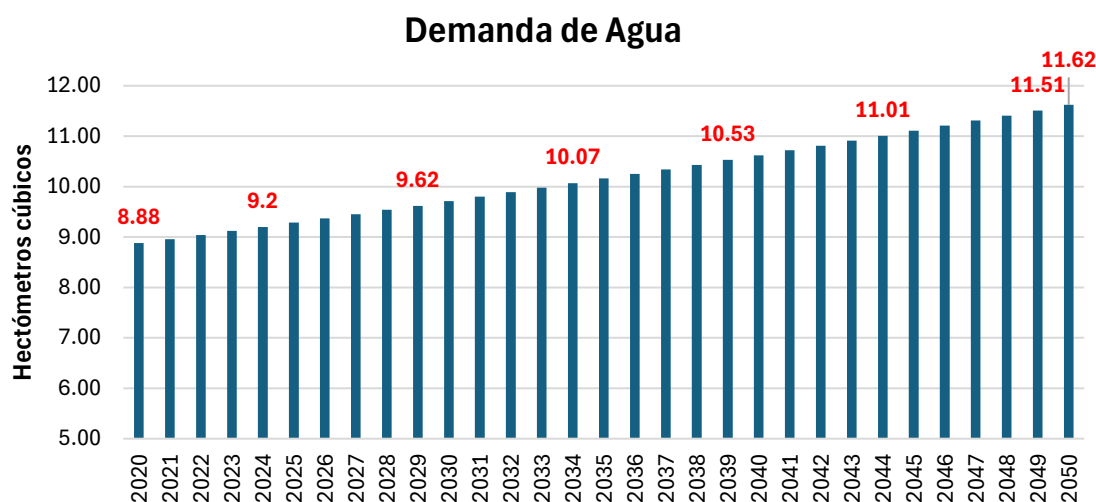
Es importante mencionar que la oferta de agua subterránea dentro de la subcuenca A, es de 361 L/s, sin embargo, estos pozos pueden estar conectados para abastecer otras zonas externas a

la subcuenca u otros pozos externos para abastecer a la propia subcuenca A, ya que, con este volumen de extracción, suman **11.38hm³/año**, discrepando la demanda respecto a la oferta y la ineficiencia del sistema de abastecimiento, que cuenta con una pérdida de agua entre el **30 y 50%**. Además de esta fuente de agua, a la subcuenca A le suma la precipitación, de **11.17hm³/año**. Sumando así un total de oferta de agua en el área de **22.55hm³/año**.

Para el caso de la demanda de agua para uso doméstico, la estimación se muestra en la figura 24.

Figura 24

Demanda de agua en la subcuenca para uso doméstico



La demanda de agua para uso doméstico pasaría de **8.88 hm³** a **11.62 hm³**, con una mediana en el aumento de **0.09 hm³** por año, es decir, **90,000,000** litros más por año. Es importante recordar que esta demanda corresponde únicamente a la de uso doméstico en vivienda.

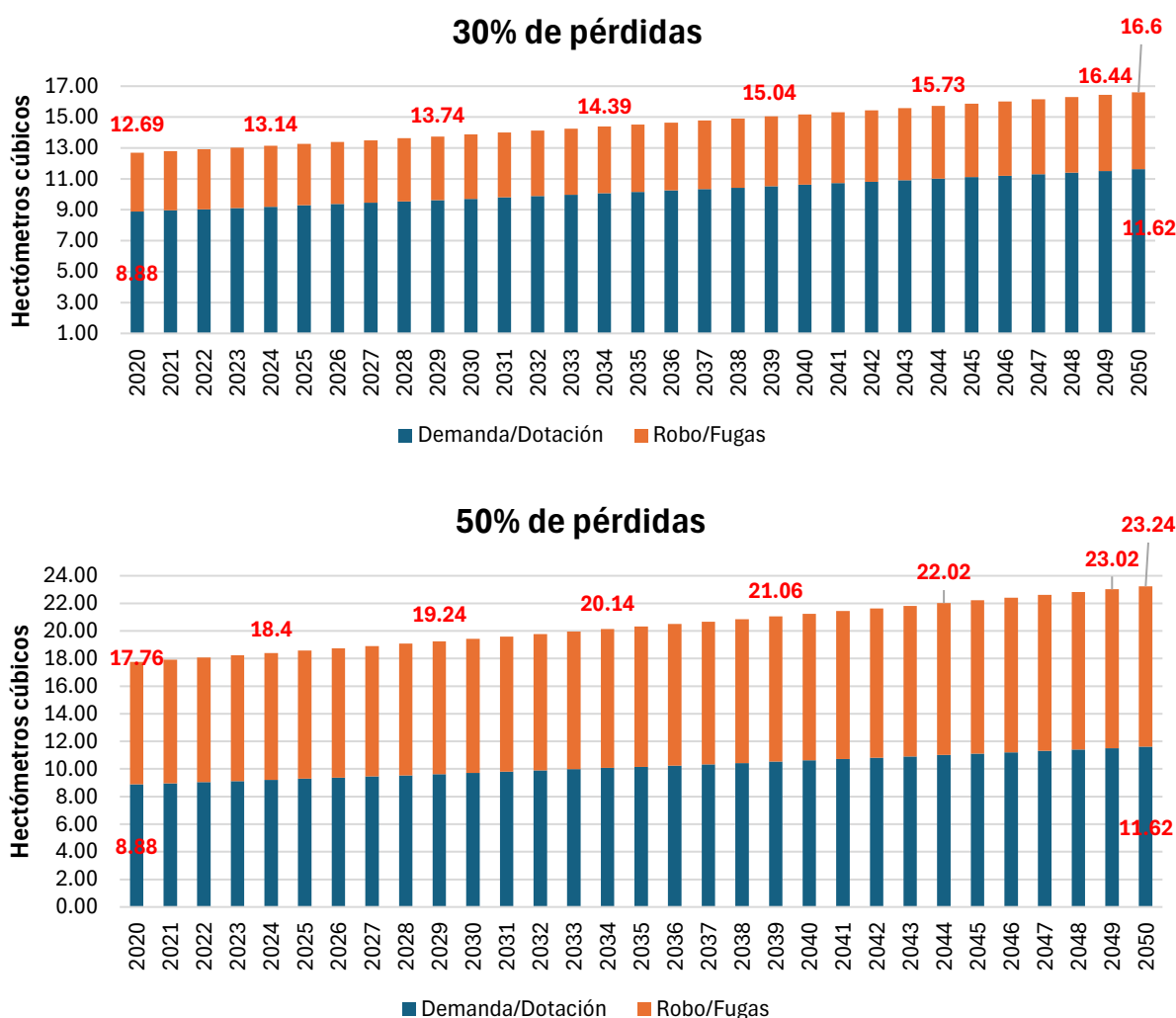
Para determinar esta dotación, se consultaron los reglamentos de construcción de los municipios de San Luis Potosí y Soledad de Graciano Sánchez. Según estos reglamentos, la dotación solicitada de **150 L/hab/día**, es mayor que la recomendada por las Naciones Unidas para

garantizar las necesidades básicas por persona, que oscila entre **50 y 100 L** por día (ONU, 2023b). Esta discrepancia representa un desafío tanto técnico como económico para garantizar el suministro de una cantidad tan elevada de agua, además de la calidad de esta.

Es crucial tener en cuenta las pérdidas al estimar la extracción total de agua para uso doméstico, dado que se ha informado que entre el 30% y el 50% del agua inyectada en el sistema se pierde debido a robos y fugas. La figura 25 ilustra la extracción total.

Figura 25

Extracción total de la demanda/dotación de agua y robo/fugas en el sistema de abastecimiento



En el caso de una pérdida de agua del **30%**, se proyecta un aumento en la inyección de agua al sistema de abastecimiento, pasando de **12.69 hm³** a **16.6 hm³**, con una mediana anual de incremento de **0.13 hm³** (130,000,000 L/año). En el escenario de una pérdida del **50%** del agua, la dotación/demanda aumentaría de **17.76 hm³** a **23.24 hm³**. Esto representa una mediana anual de incremento de **0.18 hm³** (180,000,000 L/año). Tomando en cuenta estos datos y el crecimiento poblacional, los volúmenes de extracción aumentarán en paralelo. Así, si actualmente ya es un reto satisfacer las necesidades de la población de la Zona Metropolitana de San Luis Potosí (ZMSLP), proyectada en **166,588** habitantes para **2023**, satisfacer una población estimada en **212,181** habitantes para **2050** comprometería la sustentabilidad de este recurso. Además, como se mencionó anteriormente, los volúmenes de agua perdidos, sumados a los utilizados para uso doméstico debido a la eficiencia de los sistemas de abastecimiento, pasarían de **18.4 hm³** en **2024** a **23.24 hm³** para el 2050, suponiendo una eficiencia del **50%**.

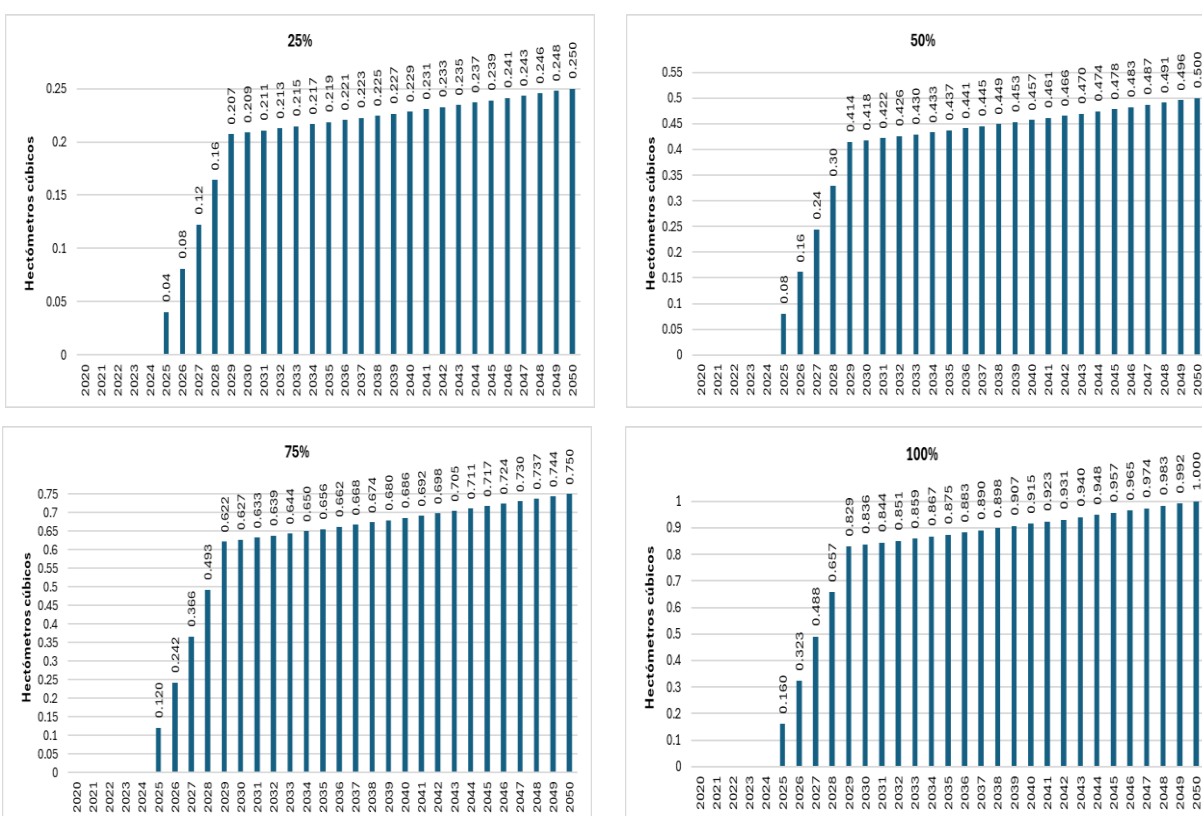
El desafío no radica únicamente en el elevado volumen de dotación, sino también en las condiciones de la infraestructura para mitigar fugas o robos. Por tanto, resulta crucial incorporar otras herramientas como parte de un plan integral. La instalación de sistemas de captación de agua de lluvia puede mejorar estos índices. Por ejemplo, en el caso de pérdidas del **30%**, cada metro cúbico de agua cosechada evita la extracción de **1.43m³** del acuífero. Para pérdidas del **50%**, cada m³ de agua cosechada evita la extracción de **2m³** del acuífero.

Debido a estas pérdidas de agua, en el Programa Hídrico del Estado de San Luis Potosí (CEA, 2021), una de las metas establecidas para los próximos 8 años es incrementar la eficiencia física de la distribución del agua en las zonas urbanas hasta alcanzar un 70%. Este objetivo surge debido a que, al momento de la creación del programa, la eficiencia física de distribución se situaba en un 53%.

Para conocer el impacto en la instalación de SCALL hablando únicamente volumen de agua, se elaboraron planes de implementación de estos sistemas, con un aumento anual gradual hasta alcanzar el 25, 50, 75 y 100% de cobertura de vivienda. Estos planes consideran una distribución de viviendas del 30% económicas, 30% populares y 40% tradicionales. Para analizar los planes a detalle, revisar anexo 5. En la figura 26 observamos el volumen de agua cosechada.

Figura 26

Agua cosechada en los escenarios del 25, 50, 75 y 100% de cobertura de SCALL en viviendas



Se observa una relación directa entre la cobertura de sistemas de captación en las viviendas y los volúmenes de agua cosechada. Por ejemplo, en el primer año, los volúmenes son **40,000-80,000- 120,000 y 160,000 m³**. En contraste, en el último año, estos volúmenes alcanzan **250,000-500,000- 750,000 y 1,000,000 de m³**, respectivamente.

Eficientizar los sistemas de abastecimiento abona a darle un manejo más sustentable a este recurso, atender la problemática de la crisis hídrica en las zonas urbanas, reducir las posibilidades de escasez y contaminación de agua subterránea por arrastre de contaminantes.

Figura 27

Agua para dotación, fugas y cosechada al 25, 50, 75 y 100% de cobertura en viviendas, con fugas en el sistema de abastecimiento del 30%

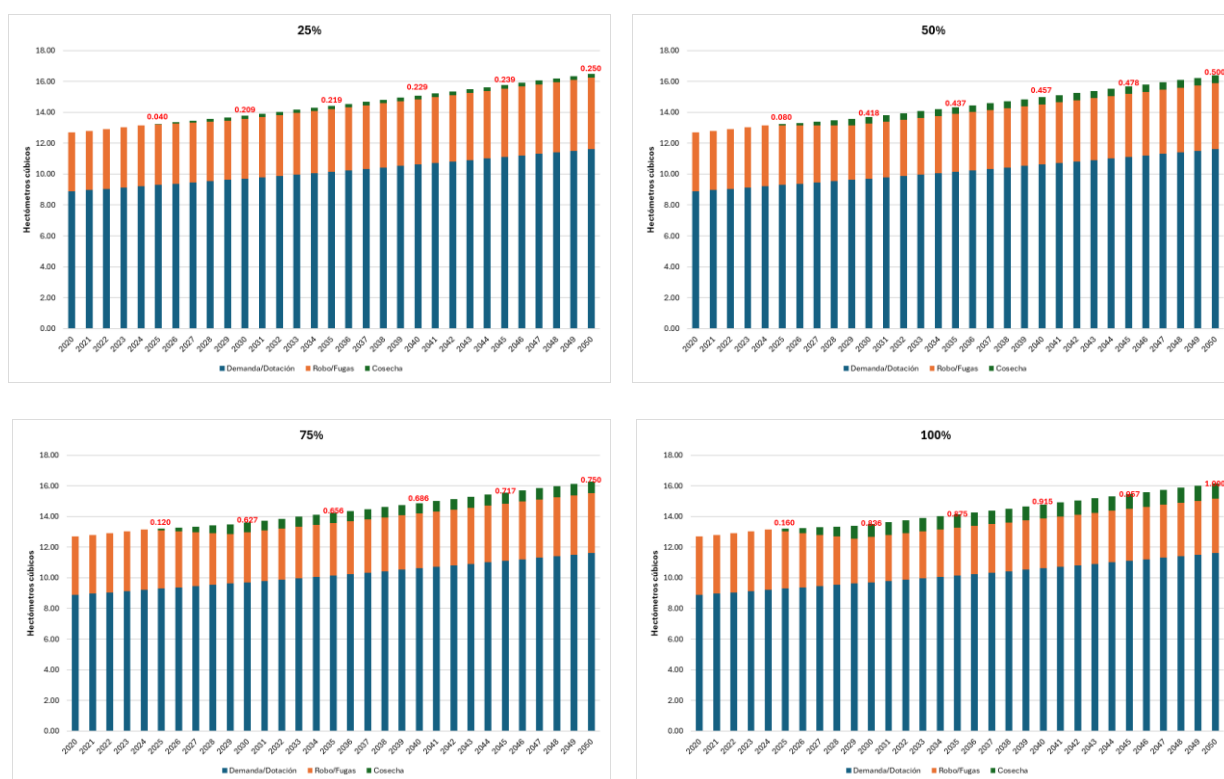
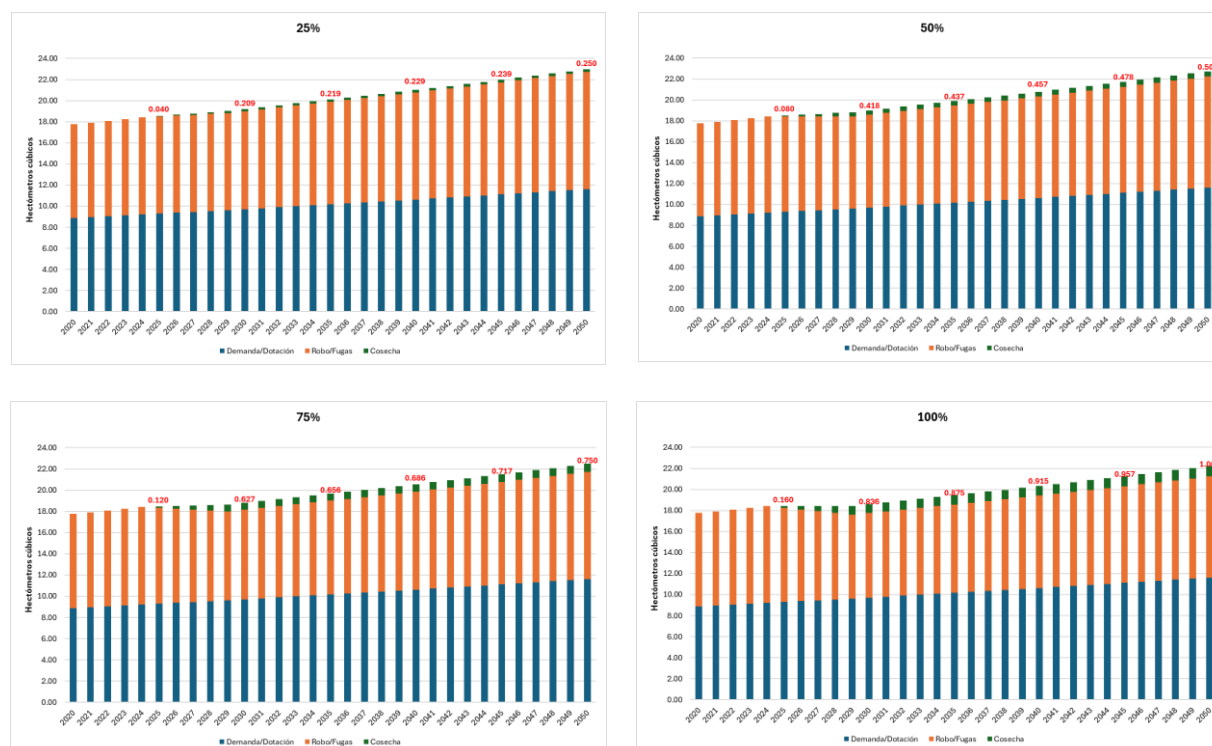


Figura 28

Agua para dotación, fugas y cosechada al 25, 50, 75 y 100% de cobertura en viviendas, con fugas en el sistema de abastecimiento del 50%



En la ZMSLP, el ciclo hidrológico revela una importante cantidad de agua que escurre anualmente, representando un promedio de **9.907 hm³**. Este volumen equivale al **111.56%** de la demanda total de agua doméstica para el primer año de modelo, y al **85.25%** para el último año. A pesar de que la precipitación no alcanza para ser captada y aprovechada a nivel de vivienda, la presencia del agua de lluvia en el ciclo hidrológico satisface hasta el **100%** para el primer año. Sin embargo, la impermeabilización del suelo obstaculiza la infiltración de una porción importante de esta agua de lluvia. Por lo tanto, resulta fundamental adoptar un enfoque integral en la cosecha de agua de lluvia en la ZMSLP, que no se limite a los SCALL. Este enfoque debe contemplar una variedad de estrategias, tales como los sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL) en

edificaciones, zanjas de infiltración, jardines de lluvia, embalses impermeables, entre otras. Al considerar estas diversas opciones, se maximizará la captación y el aprovechamiento del agua de lluvia en la región, contribuyendo así a una gestión más eficiente y sostenible del recurso hídrico.

Considerando una variedad de métodos de cosecha de agua de lluvia, es crucial mantener una perspectiva realista sobre las condiciones para el uso del agua. Aunque la mayor parte del agua de lluvia no es fácilmente utilizable para uso doméstico o potable, la implementación de estos métodos contribuye a equilibrar el ciclo hidrológico. Esto se logra compensando la extracción de agua con la infiltración de agua de lluvia en el suelo. Además de esta función de equilibrio, la adopción de estos métodos ofrece numerosos beneficios adicionales. Entre ellos se incluyen la reducción de las olas de calor, la mitigación de las escorrentías que pueden provocar inundaciones, la prevención de la contaminación del agua, y la disponibilidad de agua para el riego de parques urbanos. Además, estos métodos promueven una mayor adaptabilidad y resiliencia urbana frente al cambio climático (Andrés-Doménech et al., 2018; Ferrans et al., 2022; Joshi et al., 2021; Sagrelius et al., 2023).

5.4 Conclusiones del Capítulo

1. La precisión en el análisis y modelado de escenarios hidrológicos está directamente relacionada con la calidad y disponibilidad de datos. En la **Zona Metropolitana de San Luis Potosí**, la escasez de datos **limita** la capacidad de calibrar y validar modelos hidrológicos más robustos.

2. El **crecimiento poblacional** proyectado incrementará significativamente la **demanda de agua** para uso doméstico, pasando de **8.88** hm³ en 2020 a **11.62** hm³ en 2050, es decir, un incremento del **30.85%**. Este aumento pone en riesgo la sustentabilidad del recurso hídrico en la región.

3. La oferta actual de agua para la subcuenca, sumando el agua de precipitación y únicamente los pozos que se encuentran dentro del área de esta, dan un total de **22.55** hm³/año.

4. La instalación de SCALL en viviendas puede mejorar los índices de sostenibilidad del agua. Por cada metro cúbico de agua de lluvia cosechada puede reducir la extracción de **1.43 m³** del acuífero en un escenario de pérdidas del **30%**, y de **2 m³** en un escenario de pérdidas del **50%**.

5. Una de las conclusiones más importantes es que en la subcuenca A, la escorrentía anual promedio es de **9.9 hm³** representa una fracción significativa de la demanda total de agua doméstica, cubriendo el **111.56%** en el primer año de modelo y el **85.25%** en el último año. Si bien, no toda la precipitación puede ser cosechada a nivel de vivienda, su contribución al ciclo hidrológico es vital para satisfacer parte de la demanda. Por ello, es fundamental adoptar un enfoque **integral** en la gestión del agua de lluvia en la ZMSLP, más allá de los sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL). Este enfoque debe incluir una combinación de estrategias para maximizar la cosecha de agua de lluvia, como los SUDS.

Capítulo 6

Propuesta de Adición a la Ley de Aguas para el Estado de San Luis Potosí para Integrar la Cosecha de Agua de Lluvia.

“Los planeadores necesitan decidir qué valores son los que defienden y para qué personas y principios creen estar trabajando.”

Hugh Stretton (1978). *Planificación urbana en países ricos y países pobres*.

6. Propuesta de Adición a la Ley de Aguas para el Estado de San Luis Potosí para Integrar la Cosecha de Agua de Lluvia

6.1 Introducción

Como se ha mencionado en capítulos anteriores, el proceso de cosecha de agua de lluvia ofrece numerosos beneficios que abarcan aspectos socioculturales y ambientales. Sin embargo, es fundamental recordar que, aunque estos sistemas sean excelentes herramientas de gestión, su efectividad depende en gran medida de su regulación mediante marcos legales, como leyes y reglamentos. Por ello, la introducción de estos mecanismos es una tarea fundamental y necesaria.

A nivel nacional e internacional, se han implementado diversos mecanismos que contemplan herramientas de gestión del agua, destacando la Gestión Integral del Recurso Hídrico (GIRH), la cual promueve una visión integral y simultánea de las fuentes y usos del agua.

En este modelo de gestión, se incluye la cosecha y aprovechamiento del agua de lluvia, considerándola como una estrategia viable para satisfacer parcial o totalmente la demanda natural de agua, recargar acuíferos mediante métodos de infiltración y retener agua que podría causar inundaciones en áreas susceptibles de escorrentías (Gleason et al., 2021). Además, uno de los avances más importantes para su incorporación en el marco legal fue la inclusión en el Objetivo de Desarrollo Sostenible 6 (ODS 6), que establece estrategias fundamentales para su aplicación:

- ODS 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos.
- Punto 6.6: Para 2020, proteger y restaurar los ecosistemas relacionados con el agua, incluidos bosques, montañas, humedales, ríos, acuíferos y lagos.

- Punto 6.6a: Para 2030, ampliar la cooperación internacional y el apoyo a los países en desarrollo para fortalecer la capacidad en actividades y programas relacionados con el agua y el saneamiento, tales como **captación de agua**, desalinización, uso eficiente de los recursos hídricos, tratamiento de aguas residuales, reciclaje y **tecnologías de reutilización** (ONU, 2023b).

No obstante, estas estrategias no se han implementado uniformemente en todas las regiones. En Centroamérica, por ejemplo, aún no se han desarrollado de manera detallada marcos legales y políticas públicas sobre este proceso de cosecha. En contraste, en el Caribe, específicamente en las Islas Vírgenes, Islas Turcas y Caicos, Barbados, Isla Bermuda, Antigua y Barbuda, Trinidad y Tobago, Granada y Jamaica, se han establecido diferentes mecanismos que serán revisados más adelante (Cobos et al., 2017).

En México, hasta el 29 de septiembre de 2023, existían 13 leyes que regulan la gestión del agua de lluvia: 12 de carácter local y una federal. Sin embargo, en el caso de las leyes locales, San Luis Potosí no cuenta con una legislación específica, limitándose la gestión del agua pluvial al control de escorrentías mediante drenajes separados para aguas residuales y pluviales. Algunos municipios de San Luis Potosí y el interior de la república han avanzado en la elaboración de reglamentos y normas técnicas. No obstante, es crucial que estos mecanismos estén establecidos en leyes de mayor jerarquía y mecanismos para cada contexto local, lo que permitiría a cada municipio u organismo operador adoptar las medidas necesarias para su cumplimiento.

Por ello, en este capítulo se analizarán los antecedentes legales de la cosecha de agua de lluvia en diversos países, las leyes estatales en México, y el caso específico de San Luis Potosí. Finalmente, se propondrán modificaciones y adiciones a la Ley de Aguas para el Estado de San

Luis Potosí, así como la correspondiente exposición de motivos, sustentándose en los resultados obtenidos en esta investigación y en otros estudios desarrollados en contextos similares.

6.2 Antecedentes en el Marco Legal y la Legislación de la Captación de Agua de Lluvia

6.2.1 Antecedentes Internacionales

Para hablar del aprovechamiento de la lluvia mediante el proceso de cosecha de agua de lluvia, es necesario tener flexibilidad en los nombres o términos que se han ido adaptado a lo largo del mundo, en el caso de México, y de acuerdo a las normas actuales, el término que se utiliza comúnmente es captación o cosecha de agua de lluvia para referirse a la acción de captar, almacenar y aprovechar el agua pluvial, aunque recientemente se han separado los términos pluvial y de lluvia como los siguientes:

- **Agua de lluvia:** aquella que cae directamente sobre una superficie antes de que tenga la oportunidad de moverse o escurrirse. Por lo tanto, la carga de contaminantes se limitará a la superficie donde cae.
- **Aguas pluviales:** aquéllas que caen al suelo y comienzan a escurrirse. Es decir, es el agua resultante de la precipitación que fluye sobre la superficie del suelo. Por esta razón, será agua con mayor carga de contaminantes por arrastre.

En el caso de otros países existen diferentes enfoques con similar finalidad o en algunos casos procesos más complejos. Tal es el caso del ya mencionado anteriormente como Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), pero además se utilizan términos como Mejores Prácticas de Gestión (BMP, por sus siglas en inglés) Infraestructura Verde (GI, por sus siglas en inglés), Programa de Ciudades Esponja (SCP, por sus siglas en inglés), Diseño Urbano Sensible al Agua (DUSA), Recolección de Agua de Lluvia (RWH, por sus siglas en inglés), Diseño Urbano Sensible

al Agua (WSUD, por sus siglas en inglés), entre otros. Para este caso, se seleccionaron todos, siempre y cuando el criterio tenga la misma finalidad al ser ejecutado por cada marco legal. De acuerdo con estos criterios se encontraron los mecanismos del cuadro 27.

Cuadro 27

Legislación internacional vigente con gestión del agua pluvial y de lluvia

País/Ciudad	Ley/Decreto/Programa	Mecanismos
España	Reglamento del Dominio Público Hidráulico (RDPH) 638/2016	Artículo 126 ter. Criterios de diseño y conservación para obras de protección, modificaciones en los cauces y obras de paso. 7. Las nuevas urbanizaciones, polígonos industriales y desarrollos urbanísticos en general, deberán introducir sistemas de drenaje sostenible , tales como superficies y acabados permeables, de forma que el eventual incremento del riesgo de inundación se mitigue. A tal efecto, el expediente del desarrollo urbanístico deberá incluir un estudio hidrológico-hidráulico que lo justifique (Ministerio de Agricultura y Pesca, 2016).
Ayuntamiento de Madrid, Es	Ordenanza de la Gestión y Uso Eficiente del Agua en la Ciudad de Madrid (ANM 2006\50)	Como criterio de sostenibilidad, se fomentará la captación del agua de lluvia para fines de riego y limpieza y, en su caso, para la recarga de acuíferos (Ayuntamiento de Madrid, 2006).
Valencia, Es	Plan de acción territorial sobre prevención del riesgo de inundación de la <i>Comunitat Valenciana</i>	Infraestructura Verde como elemento crucial de la planificación territorial y dentro de ella se fomentará el uso de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible en todos los municipios de <i>la Comunitat Valenciana</i>

		<i>Valenciana</i> (Art 23.9 y Anexo I.C.2) (de la Fuente et al., 2021).
Islas Vírgenes, EUA	Código de construcción	Obliga a toda nueva construcción a cumplir con la implementación de cisternas para captar el agua de lluvia (Cobos et al., 2017).
Islas Turcas y Caicos		Requerimiento de construcción de un volumen de almacenamiento de 100 litros por cada metro cuadrado de construcción techada (Cobos et al., 2017).
Barbados	<i>Town and country development planning office</i> (TCDPO)	Instalación obligatoria de SCALL en toda edificación. Todo nuevo edificio debe contar con cisterna para el almacenamiento. Además, se cuenta con un incentivo del agua por capacidad de almacenamiento instalada (Hutchinson, 2010).
Isla Bermuda		Tratado/decreto para convertir el 80% de las azoteas en área de captación de lluvia (Cobos et al., 2017).
Antigua y Barbuda	<i>National action plan: combatting desertification, land degradation and drought</i> (2015-2020)	Todas las casas deben tener un sistema de almacenamiento para cosechar agua lluvia. El agua de lluvia cosechada debe almacenarse en contenedores adecuados, higiénicos y seguros, particularmente durante la sequía (Minister of Health and the Environment, 2015).
Trinidad y Tobago	<i>Water for life: the Trinidad and Tobago initiative</i>	Proporcionar sistemas de agua potable (incluyendo SCALL) a los niños en edad escolar y a las comunidades rurales. La GIRH está siendo actualizada para incluir aspectos de SCALL (Global Water Partnership, 2012).

Granada		Programa nacional de implementación de SCALL. Obligatoriedad de implementación de SCALL en nuevas construcciones. El control de planificación exige, entre otras cosas al reúso de filtros (Cobos et al., 2017).
Jamaica	<i>Community scale rainwater harvesting systems and storage</i>	Directrices para la planificación de nuevos desarrollos con respecto a la escorrentía pluvial, para minimizar la erosión e inundaciones y aprovechar su uso en actividades domésticas y en riego. Fondo de acceso al agua, que incluiría SCALL (UNEP Copenhagen Climate Centre, 2022).
California, EUA	Proyecto de ley de la Asamblea AB 2525 por el que se crea el fondo de Paisajismo eficiente en el uso del agua	La Legislatura determina y declara lo siguiente: (8) El agua se puede conservar capturando y reutilizando el agua de lluvia y las aguas grises siempre que sea posible... (11) Se debe fomentar la implementación de mejores prácticas de gestión de aguas pluviales en el paisaje y planes de diseño de nivelación para minimizar la escorrentía y aumentar la retención e infiltración del agua de lluvia en el sitio (Holden, 2016).
Nueva York, EUA	<i>Assembly Bill A9890</i>	Sección 1. La Sección 606 de la ley tributaria se modifica agregando la Subsección (CCC) para que diga lo siguiente: (CCC) crédito para propietarios de viviendas y empresas para invertir en infraestructura verde . (1) los propietarios de viviendas que construyan infraestructura verde... serán elegibles para recibir un crédito tributario de hasta el cincuenta

por ciento del costo de construcción, sin exceder de cinco mil dólares.

(2) las empresas que construyan infraestructura verde como parte de sus bienes inmuebles... serán elegibles para **recibir un crédito tributario** de hasta el cincuenta por ciento del costo de construcción, sin exceder de cinco mil dólares (Harris, 2016).

Texas

H.B. No. 3391

Sección 1. **Préstamos para desarrollos que utilizan cosecha de agua de lluvia.** Las instituciones financieras pueden considerar otorgar préstamos para desarrollos que utilizarán agua de lluvia recolectada como única fuente.

Sección 2.

(c-1) Las normas procesales adoptadas bajo esta sección deben exigir:

1. Tecnologías de sistemas para recolección de agua de lluvia para agua potable y se incorporará el uso no potable en interiores y el riego de jardines.

En el diseño y construcción de: (a) cada edificio estatal nuevo deberá contar con un techo de al menos 10, 000ft² (929m²) y (b) cualquier otro edificio público nuevo para el cual la incorporación de dichos sistemas sea factible.

2. Tecnología de sistema de recolección de agua de lluvia para uso interior potable y no potable y riego de jardines incorporados en el diseño de cada nuevo edificio con un techo que mida al menos 50,000ft² (4,645m²) que sea ubicado en un área de

este estado en la que el promedio anual la lluvia es de al menos 20in (508 mm).

(c-3) Los estándares de procedimientos requeridos por la subsección (c-1) (2) se aplican a un edificio descrito por esa subdivisión a menos que se aplique la subsección (c-2) o la agencia que construye el edificio proporcione a la oficina de conservación de energía del estado evidencia de que la **cantidad de agua que se recolectará** es equivalente a la cantidad de agua de lluvia que se podría haber recolectado del nuevo edificio si se hubiera incorporado tecnología de sistemas de recolección de agua de lluvia en su diseño y construcción.

(b-1) La comisión **desarrollará reglas relativas a la instalación y mantenimiento de sistemas de captación** de agua de lluvia que se utilizan para fines potables en interiores y están conectados a una red pública de agua sistema de suministros. Las normas deben contener criterios que sean suficientes para asegurar eso:

(1) se cumplen las normas sanitarias para el agua potable, (2) el agua de lluvia recolectada no tenga comunicación con el agua potable de un sistema público de abastecimiento en un lugar fuera de la propiedad.

Se puede observar que a lo largo del mundo existen diversos marcos regulatorios del agua de lluvia, tanto para aprovechar este recurso, como para reducir riesgos de inundaciones.

6.2.2 Antecedentes Nacionales

En México existen 13 leyes que, de una u otra manera, regulan el aprovechamiento del agua de lluvia. Doce de estas leyes son de carácter local, mientras que solo una es de carácter federal. Dentro del marco legal, algunas leyes son más robustas que otras, algunas simplemente sugieren su aprovechamiento, otras obligan su construcción.

Cuadro 28

Modificación de leyes en México para el aprovechamiento de agua de lluvia

Ley	Año de modificación	Artículo modificado
Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente	2003	Art 17 ter. - Las dependencias de la Administración Federal instalarán sistemas de captación de agua pluvial...
Ley del Derecho a los Servicios Públicos de Agua Potable, Drenaje, Alcantarillado y Tecnología Hídrica de la Ciudad de México	2008	Adición del Título Noveno: de la Cosecha de Agua De Lluvia . Art 123. I. Regular e incentivar la cosecha de agua de lluvia...; Art 125. Todas las nuevas edificaciones , vivienda, obra pública, será obligatorio construir obras para cosecha de agua de lluvia...; Art 126. I. La cosecha de agua debe ser considerada política prioritaria ...
Ley de Aguas de para el Estado de Chiapas	2010	Art 163. – Los organismos operadores y el instituto, serán responsables de promover la captación de agua de lluvia, como recurso alternativo, desarrollando programas...
Ley de Agua Potable y Alcantarillado para el Estado de Oaxaca	2016	Art 12 Ter. - Las nuevas construcciones con techos mayores de cuatrocientos metros cuadrados, deberán contar con sistemas de captación de agua pluvial...

Ley de Aguas de para el Estado de Aguascalientes	2017	Adición del Título Cuarto: de la Captación de Aguas Pluviales . Art 137. I. Aprovechar la captación de aguas pluviales...; II. Promover la participación de los sectores público, privado y social...; III. Coadyuvar con la recarga de los mantos acuíferos, mediante la captación de aguas pluviales...; IV. Establecer programas en los sectores público, privado y social...
Ley de Agua Potable y Alcantarillado del Estado de Nayarit	2020	Art 2.- Esta ley tiene por objeto: VI. Promover e incentivar la recolección de lluvia, su potabilización, priorizando el uso doméstico...; Art 4 BIS. I. Esta ley otorga los derechos a: cosechar agua de lluvia...; Art 4 Ter. - El Estado y Municipios deberán promover e incentivar la cosecha de agua de lluvia...; Art 4 Quáter. -I. La cosecha de agua de lluvia debe ser considerada política prioritaria...
Ley de Aguas del Estado de Tamaulipas	2022	Adición del Título Octavo: de la Cultura del Agua. Cap I. De la Cosecha , Uso Eficiente y Cuidado del Agua. Art 167. III BIS. Promover y desarrollar estrategias de cosecha de agua
Ley de Aguas del Estado de Sonora	s/d	Art 149.- La comisión, organismos operadores y prestadores de servicio, deberán realizar las acciones necesarias para promover la captación y aprovechamiento de las aguas pluviales...

Ley que Regula la Prestación de los Servicios de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento del Estado de Querétaro	s/d	Art 16. La promoción de la Cultura del Agua se llevará a cabo por parte de los prestadores de los servicios, a través de la realización de políticas y programas, que tengan por objeto: XI. Promover en las zonas urbanas y rurales, la captación , almacenamiento y uso eficiente del agua pluvial como recurso alternativo.
Ley de Aguas para el Estado de Tlaxcala	s/d	Art 130. Los organismos operadores deberán: Realizar acciones para promover la captación y aprovechamiento de las aguas pluviales
Ley para el Fomento de la Cultura del Cuidado del Agua Quintana Roo	s/d	Art 24. El Programa Estatal cumplirá básicamente con los siguientes objetivos: V. Incentivar el aprovechamiento del agua de lluvia.
Ley del Agua para el Estado de México y Municipios	s/d	Art 53.- Las autoridades impulsarán la construcción de infraestructura que permita el aprovechamiento del agua pluvial...; Art 53 BIS. Las dependencias introducirán sistemas necesarios para la captación y aprovechamiento de agua pluvial en los inmuebles destinados a un servicio público...
Ley del Agua para el Estado de Jalisco y sus Municipios	s/d	Art 16. La formulación, promoción, instauración, ejecución y evaluación de la programación hídrica en el Estado comprenderá, al menos: VIII. La captación, tratamiento y uso eficiente del agua pluvial como recurso alternativo.

Nota. Este cuadro muestra las leyes actualizadas hasta el día 29 de septiembre de 2023. Es importante mencionar que se omitieron propuestas como la de la Ley de Aguas Nacionales (LAN)

en la que se propuso establecer acciones para la realización de obras y sistemas que contemplen procesos de captación de agua de lluvia (Canal del Congreso, 2022), o el caso de la Ciudad de México, donde se busca que en siete años, el 25% del agua que necesita la ciudad se obtenga de la lluvia (Gómez, 2023, Ley de Aguas para el Estado de Chiapas, 2013; Ley de Aguas del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave, 2019; Ley de Aguas del Estado de Sonora, 2021; Ley de Aguas para el Estado de Tlaxcala, 2021; Ley para el Fomento de la Cultura del Cuidado del Agua Quintana Roo, 2021; Ley de Agua Potable y Alcantarillado del Estado de Nayarit, 2022; Ley de Aguas de para el Estado de Aguascalientes, 2022; Ley que Regula la Prestación de los Servicios de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento del Estado de Querétaro, 2022; Ley de Agua Potable y Alcantarillado para el Estado de Oaxaca, 2023; Ley de Aguas del Estado de Tamaulipas, 2023; Ley del Agua para el Estado de Jalisco y sus Municipios, 2023; Ley del Agua para el Estado de México y Municipios, 2023; Ley del Derecho al Acceso, Disposición y Saneamiento del Agua de la Ciudad de México, 2023; Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, 2023).

De las leyes analizadas, existen algunas que solo proponen la captación como una sugerencia, como el caso de Tlaxcala, Querétaro, Sonora, Aguascalientes, entre otras. Esta perspectiva limita el compromiso que se pueda tomar por parte de la población en general, incluido el sector público y privado.

En el caso de la ley de carácter federal, la LGEEPA no ha habido un claro cumplimiento, pues su interpretación jurídica de “instalarán” deja el aspecto de la ley como un alternativa o sugerencia de lo que se debería hacer, además de limitar los recursos económicos para cumplirla.

Sin embargo, también existen casos exitosos como el de la Ciudad de México. Además de las obligaciones que se solicitan a las nuevas construcciones a través de la Ley, cuenta con un

programa prioritario llamado “Cosecha de Lluvia”, también establecido en la ley para su creación. Desde el 2019 hasta el 2024 se ha hecho una inversión de casi \$1,418,000,000 pesos mexicanos, lo que representa más de 70 mil SCALL en viviendas y escuelas. Además, con el “Proyecto de investigación: política ambiental de la Ciudad de México 2018-2022”, se dieron a conocer los objetivos, metas o indicadores propuestos y los resultados alcanzados por dicho programa. Dichos indicadores que utilizan para medir resultados son:

- Sistemas de captación de agua de lluvia instalados.
- Número de colonias, pueblos o barrios beneficiados.
- Número de alcaldías participantes.
- Número de personas beneficiadas (directa o indirectamente).
- Porcentaje de mujeres beneficiarias.
- Número de integrantes de la unidad técnica operativa (UTO).
- Número de sistemas entregados a asentamientos dictaminados para ser regularizados en la alcaldía Tlalpan.
- Número de empresas instaladoras de sistemas de captación de agua de lluvia domiciliaria.
- Recursos económicos ejercidos.
- Incremento en el abasto de agua en el hogar por la instalación del sistema de captación.
- Capacitaciones realizadas con personas beneficiarias del programa o integrantes de la unidad técnica operativa (UTO).
- Visitas técnicas para verificar viabilidad de las viviendas o para la instalación de los sistemas.

- Actividades de difusión.
- Visitas o llamadas de seguimiento.
- Visitas de muestreo de calidad del agua (EVALÚA, 2022).

Además, recientemente se ha elevado la prioridad de la cosecha de agua de lluvia subiendo el carácter de gestión de la ley en materia de agua a la propia constitución local. Siendo la primera ciudad en dar pasos a la transformación de una Ciudad Esponja en la república mexicana.

6.2.3 Antecedente en San Luis Potosí

De la LAESLP se observó que no se cuenta con lineamientos sobre el aprovechamiento del agua de lluvia, la última modificación que se hizo al respecto fue en el año 2015 (cuadro 29).

Cuadro 29

Artículos modificados en el año 2015 donde se integran mecanismos sobre el agua pluvial

Artículo	Mecanismos
Exposición de motivos	En las nuevas construcciones... se deberán de efectuar las instalaciones que la legislación aplicable señale, a efecto de que cuenten con... drenajes separados , uno para aguas residuales y otro para grises o pluviales .
Art. 3	IV.-Aguas pluviales: aquéllas que provienen de lluvias, incluyendo las que provienen de nieve y granizo. IX. Alcantarillado pluvial: la red o sistema de conductos abiertos o cerrados, accesorios y estructuras hidráulicas e instalaciones para captar, conducir, regular, aprovechar, controlar y/o transitar los escurrimientos pluviales...
Art. 71	Párrafo II y III. Se adicionan los términos “alcantarillado sanitario y pluvial” por separado a las disposiciones comunes.

Art. 79 Se incorporan los términos “**alcantarillado sanitario, alcantarillado pluvial**” por separado para el capítulo II “De la Prestación de los Servicios por los ayuntamientos”. Además, se incorpora el siguiente párrafo:

XXIII. En lo que respecta al **alcantarillado pluvial**, será a través del ayuntamiento o, de los organismos operadores...quien determine la elaboración de estudios y obras que se requieran para **captar, conducir, regular, aprovechar, controlar y/o transitar los escurrimientos pluviales** que se generen en una zona determinada de la ciudad o en nuevos centros de población, **hasta su descarga en un cuerpo receptor natural o artificial...**

6.3 Metodología

En este capítulo se presentan los resultados de una investigación enfocada en los antecedentes jurídicos específicos relacionados con la cosecha de agua de lluvia. El análisis realizado abarca la identificación de normativas y disposiciones legales aplicables, con el propósito de comprender el marco normativo vigente que regula esta práctica en los distintos niveles de gobierno (antecedentes del capítulo).

La investigación se amplió para incluir un análisis de los aspectos jurídicos locales y una revisión del marco legal federal. Esto tuvo como objetivo evaluar la viabilidad de proponer una modificación a la Ley de Aguas para el Estado de San Luis Potosí (LASLP) y explorar otros mecanismos legales que pudieran respaldar y justificar la propuesta de iniciativa de ley. Este enfoque permitió identificar tanto oportunidades como barreras legales, destacando la relevancia de la iniciativa en el contexto normativo y jurídico vigente.

También se realizó una revisión exhaustiva de los procesos legislativos del Congreso del Estado de San Luis Potosí, dado que este órgano es el encargado de analizar, debatir y, en su caso, aprobar la propuesta de iniciativa de ley.

Con base en los aspectos analizados y el trabajo desarrollado en este documento, se presenta una exposición de motivos fundamentada, que articula los argumentos necesarios para destacar la relevancia y la necesidad de la iniciativa propuesta.

Por último, se plantean las modificaciones concretas a la Ley de Aguas para el Estado de San Luis Potosí (LAESLP) y se examinan los aspectos tomados en cuenta durante la elaboración de la iniciativa, incluyendo los factores clave que influyeron en su diseño y en la estructura final de la propuesta.

6.4 Resultados y Discusión

6.4.1 Proceso Legislativo de Iniciativas de Ley en el Estado de San Luis Potosí

En el Estado de San Luis Potosí, la Constitución Política del Estado Libre y Soberano faculta a diversos actores para presentar iniciativas de ley. Según lo dispuesto en el artículo 61, esta atribución corresponde a los diputados, al gobernador, al Tribunal de Justicia, a los ayuntamientos y a los **ciudadanos**, garantizando así una participación plural en el proceso legislativo, como se presenta a continuación:

- **ARTÍCULO 61.-** El derecho de iniciar leyes corresponde a los diputados, al Gobernador, al Supremo Tribunal de Justicia, y a los ayuntamientos, así como a los **ciudadanos del Estado**.

No obstante, la presentación de iniciativas no se limita únicamente a lo establecido en el artículo 61. El artículo 62 de la Constitución Política del Estado complementa esta disposición al detallar los procedimientos adicionales que deben cumplirse para garantizar la adecuada presentación, revisión y tramitación de las iniciativas de ley, asegurando así un proceso legislativo estructurado y efectivo.

- **ARTÍCULO 62.-** El Reglamento Interior del Congreso establecerá la forma en que deban ser presentadas las iniciativas de ley, así como el modo de proceder a su admisión y votación (H. Congreso del Estado de San Luis Potosí, 2024a).

Por lo tanto, estos derechos están regulados en la legislación correspondiente al órgano competente. En este caso, se encuentran detallados en el Título Noveno de la Ley Orgánica del Poder Legislativo del Estado de San Luis Potosí, que se enfoca en las iniciativas y puntos de

acuerdo. En particular, el Capítulo I, denominado “**De las Iniciativas**”, establece las disposiciones relacionadas con este tema a través de los **artículos 131 y 132**.

- **ARTÍCULO 131.** El derecho de presentar iniciativas de ley y decreto, corresponde a las y los diputados, a la persona titular del Poder Ejecutivo, al Supremo Tribunal de Justicia y a los ayuntamientos. El derecho de presentar iniciativas de acuerdo administrativo o económico, corresponde a las y los diputados. Las y los **ciudadanos** del Estado tendrán **derecho de iniciar leyes y presentar reformas a las mismas**, con excepción de las relacionadas con el régimen interno del Congreso y con la Constitución del Estado. El Reglamento dispondrá la forma de su presentación, trámite y resolución.
- **ARTÍCULO 132.** Las iniciativas podrán ser:
 - I. De ley: cuando contengan un proyecto por el que se otorguen derechos o impongan obligaciones de carácter general y abstracto;
 - II. **De decreto: cuando se trate de un proyecto por el que se otorguen derechos o impongan obligaciones de carácter particular, y esté limitado en espacio, tiempo, lugar, corporación, establecimiento o personas; o bien de resoluciones del Congreso del Estado que por su naturaleza requiera de su promulgación;**
 - III. De acuerdo administrativo: cuando se trate de una determinación del Congreso del Estado con efectos internos, que requiere de promulgación, y
 - IV. De acuerdo económico: cuando se trate de una determinación del Congreso del Estado con efectos internos, que no requieren de promulgación (H. Congreso del Estado de San Luis Potosí, 2024b).

En este contexto, es importante destacar el concepto de iniciativa con **proyecto de decreto**, debido a su naturaleza particular y específica. Este tipo de iniciativas se enfoca en regular algunas situaciones concretas, dirigidas a casos específicos que presentan restricciones en términos de tiempo, espacio o destinatarios. Esto resulta especialmente relevante para el tema de interés, que aborda los mecanismos legales relacionados con la cosecha de agua de lluvia, al tratarse de una propuesta adaptada a circunstancias y necesidades específicas.

Para identificar los procedimientos específicos para presentar una iniciativa con proyecto de decreto, se realizó un análisis del Reglamento del Congreso del Estado de San Luis Potosí, específicamente de los artículos 42 y 47. Estos artículos pertenecen al Título Cuarto, “Del Proceso Legislativo”. El artículo 42 se encuentra en el Capítulo I “**De las Formalidades de las Iniciativas y Puntos de Acuerdo**”, mientras que el artículo 47 corresponde al Capítulo II “**De las Formalidades de las Iniciativas de Decreto**”.

- **ARTÍCULO 42.** Las formalidades que necesariamente habrán de cumplirse en la presentación de iniciativas de ley serán las siguientes:
 - I.** Deberán presentarse por escrito y en formato editable de procesador de texto mediante uno de los siguientes: a) Dispositivo de almacenamiento de datos; b) Sistema de Mensajería del Congreso, o c) Correo electrónico habilitado para este fin.
 - II.** Deberá especificar si se trata de adiciones, reformas, derogaciones o abrogación de leyes; o bien si es la propuesta de una nueva ley;
 - III.** Deberán indicar si se refieren a la estructura jurídica de la ley en cuestión, en el siguiente orden de prelación, partiendo de lo particular a lo general: a) Números arábigos; b) Incisos; c) Fracciones en números romanos; d) Párrafos; e) Artículos;

f) Apartados; g) Secciones; h) Capítulos; i) Títulos; j) Libros; k) Parte, y l) Ordenamiento.

- IV. Las reformas podrán comprender desde la modificación de redacción de un número arábigo, inciso, fracción, párrafo, artículo, apartado, sección, capítulo, título, libro, o parte; y establecidos con precisión en un proyecto de decreto, en el que se establezca los elementos de prelación enunciados en la fracción inmediata anterior que se reforman, adicionan o derogan;
- V. Tratándose de iniciativas ciudadanas éstas deberán presentarse de forma escrita y en dispositivo de datos, ante la oficialía de partes del Congreso, la cual le dará el trámite correspondiente en el Sistema de Mensajería del Congreso, y
- VI. Las iniciativas deberán dirigirse a las y los diputados secretarios del Congreso; y deberán contener: a) Encabezado o título de la propuesta; b) Ordenamientos a modificar; c) Síntesis de la iniciativa; d) Planteamiento del problema que la iniciativa pretenda resolver; e) Exposición de motivos; f) En caso de reformas, adiciones o derogaciones, cuadro comparativo; g) Fundamento legal; h) Proyecto de ley o decreto; i) Artículos transitorios, y j) Lugar, fecha, nombre y firma autógrafa de la o el proponente.
 - **ARTÍCULO 47.** Las iniciativas de decretos se sujetarán a lo siguiente:
 - I. Deberán presentarse por escrito en formato editable de procesador de texto mediante uno de los siguientes: a) Dispositivo de almacenamiento de datos; b) Sistema de Mensajería del Congreso, o c) Correo electrónico habilitado para este fin.

- II. La exposición de motivos explicará con argumentos y razonamientos su justificación;**
- III.** Indicará, en su caso, los beneficiarios si se trata de personas físicas, así como sus nombres completos, edades, domicilios particulares y de trabajo, y estado civil, debiendo acompañar copias de sus identificaciones, actas de nacimiento, comprobantes de domicilio, acta del estado civil, en su caso, y demás documentos conducentes según el asunto de que se trate. Las copias fotostáticas de los documentos deberán ser certificadas por notario público;
- IV.** Cuando se otorguen en favor de personas morales o corporaciones, señalará la información necesaria que las identifique y ubique, debiendo anexarse los documentos con los que acrediten su domicilio y personalidad jurídica; las copias fotostáticas de los documentos deberán ser certificadas por notario público;
- V.** El orden de presentación formal del decreto comprenderá la justificación, la información relativa a los beneficiarios, argumentos, utilidad, consideraciones, conclusiones y proyecto de decreto, y
- VI.** Lugar y tiempo de vigencia del decreto (H. Congreso del Estado de San Luis Potosí, 2024c).

A partir de los mecanismos legislativos estudiados y respaldados por los criterios técnicos, económicos y jurídicos abordados en los capítulos anteriores, se plantea la siguiente iniciativa. Su propósito es incorporar la práctica de la cosecha de agua de lluvia dentro del marco legal vigente en el estado de San Luis Potosí, fortaleciendo así su promoción y obligatoriedad en algunos casos.

“CC. Diputadas y Diputados de la Directiva de la LXIV Legislatura del H. Congreso del Estado. Presentes:

El que suscribe, **Ulises Juárez Martínez**, ciudadano potosino, estudiante del programa de la Maestría en Tecnología y Gestión del Agua, y en pleno goce de mis derechos y con fundamento en lo dispuesto en los artículos 61 y 62 de la Constitución Política del Estado Libre y Soberano de San Luis Potosí; 131 y 132 de la Ley Orgánica del Poder Legislativo del Estado de San Luis Potosí; y 42 y 47 del Reglamento del Congreso del Estado de San Luis Potosí, someto a consideración de esta soberanía la siguiente **iniciativa con proyecto de decreto** para modificar el artículo 3 fracción IV, XX y XLIII, adicionar las fracciones IV BIS y XX BIS, recorriendo las fracciones consecutivas, incorporar los artículos 153 BIS y fracción I, 153 TER y fracciones I y II, 162 BIS, modificar el artículo 163 fracción I e incorporar la fracción V de la Ley de Aguas para el Estado de San Luis Potosí con el propósito de incorporar la cosecha de agua de lluvia, bajo lo siguiente:”

6.4.2 Exposición de Motivos

“La gestión sostenible del agua es un desafío crítico a nivel global. Muchas regiones del mundo han adoptado medidas innovadoras para enfrentar la escasez de agua, los efectos del cambio climático y la creciente demanda poblacional. A nivel internacional, la gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH) es un enfoque clave que considera todas las fuentes y usos del agua.

Estos enfoques responden a la búsqueda de estrategias para garantizar el derecho humano al agua que se estableció a través de la resolución 64/292 de la Asamblea General de las Naciones Unidas el día 28 de julio de 2010. En esta resolución se reconoció explícitamente el derecho humano al agua y al saneamiento, exhortando a los Estados miembros y organizaciones internacionales a proporcionar recursos financieros, a propiciar la capacitación y la transferencia de tecnología para ayudar a los países, en particular a los países en vías de desarrollo, a proporcionar un suministro de agua potable y saneamiento saludable, limpio, accesible y asequible

para todos (Naciones Unidas, 2014). Posteriormente, con los Objetivo de Desarrollo Sostenible se establecen metas globales, siendo el objetivo 6 (ODS 6), el referente al agua, estableciéndose que se debe de garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos, además, a través del punto 6.6a se busca que para el 2030 se amplie la cooperación internacional y el apoyo a los países en desarrollo con la finalidad de fortalecer la capacidad en actividades y programas relacionados con el agua y el saneamiento, tales como **captación de agua**, desalinización, uso eficiente de los recursos hídricos, tratamiento de aguas residuales, reciclaje y tecnologías de reutilización (ONU, 2023b).

Con este antecedente, en México se establece el derecho al agua, establecido en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en su artículo 4º:

- Toda persona tiene **derecho a un medio ambiente sano** para su desarrollo y bienestar.
- Toda persona tiene **derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible**. El Estado garantizará este derecho y la ley definirá las bases, apoyos y modalidades para el acceso y uso equitativo y sustentable de los recursos hídricos, estableciendo la participación de la Federación, las entidades federativas y los municipios, así como la participación de la ciudadanía para la consecución de dichos fines

Bajo este enfoque, algunos países han optado exitosamente por la cosecha de agua de lluvia como una fuente alternativa de abastecimiento de agua, como es el caso de varias Islas del Caribe como las Islas Vírgenes, Barbados, Jamaica, entre otras, que han implementado políticas efectivas para la captación y cosecha del agua de lluvia (Cobos et al., 2017; Hutchinson, 2010; Minister of Health and the Environment, 2015; UNEP Copenhagen Climate Centre, 2022; Wu et al., 2023).

Además, otros casos importantes son Australia, España, Reino Unido, Suiza, y ciudades en EE. UU. (California, Nueva York, Texas), donde destacan marcos legales robustos y sistemas avanzados de la cosecha de agua de lluvia con diversos enfoques (Harris, 2016; Holden, 2016; Ministerio de Agricultura y Pesca, 2016).

A nivel nacional, México cuenta con 13 leyes que regulan de alguna manera el aprovechamiento del agua de lluvia a través del proceso de cosecha de agua de lluvia. Doce de estas leyes son de carácter local y solo una es de carácter federal. Estas leyes varían en robustez, desde simples sugerencias hasta la obligatoriedad de la cosecha de agua de lluvia. Para esta finalidad, los sistemas deberán de cumplir con la normatividad federal vigente, como es la **NOM-127-SSA1-2021** que establece los límites de calidad del agua para uso y consumo humano, en caso de que se pretenda destinar este recurso a dicha finalidad; la **NOM-015-CONAGUA-2007** que regula la infiltración artificial del agua a los acuíferos, en caso de que se pretenda construir la infraestructura de cosecha de agua de lluvia e infiltración, como el caso de la mayoría de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS); así como la **NMX-AA-164-SCFI-2013** que establece los criterios y requerimientos ambientales mínimos en la construcción de edificación sustentable, donde a través del apéndice informativo numero 9 se establece la metodología para el cálculo del agua de lluvia susceptible de ser captada en la edificación, donde dicha metodología se basa en el “cálculo del volumen de tanque de almacenamiento”, metodología utilizada para el diseño y la construcción de Sistemas de Captación de Agua de Lluvia (SCALL).

Sin embargo, pese a la importancia que ha ido cobrando una efectiva gestión del agua de lluvia y pluvial, en San Luis Potosí se limita principalmente al control de escorrentías mediante drenajes separados para agua residual y agua pluvial. Esto deja un amplio vacío legal para la construcción de sistemas para cosechar esta agua. Si bien, algunos municipios han avanzado en

reglamentos y normas técnicas, la falta de un marco legal robusto y unificado impide la implementación efectiva y generalizada de la cosecha de agua de lluvia y pluvial.

Por ello, es crucial que los mecanismos para la gestión del agua de lluvia se establezcan en leyes con jerarquías más altas, para que cada municipio u organismo operador pueda tomar las medidas necesarias para su cumplimiento.

Además, se ha demostrado en diversas investigaciones que, en San Luis Potosí, principalmente en la Zona Metropolitana, donde más se han desarrollado proyectos de este giro, que la cosecha de agua de lluvia se presenta como una solución viable y sostenible para reducir las escorrentías pluviales, riesgo latente por inundaciones, además, ayuda a reducir la demanda de fuentes convencionales como el sistema de presas por el que se compone la ZMSLP y la explotación del acuífero.

Otra característica importante en la implementación de estos sistemas es el aporte que conlleva su gestión en el cumplimiento del derecho humano al agua. Esta afirmación resulta de una investigación donde se demuestra que la cosecha de agua de lluvia en viviendas puede aportar según sea el caso de:

- Vivienda **económica**, el equivalente diario del **7.8%** para la dotación solicitada por los reglamentos de construcción de ambos municipios y **11.74%** por la ONU para cumplir el derecho humano al agua.
- Vivienda **popular**, el equivalente diario del **9.8%** para la dotación solicitada por los reglamentos de construcción de ambos municipios y **14.66%** por la ONU para cumplir el derecho humano al agua.

- Vivienda **tradicional**, el equivalente diario del **13.9%** solicitada por los reglamentos de construcción de ambos municipios y el **20.86%** por la ONU para cumplir el derecho humano al agua.

Es importante mencionar que dicha afirmación se refiere al equivalente diario debido a que no se asume que la demanda de agua sea constante todos los días, ya que resultaría en un aumento en el almacenamiento, si no que considera el aprovechamiento del agua de lluvia a la mínima disponibilidad de este recurso.

Además, se ha demostrado que la precipitación en una subcuenca que compone la ZMSLP contribuye con una importante cantidad de agua que escurre anualmente, representando un promedio de **9.9hm³**. Este volumen equivale al **111.56%** de la demanda total de agua doméstica para la misma subcuenca en el año **2020** y, de acuerdo con estimaciones de crecimiento poblacional y demanda de agua, **85.25%** para el **2050**, esta disminución se debe al crecimiento poblacional con la misma oferta de agua de lluvia.

Esto contrarrestar que cosechar en edificaciones no es suficiente, pues resalta la importancia de diversificar los sistemas de cosecha de agua de lluvia con diversos SUDS, que aporten a infiltrar el agua, a reusarla con diversos fines como el riego de áreas urbanas, lo que representa un beneficio potencial económico de **\$54.89/m³** (pesos por metro cúbico), limpieza de espacios públicos, entre otros.

Además, la cosecha de agua de lluvia reduce los volúmenes de agua que mediante el sistema de drenajes pudieran llegar a las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), pues en el caso del costo que representa tratar el agua en la PTAR-Norte, ubicada en el municipio de Soledad de Graciano Sánchez, se obtendría un ahorro de **\$2.41/m³** de agua pluvial que no fue

tratada, lo que implica una reducción de gastos económicos y reduce el riesgo de saturación de los drenajes, lo que representa riesgos a la salud y la infraestructura urbana.

Además, se ha demostrado que algunas de las tipologías de SUDS tienen un periodo de retorno de inversión de 1 a 2 años.

En resumen, la cosecha de agua de lluvia ofrece numerosos beneficios tales como:

- Satisfacer parcial o totalmente (dependiendo la precipitación de cada región) la demanda de agua, recargar los acuíferos y retener el agua que podría inundar las zonas a las que se dirigen las escorrentías.
- Al capturar y utilizar el agua de lluvia, se reduce la presión sobre las fuentes tradicionales de agua, permitiendo una gestión más equilibrada del recurso.
- La retención y almacenamiento del agua de lluvia ayudan a mitigar las inundaciones urbanas.
- Al aumentar la vegetación y las áreas verdes mediante la infiltración y el uso de agua de lluvia, se reduce el efecto de las islas de calor en las zonas urbanas y se aumenta la captura de dióxido de carbono (CO₂)
- Reduce las escorrentías que arrastran contaminantes a los cuerpos de agua.
- Aumentan la resiliencia urbana frente a eventos climáticos extremos, como sequías e inundaciones.
- Se contribuye a la conservación de los ecosistemas relacionados con el agua, como bosques, humedales y acuíferos.
- La creación de infraestructuras verdes y la gestión sostenible del agua de lluvia promueven un entorno urbano más saludable y habitable.

- Garantiza la disponibilidad de este recurso vital, alineándose con el derecho humano al agua reconocido por la Asamblea General de las Naciones Unidas, asegurando que todas las personas tengan acceso suficiente, seguro y asequible al agua.

Por esta razón, la integración de la cosecha de agua de lluvia en el marco legal de San Luis Potosí es una necesidad imperante para garantizar la sostenibilidad hídrica de la región. Los beneficios técnicos, sociales y ambientales de esta práctica, respaldados por estudios y experiencias internacionales, justifican plenamente la propuesta de cambios en la Ley de Aguas del Estado de San Luis Potosí.

Para una mejor comprensión, expongo el siguiente cuadro comparativo:”

6.4.3 Cambios y Adiciones

Tras realizar una revisión bibliográfica de otras leyes y considerar los términos necesarios para integrar la cosecha de agua de lluvia en la Ley de Aguas del Estado de San Luis Potosí, se proponen los cambios detallados en el cuadro 30.

Cuadro 30

Cuadro comparativo de los cambios en la LAESLP

Ley de Aguas para el Estado de San Luis Potosí Texto vigente	Ley de Aguas para el Estado de San Luis Potosí Propuesta de reforma
ARTICULO 3º. Para efectos de la presente Ley se entiende por:	ARTÍCULO 3º...
I a III...	I a III...

IV.- Aguas pluviales: aquéllas que provienen de lluvias, incluyendo las que provienen de nieve y granizo;	IV.- Agua de lluvia: aquella que proviene de la lluvia, incluyendo las que provienen de nieve y granizo que caen directamente sobre una superficie antes de que tenga la oportunidad de moverse o escurrirse.
NO HAY CORRELATIVO	IV BIS.- Agua pluvial: aquellas precipitaciones que caen a una superficie, como el suelo y comienzan a escurrirse. Es decir, es el agua resultante de la precipitación que fluye sobre una superficie.
V a XIX...	V a XIX...
XX.- Cuerpo receptor: las corrientes o depósitos naturales, presas, cauces, embalses creados por el hombre, drenajes y alcantarillados, colectores, emisores, canales, zanjas, drenes y humedales donde se descargan aguas residuales;	XX.- Cosecha de agua de lluvia: acción de captar, almacenar, aprovechar e infiltrar el agua de lluvia mediante técnicas sostenibles como los sistemas urbanos de drenaje sostenible o cualquier otra solución basada en la naturaleza.
NO HAY CORRELATIVO	XX BIS.- Cosecha de agua pluvial: acción de captar, almacenar, aprovechar e infiltrar el agua pluvial mediante técnicas sostenibles como los sistemas urbanos de drenaje sostenible o cualquier otra solución basada en la naturaleza. XXI.- XX pasa a XXI y por consecuencia, todas las demás fracciones se recorren hasta la XLIII.

XLIII. Tarifa: el conjunto de valores unitarios que sirve de base para determinar las cuotas que deben pagar los usuarios como contraprestación por los servicios públicos proporcionados; NO HAY CORRELATIVO	XLIII. Soluciones basadas en la naturaleza (SbN): Acciones orientadas a proteger, restaurar y gestionar de manera sostenible los ecosistemas naturales y modificados, con el propósito de enfrentar desafíos como el cambio climático, la pérdida de biodiversidad, los riesgos de desastres y la seguridad hídrica y alimentaria, generando beneficios simultáneos para las personas y la naturaleza mediante el uso de mecanismos sostenibles. XLIV. XLIII pasa a XLIV y por consecuencia, todas las demás fracciones se recorren. ARTICULO 153 BIS.- Para la autorización de nuevos desarrollos urbanos, tales como viviendas, fraccionamientos, polígonos industriales, comerciales y desarrollos urbanos en general, será obligatoria la construcción de obras para la cosecha de agua de lluvia o pluvial, según sea el caso más conveniente. A tal efecto, el expediente del desarrollo deberá incluir un estudio hidrológico-hidráulico que justifique la tipología a incorporar. I. Los nuevos polígonos industriales, comerciales y estacionamientos deberán contar con un sistema de recarga de aguas
--	--

NO HAY CORRELATIVO	pluviales al subsuelo que permitan su infiltración, promoviendo así el reusó del agua de lluvia y la infiltración. A tal efecto, el expediente del desarrollo deberá incluir un estudio hidrológico-hidráulico que lo justifique. ARTICULO 153 TER.- en todo nuevo proyecto de vivienda plurifamiliar, sea vertical u horizontal, será obligatorio construir obras para cosecha de agua de lluvia. I. Para el caso de vivienda plurifamiliar vertical, al agua cosechada deberá destinarse a espacios comunes como áreas recreativas, jardines, entre otros. A tal efecto, el expediente deberá incluir un estudio hidrológico-hidráulico que justifique la tipología a incorporar y el destino del uso del agua. II. Para la vivienda plurifamiliar horizontal, se deberá contar con sistemas para cosechar el agua de lluvia en la vivienda individual. Además, contar con un sistema de cosecha de agua de lluvia y/o pluvial comunitario para su aprovechamiento en los espacios comunes como limpieza de banquetas, calles, áreas recreativas y riego de jardines. A tal efecto,
---------------------------	--

	el expediente deberá incluir un estudio hidrológico-hidráulico que justifique la tipología a incorporar y el destino del uso del agua.
NO HAY CORRELATIVO	ARTICULO 162 BIS.- Además, los fraccionadores o urbanizadores deberán construir sistemas para la cosecha de agua de lluvia o pluvial, según sea el caso más conveniente. A tal efecto, el expediente del desarrollo deberá incluir un estudio hidrológico-hidráulico que lo justifique.
ARTICULO 163...	ARTICULO 163...
I. En las nuevas construcciones, sean de manera individual o en conjunto, se deberán de efectuar las instalaciones que la legislación aplicable señale, a efecto de que cuenten con aparato medidor, así como drenajes separados, uno para aguas residuales y otro para grises o pluviales;	I.- En las nuevas construcciones, sean de manera individual o en conjunto, se deberán de efectuar las instalaciones que la legislación aplicable señale, a efecto de que cuenten con aparato medidor, sistemas para la cosecha de agua de lluvia o pluvial, según sea el caso más conveniente, además de la construcción de drenajes separados, uno para aguas residuales y otro para pluvial en caso de excedencia;
I a II...	I a II...
III. El riego de parques, jardines públicos y campos deportivos deberá realizarse con agua	III. El riego de parques, jardines públicos y campos deportivos deberá realizarse con agua tratada y agua de lluvia o pluvial cosechada,

tratada, siempre y cuando ésta esté disponible, y	quedando prohibido el agua de primer uso para estas actividades;
IV...	IV...
NO HAY CORRELATIVO	V.- El agua de lluvia o pluvial cosechada podrá utilizarse en actividades como limpieza de instalaciones, áreas comunes, vehículos, riego de jardines y áreas verdes.

Con los cambios y adiciones propuestos, respaldados por la investigación presentada, se introduce el primer cambio legislativo que incorpora la cosecha de agua de lluvia y pluvial en la Ley de Aguas del Estado de San Luis Potosí, con un enfoque principal en los nuevos proyectos de urbanización.

El análisis del artículo 3 en el cuadro 30 es crucial, ya que se modifica para precisar las definiciones de los conceptos involucrados. Es importante diferenciar claramente entre el agua de lluvia y el agua pluvial, ya que en los centros urbanos utilizar el mismo término para ambos podría generar problemas en la construcción de los sistemas de cosecha del agua. Por ejemplo, el agua cosechada por los SCALL (Sistemas de Captación de Agua Lluvia) requiere un tratamiento mínimo para su uso, mientras que el agua que ha escurrido por las calles puede estar contaminada por diversas fuentes, como hidrocarburos, residuos domésticos e industriales, e incluso coliformes fecales debido a la presencia de animales.

En los artículos donde se realizan adiciones, se observa que existen mecanismos legales vigentes que facilitan la incorporación de nuevos elementos para implementar la cosecha de agua pluvial y de lluvia. Los artículos 153 y 162 pertenecen al capítulo II, titulado “De la Incorporación

de Nuevos Fraccionamientos o Desarrollos Urbanos”, mientras que el artículo 163 se encuentra en el capítulo III, titulado “Del Reúso”. Ambos capítulos forman parte del título sexto, “Reglas para la Prestación de los Servicios Públicos y Conexión al Sistema”.

Tras realizar los análisis jurídicos y legislativos, así como las modificaciones y adiciones correspondientes, se concluyen los siguientes aspectos.

Con estos análisis jurídicos y legislativos, así como las modificaciones y adiciones se concluyen los siguientes aspectos.

6.5 Conclusiones del Capítulo

1. Existen mecanismos jurídicos y legislativos que garantizan el derecho de **todo ciudadano** a proponer y desarrollar disposiciones para el marco legal de San Luis Potosí, ya sea a través de iniciativas de ley, proyectos de decreto o de acuerdo administrativos y económicos.

2. La literatura y el presente trabajo de investigación proporcionan los argumentos suficientes para respaldar la incorporación de la cosecha de agua de lluvia y pluvial en el marco legal de San Luis Potosí.

3. La Ley de Aguas para el Estado de San Luis Potosí vigente, dispone de los mecanismos necesarios para dar un primer paso jurídico y legislativo hacia la implementación de la cosecha de agua de lluvia y pluvial en el estado.

Capítulo 7

Conclusiones.

“Abandonado a la dinámica capitalista y comandado por un grupo muy selecto de empresas, el sector sólo puede producir una distribución del recurso (agua) cada vez más inequitativa, más degradación ambiental e inseguridad en el abasto.”

Delia Montero (2007). *Economía y sociedad en América latina: entre la globalización, la regionalización y el cambio estructural.*

7. Conclusiones

Recapitulando todo lo que se vio durante el presente trabajo de investigación, se concluye que:

1. El mapeo detallado y la identificación de características clave en la subcuenca A, como la sociodemográfica y la distribución espacial, proporcionan una base sólida para futuras intervenciones. Esto es especialmente relevante para investigaciones sobre la gestión integral del recurso hídrico (GIRH).

2. La limitada capacidad de infiltración resulta en un aumento del volumen de escorrentía. De los **11.178hm³** de agua que precipitan en toda la subcuenca, solo **0.148 hm³** se infiltran, poniendo en riesgo el norte de la subcuenca, donde se dirige cerca de **9.9hm³** del volumen restante.

3. A pesar de no encuestarse una muestra significativa de la población de la subcuenca, el **85%** presenta interrupción en el abastecimiento de agua. De esta, el **58.3%** presenta problemas más de una vez a la semana.

4. La mayoría de los actores políticos con los que se trabajó consideran la cosecha de agua de lluvia como una estrategia viable y necesaria, por lo que están dispuestos a impulsar medidas legales para su gestión.

5. Debido a las condiciones climatológicas de la Zona Metropolitana de San Luis Potosí, no es posible cubrir la dotación solicitada por el organismo operador INTERAPAS. Sin embargo, cosechar la lluvia en las viviendas ayuda a contribuir al cumplimiento del derecho humano al agua.

- En la vivienda **económica**, la cosecha de lluvia representa el equivalente diario del **5.87%** para la dotación solicitada por el organismo operador y **11.74%** por la ONU.

- En la vivienda **popular**, representa el equivalente diario del **7.33%** solicitada por el organismo operador y **14.66%** por la ONU.
- Para la vivienda **tradicional**, representa el equivalente diario del **10.43%** solicitada por el organismo operador y el **20.86%** por la ONU.

Exigir viviendas de mayores dimensiones contribuye al cumplimiento del derecho a una vivienda adecuada según las normas de derechos humanos. Además, contribuye al cumplimiento del **derecho humano al agua** si en ellas se cuentan con las instalaciones necesarias para la cosecha de lluvia.

6. Edificaciones con mayor superficie para la captación de lluvia logran una mayor cobertura de cosecha de lluvia frente a la dotación. Sin embargo, tampoco es posible lograr el **100%** de la dotación solicitada para las condiciones climatológicas de la ZMSLP.

7. Utilizar métodos tradicionales para calcular las dimensiones del sistema de almacenamiento del agua de lluvia en edificaciones en la ZMSLP u otra región con características similares de precipitación, es irreal y genera una sobreestimación del volumen. La intensidad será un factor necesario en la aplicación de nuevos cálculos.

8. Para edificaciones grandes, aun sin cubrir la dotación solicitada, la cosecha de lluvia será económicamente más viable que en el caso de edificaciones pequeñas. En los comercios e industrias, debido a que las tarifas son más altas que para otras edificaciones, la cosecha de lluvia será aún más viable económicamente.

9. Para edificaciones pequeñas, como las viviendas, destinar el agua cosechada al consumo humano y la preparación de alimentos será más económico que utilizando fuentes convencionales, como garrafones. Esto es especialmente cierto considerando que el abasto de agua a través de

purificadoras para rellenar garrafones es la fuente más económica y accesible para la mayor parte de la población.

10. En San Luis Potosí, se han registrado precipitaciones con intensidades máximas de hasta **104 mm/h** y una media de **36.67 mm/h**, lo que subraya la necesidad de sistemas capaces de gestionar estos eventos extremos. Las precipitaciones intensas, aunque no constantes, presentan riesgos significativos de inundaciones y requieren soluciones integrales.

11. Los resultados indican que los SUDS **permeables** permiten una mejor gestión del agua de lluvia al infiltrarla primero y almacenar el excedente. Sin embargo, cuando la capacidad se excede, el agua se vierte al sistema de alcantarillado convencional. En contraste, los SUDS **impermeables**, que no permiten infiltración, se llenan más rápido, destacando la necesidad de diseños que favorezcan la infiltración.

12. El análisis coste-beneficio revela que, a largo plazo, las soluciones que combinan detención y reutilización de escorrentías son más rentables. Los SUDS mejor retorno de inversión son los **embalses impermeables, jardines de lluvia, zanjas de infiltración**, con periodos de amortización relativamente cortos (alrededor de **2 años**), siendo los **pozos de infiltración** los de mayor periodo, con **7 años**. Además, los **embalses impermeables** destacan sobre las otras 3 tipologías, ya que, con el análisis coste beneficio, destaca también el volumen de almacenamiento, de **36m³**, sobre 1m³ de las demás.

13. El análisis económico demuestra que, aunque la inversión inicial en SUDS puede ser considerable, los **beneficios a largo plazo**, incluyendo el ahorro en riego y tratamiento de agua pluvial, superan los costos, proporcionando un **flujo de caja positivo** y una rápida recuperación de la inversión.

14. El estudio muestra que para diseñar SUDS efectivos, es crucial basar los modelos en análisis detallados de las **condiciones climáticas reales**, en lugar de promedios climatológicos. Esto asegura que los diseños sean representativos de la variabilidad y extremos climáticos locales. Además, se recomienda la implementación de SUDS que **detengan y reutilicen la escorrentía**. Para ello, se deberá de incluir la consideración de **puntos específicos** y **datos climáticos** representativos para cada caso, asegurando que los diseños sean realistas y eficientes en la gestión del agua de lluvia.

15. La precisión en el análisis y modelado de escenarios hidrológicos está directamente relacionada con la calidad y disponibilidad de datos. En la **Zona Metropolitana de San Luis Potosí**, la escasez de datos **limita** la capacidad de calibrar y validar modelos hidrológicos más robustos.

16. El **crecimiento poblacional** proyectado incrementará significativamente la **demanda de agua** para uso doméstico, pasando de **8.88 hm³** en 2020 a **11.62 hm³** en 2050, es decir, un incremento del **30.85%**. Este aumento pone en riesgo la sustentabilidad del recurso hídrico en la región.

17. La oferta actual de agua para la subcuenca, sumando el agua de precipitación y únicamente los pozos que se encuentran dentro del área de esta, dan un total de **22.55hm³/año**.

18. La instalación de SCALL en viviendas puede mejorar los índices de sostenibilidad del agua. Por cada metro cúbico de agua de lluvia cosechada puede reducir la extracción de **1.43 m³** del acuífero en un escenario de pérdidas del **30%**, y de **2 m³** en un escenario de pérdidas del **50%**.

19. Una de las conclusiones **más importantes** es que en la subcuenca A la escorrentía anual promedio es de **9.9 hm³** representa una fracción significativa de la demanda total de agua

doméstica, cubriendo el **111.56%** en el primer año de modelo y el **85.25%** en el último año. Si bien, no toda la precipitación puede ser cosechada a nivel de vivienda, su contribución al ciclo hidrológico es vital para satisfacer parte de la demanda. Por ello, es fundamental adoptar un enfoque **integral** en la gestión del agua de lluvia en la ZMSLP, más allá de los sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL). Este enfoque debe incluir una combinación de estrategias para maximizar la cosecha de agua de lluvia, aprovechándola al máximo.

20. Existen mecanismos jurídicos y legislativos para que todo ciudadano tenga el derecho a desarrollar y proponer diversas disposiciones al marco legal de San Luis Potosí, ya sea a través de iniciativas de ley, iniciativas con proyecto de decreto, de acuerdo administrativo o económico.

21. Existen los argumentos suficientes en la literatura y en el presente trabajo de investigación para exponer motivos que legitimasen la incorporación de la cosecha del agua de lluvia a marco legal de San Luis Potosí.

22. La Ley de Aguas para el Estado de San Luis Potosí vigente, cuenta con los mecanismos suficientes para dar un primer paso jurídico y legislativo en la cosecha del agua de lluvia en el estado.

7.1 Perspectivas y Recomendaciones

Como se ha demostrado en los capítulos previos, tanto en este estudio como en la literatura consultada, la cosecha de agua pluvial y de lluvia ofrece múltiples beneficios, principalmente en el ámbito ambiental, al contribuir a la restauración del ciclo hidrológico. Sin embargo, su implementación enfrenta desafíos significativos, especialmente en regiones con baja precipitación, como la Zona Metropolitana de San Luis Potosí (ZMSLP).

Además, los costos económicos representan otra barrera, en particular cuando la cosecha de agua de lluvia es malinterpretada como un concepto limitado exclusivamente a la instalación de Sistemas de Captación de Agua de Lluvia (SCALL). Por ello, presentar una iniciativa que incorpore incentivos fiscales y programas de apoyo que faciliten la dotación de infraestructura a la población requiere de una interpretación política local, dado que existen actores políticos que podrían influir o incluso obstruir el progreso de iniciativas de esta naturaleza.

En este contexto, se identifica una importante área de oportunidad para desarrollar iniciativas más sólidas y de alcance constitucional local. Estas iniciativas permitirían fomentar una colaboración más amplia entre autoridades, el sector privado, la academia y la sociedad civil. Además, al enmarcarlas dentro de una perspectiva jurídica bien definida, se fortalecería la gobernanza, promoviendo un enfoque integral y participativo en la implementación de soluciones.

No obstante, esta iniciativa también contribuye a regular de manera integral la cosecha de agua pluvial y de lluvia. El estudio que la respalda se enfocó en la ZMSLP, la región con mayor población del estado, pero también una de las de menor precipitación. Aunque este contexto evidencia la necesidad de regulación en áreas urbanas áridas, el potencial de aplicación es aún mayor en zonas más húmedas, como la huasteca potosina. En dichas regiones, análisis similares podrían fortalecer los marcos legales locales y, con base en las condiciones climáticas específicas,

permitir la elaboración de manuales adaptados a cada región. Para avanzar en esta dirección, resulta fundamental la participación de la academia y el sector social en la formulación de estrategias y planes hídricos a nivel municipal, regional y estatal.

A manera de cierre y perspectivas a largo plazo, es importante reconocer que la gestión del agua de lluvia y pluvial tiene el potencial de evolucionar hacia proyectos más innovadores y sostenibles, como los enfocados en el concepto de **Ciudades Esponja** (SCP, por sus siglas en inglés). Este enfoque no solo busca gestionar eficientemente el agua pluvial y de lluvia, sino que también promueve la recarga natural de acuíferos mediante el uso de infraestructuras verdes e infraestructura sostenible, como pavimentos permeables, jardines de lluvia, humedales artificiales y zanjas de infiltración, por mencionar algunas tipologías de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS).

La transición hacia SCP representa una oportunidad para integrar la cosecha de agua en un modelo urbano más resiliente, donde el agua no solo sea aprovechada para riego y limpieza, sino también para mitigar inundaciones, restaurar ecosistemas locales y mejorar la disponibilidad de agua subterránea en el largo plazo. Para lograrlo, es fundamental incorporar estrategias que vinculen la recarga de acuíferos con la planificación urbana, apoyadas por políticas públicas integrales que fomenten la colaboración interinstitucional, incentivos económicos y la educación de la población sobre los beneficios de estos proyectos.

De esta manera, la cosecha de agua puede trascender de ser una herramienta de mitigación local a convertirse en un pilar clave en la construcción de ciudades más sostenibles, resilientes y conscientes de sus recursos hídricos, teniendo el potencial de colocar al estado de San Luis Potosí como uno de los primeros estados con este enfoque, además de la Ciudad de México que ha comenzado a migrar a este concepto.

Referencias bibliográficas

- Agarwal, A., & Narain, S. (2012). *Dying Wisdom: Rise, fall and potential of India's traditional water harvesting systems* (Vol. 4). State of India's environment. <https://www.downtoearth.org.in/environment/dying-wisdom-23331>
- Agatón, A., Córdoba, J., & Carreño, U. (2016). Revisión del estado de arte en captación y aprovechamiento de aguas lluvias en zonas urbanas y aeropuertos. *Tecnura*, 20(50), 141–153.
- Ahmed, S. (2000). *Indigenous water harvesting systems in Pakistan*.
- Andrés-Doménech, I., Hernández-Crespo, C., Martín, M., & Andrés-Valeri, V. C. (2018). Characterization of wash-off from urban impervious surfaces and SuDS design criteria for source control under semi-arid conditions. *Science of The Total Environment*, 612, 1320–1328. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.011>
- Avelar, J., Sánchez, J., Domínguez, A., Lobato, C., & Mancilla, O. (2019). Validación de un prototipo de sistema captación de agua de lluvia para uso doméstico y consumo humano. *IDESIA*, 37(1), 53–59.
- Ayuntamiento de Madrid. (2006). Ordenanza de Gestión y Uso Eficiente del Agua en la Ciudad de Madrid. In ANM 2006\50. <https://www.madrid.es/UnidadWeb/UGNormativas/Normativa/2006/Ficheros/ANM200650.pdf>
- Campos, D. (2007). *Estimación y aprovechamiento del escurrimiento* (Primera edición).
- Campos, D. (2010). *Introducción a la hidrología urbana*.
- Canal del Congreso. (16 de noviembre de 2022). *Avalan reformas para implementar procesos de captación de agua de lluvia*.
- CDC. (2022). *Recolección de agua de lluvia*. Drinking Water.
- Chávez, G. (2012). *Sistema de captación y aprovechamiento de agua de lluvia con fines de consumo humano. Caso de estudio: municipio de Zaragoza, San Luis Potosí* [Tesis de Maestría]. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Chow, V., Maidment, D., & Mays, L. (1988). *Applied hydrology* (International). https://ponce.sdsu.edu/Applied_Hydrology_Chow_1988.pdf
- Cobos, C., Tábora, F., & Carias, C. (2017). *Recomendaciones para la implementación de prácticas y políticas relacionadas con los sistemas de cosecha de aguas de lluvias frente al cambio climático*. https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cam_files/recomendaciones-scall.pdf
- Código San Luis. (22 de febrero de 2024). *Más de 260 familias de Bocas, beneficiadas con los programas “Con mi Cisterna Sí” y “Sí al Agua.”* <https://www.codigosanluis.com/familias-bocas-beneficiadas-agua/>

- Colegio de Ciencias y Humanidades UNAM (CCH-UNAM). (2 de julio de 2024, July 2). *México-Tenochtitlán. Historia de México 1. Cultura Mexica*. <https://e1.portalacademico.cch.unam.mx/alumno/historiademexico1/unidad2/culturamexica/mexicotenochtitlan#:~:text=Al%20igual%20que%20Teotihuac%C3%A1n%2C%20la,alrededor%20de%20150%20mil%20habitantes>.
- Comisión Estatal del Agua. (2016). *Convenio de colaboración para la ejecución de la obra con recursos derivados del ramo 33 y 16 de la federación*. https://www.municipiodesanantonio.gob.mx/contratos_AER/03042017/CONVENIO%20P ARA%20LA%20CONSTRUCCION%20DE%20AGUA%20LLUVIA%20PROCAPTAR.pdf
- Comisión Estatal del Agua. (2018). *Programa de obra 2018*. http://www.ceaslp.gob.mx/armonizacion/01_informacion_financiera/20/2018/if_20_2018_03.pdf
- Comisión Estatal del Agua. (2021). *Programa hídrico del estado de San Luis Potosí al 2021. Visión 2045*.
- Comisión Nacional del Agua. (2023a). *Catálogo general de precios unitarios*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/797627/CATALOGO_GENERAL_DE_P RECIOS_UNITARIOS_UR_2023.pdf
- Comisión Nacional del Agua. (2023b). *Catálogo general de precios unitarios para la construcción de sistemas de agua potable y alcantarillado*. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/808977/Cat logo Gral AP de PU para cons de sist de AP y Alcan 2023.pdf>
- Comisión Nacional del Agua. (2023c). *Guía técnica para el diseño: sistema de captación de agua de lluvia a nivel vivienda*. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/791592/GUIA TECNICA PARA EL D ISE O SISTEMA DE CAPTACION DE AGUA DE LLUVIA.pdf>
- CONAGUA. (2019a). El agua en el mundo. In Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Ed.), *Estadística del agua en México, edición 2019* (2011th ed., pp. 163–182).
- CONAGUA. (2019b). *Estadísticas del Agua en México*. http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM_2019.pdf
- CONAGUA. (2020). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero San Luis Potosí (2411), Estado de San Luis Potosí*.
- CONAVI. (2017). *Código de edificación y vivienda 3a edición* (3a edición). <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/383811/C digo de Eficaci n Vivienda 2017 SEDATU.pdf>
- Congreso del Estado de San Luis Potosí. (2023). *Ley de Aguas para el Estado de San Luis Potosí*.
- COTAS. (2021). *Plan hídrico. Altiplano de San Luis Potosí*.

- de la Fuente, L., Perales, S., Rico, M., Doménech, I., & Marco, J. (2021). *Guía básica para el diseño de sistemas urbanos de drenaje sostenible en la Ciudad de València*. https://www.ciclointegraldelagua.com/files/normativa/Guia_Basica_para_el_Disenio_de_Sistemas_Urbanos_de_Drenaje_Sostenible_en_la_Ciudad_de_Valencia_V01.pdf
- Decreto 0607- Ley de Cuotas y Tarifas Para La Prestación de Servicios Públicos Del Organismo Operador Intermunicipal Metropolitano de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento y Servicios Conexos de Los Municipios de Cerro de San Pedro, San Luis Potosí y Soledad de Graciano Sánchez, S.L.P., Pub. L. No. 0528, Periódico Oficial del Gobierno del Estado (2022).
[http://www.cegaipslp.org.mx/HV2022Dos.nsf/nombre_de_la_vista/CADC43714616B5C8062589DA004D4718/\\$File/DECRETO+0607+CUOTAS+Y+TARIFAS+DEL+INTERAPA+S+2023+\(27-DIC-2022\).pdf](http://www.cegaipslp.org.mx/HV2022Dos.nsf/nombre_de_la_vista/CADC43714616B5C8062589DA004D4718/$File/DECRETO+0607+CUOTAS+Y+TARIFAS+DEL+INTERAPA+S+2023+(27-DIC-2022).pdf)
- Díaz de León, O. (2017). *Aplicación de tecnologías apropiadas para mejorar el abastecimiento y la calidad del agua en comunidades rurales* [Tesis de Maestría]. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Enkerlin, E., Cano, G., Garza, R., & Vogel, E. (1997). *Ciencia ambiental y desarrollo sostenible* (A. Correa, Ed.).
- Escobar, B. (2006). La cuenca Lerma-Chapala. El agua de la discordia. *Gestión y Política Pública*, 15(2), 369–392.
- EVALÚA. (2022). *Proyecto de investigación: política ambiental de la Ciudad de México 2018-2022*.
- Félix, J. (2024). *Evaluación de la problemática de abastecimiento y saneamiento del agua en el área periurbana del poniente de la ciudad de San Luis Potosí* [Tesis de Maestría]. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Ferrans, P., & Temprano, J. (2022). Continuous Quantity and Quality Modeling for Assessing the Effect of SUDS: Application on a Conceptual Urban Drainage Basin. *Environmental Processes*, 9(4), 58. <https://doi.org/10.1007/s40710-022-00609-4>
- Ferrans, P., Torres, M., Temprano, J., & Rodríguez, J. (2022). Sustainable Urban Drainage System (SUDS) modeling supporting decision-making: A systematic quantitative review. *Science of The Total Environment*, 806(2), 150447.
- García, M. (2009). *La hidrología, el ciclo del agua, la contaminación del agua, métodos de análisis y depuración. El problema del agua*. https://www.researchgate.net/profile/Manuel-Rodriguez-80/publication/263925744_La_hidrosfera_El_ciclo_del_agua_La_contaminacion_del_agua_Metodos_de_analisis_y_depuracion_El_problema_de_la_escasez_del_agua/links/5486d67c0cf2ef34478c2e1e/La-hidrosfera-El-ci

- Gleason, J., Díaz, V., Córdova, F., Martínez, A., Herbiet, L., Lomnitz, E., Serrano, S., Vargas, D., & García, H. (2021). *Captación y aprovechamiento de agua de lluvia. Una introducción* (Trillas).
- Global Water Partnership. (2012). *Rainwater harvesting in Trinidad*. Caribbean. <https://www.gwp.org/en/About/more/news/News-and-Activities/News-and-Activities-GWP-Caribbean/Rainwater-Harvesting-in-Trinidad/>
- Gómez, S. (27 de septiembre de 2023). *Presentan iniciativa para aprovechar el agua de lluvia en la CDMX; este es el plan*. Proceso. <https://www.proceso.com.mx/nacional/cdmx/2023/9/27/presentan-iniciativa-para-aprovechar-el-agua-de-lluvia-en-la-cdmx-este-es-el-plan-315711.html>
- Guerrero-De Leon, A., Gerritsen, P., Martínez-Rivera, L., Salcido-Ruíz, S., Meza-Rodríguez, D., & Bustos-Santana, H. (2010). Gobernanza y participación social en la gestión del agua en la microcuenca El Cangrejo, en el municipio de Autlán de Navarro, Jalisco, México. *Economía, Sociedad y Territorio*, 10(33), 541–567.
- H. Congreso del Estado de San Luis Potosí. (2024a). Constitución Política del Estado Libre y Soberano de San Luis Potosí . In *Instituto de Investigaciones Legislativas, Unidad de Informática Legislativa*. Congreso del Estado. [https://congresosanluis.gob.mx/sites/default/files/unpload/legislacion/constitucion/2024/05/Constitucion Politica del Estado 16 Mayo 2024.pdf](https://congresosanluis.gob.mx/sites/default/files/unpload/legislacion/constitucion/2024/05/Constitucion%20Politica%20del%20Estado%2016%20Mayo%202024.pdf)
- H. Congreso del Estado de San Luis Potosí. (2024b). Ley Orgánica del Poder Legislativo de Estado de San Luis Potosí. In *Instituto de Investigaciones Legislativas, Unidad de Informática Legislativa*. [https://congresosanluis.gob.mx/sites/default/files/unpload/legislacion/leyes/2024/09/Texto Oficial ley Org Congreso 21 Agosto 2024.pdf](https://congresosanluis.gob.mx/sites/default/files/unpload/legislacion/leyes/2024/09/Texto%20Oficial%20ley%20Org%20Congreso%2021%20Agosto%202024.pdf)
- H. Congreso del Estado de San Luis Potosí. (2024c). Reglamento del Congreso del Estado de San Luis Potosí. In *Instituto de Investigaciones Legislativas, Unidad de Informática Legislativa*. [https://congresosanluis.gob.mx/sites/default/files/unpload/legislacion/reglamentos/2024/09/Texto Oficial Reglamento Congreso 21 Ago 2024.pdf](https://congresosanluis.gob.mx/sites/default/files/unpload/legislacion/reglamentos/2024/09/Texto%20Oficial%20Reglamento%20Congreso%2021%20Ago%202024.pdf)
- Harris, M. (2016, April 22). *Assembly Bill A9890*. <https://www.nysenate.gov/legislation/bills/2015/2015-a9890>
- Hernández, M. (2018). *Esta plataforma te dice en qué parte de tu casa gastas más agua*. Forbes.
- Hernández, M. (2024a). *Análisis de factibilidad para implementar sistemas urbanos de drenaje sostenible en la zona industrial de San Luis Potosí* [Tesis de Maestría]. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Hernández, M. (2024b). *Análisis de factibilidad para implementar sistemas urbanos de drenaje sostenible en la zona industrial de San Luis Potosí*. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

- Hernández, R., López, L., Lozano, J., & Vildosola, M. (2017). *Rehabilitación de ríos urbanos a través de la infraestructura verde. Caso Río Santiago, San Luis Potosí, S. L. P.* [Universidad Autónoma de San Luis Potosí]. <https://repositorioinstitucional.uaslp.mx/xmlui/bitstream/handle/i/6124/TesisM.FH2017.Rehabilitaci%C3%B3n.Hern%C3%A1ndez.pdf?sequence=1>
- Holden. (19 de febrero de 2016). *Proyecto de ley de la Asamblea AB 2525 por el que se crea el fondo de Paisajismo eficiente en el uso del agua.* http://www.leginfo.ca.gov/pub/15-16/bill/asm/ab_2501-2550/ab_2525_bill_20160418_amended_asm_v97.html
- Hufty, M. (2008). Una propuesta para concretar el concepto de gobernanza: el marco analítico de la gobernanza. In *Gobernabilidad y gobernanza en los territorios de América Latina*.
- Hutchinson, A. (2010). *Rain water harvesting – Case studies from the Barbados experience*. Carpha.Org. https://carpha.org/saintlucia/Rain/Rainwater%20Harvesting%20Toolbox/Media/Print/A_Hutchinson_RWH_barbados.pdf
- INEGI. (2020a). *En San Luis Potosí somos 2 822 255 habitantes: censo de población y vivienda 2020.* https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2021/EstSociodemo/ResultCenso2020_SLP.pdf
- INEGI. (2020b). *Espacio y datos de México.* Sistema de Consulta. <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/espacioydatos/default.aspx>
- INEGI. (2020c). *Presentación de resultados San Luis Potosí.* https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ccpv/2020/doc/cpv2020_pres_res_slp.pdf
- INEGI. (2020d). *Principales resultados por AGEB y manzana urbana 2020.* Censo de Población y Vivienda 2020. <https://www.inegi.org.mx/app/scitel/Default?ev=10>
- INEGI. (3 de mayo de 2023). *Mapas.* Sistema de Consultas. <https://www.inegi.org.mx/app/mapas/default.html?t=193&ag=20>
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. (2022). *¿Cómo hacer un sistema de captación de agua de lluvia (SCALL) en mi escuela?* Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. https://www.imta.gob.mx/gobmx/DOI/libros/2022/ECOTECNIAS_SCALL.pdf
- INTERAPAS. (2022). Manual de procedimientos para la autorización, diseño y construcción de las redes de agua potable, drenaje sanitario y escurrimientos pluviales en fraccionamientos 2022. In *INTERAPAS*.
- INTERAPAS. (2023a). *Implementa INTERAPAS tecnología de eficiencia para detectar fugas de agua no visibles.* Nuevo INTERAPAS Prensa. <https://interapas.mx/implementa-interapas-tecnologia-de-eficiencia-para-detectar-fugas-de-agua-no-visibles/>
- INTERAPAS. (22 de agosto de 2023b). *Agua potable.* <https://interapas.mx/nosotros-2/121-2-3/>

- INTERAPAS. (23 de octubre de 2023c). *El 75% de los habitantes de la zona metropolitana de SLP pagan a \$5.00 pesos el metro cúbico (1,000 litros de agua)*. [https://interapas.mx/22-noviembre-2019-2/#:~:text=Mientras%20que%20al%20organismo%20operador,1%2C000%20litros\)%20a%20%249.56%20pesos.](https://interapas.mx/22-noviembre-2019-2/#:~:text=Mientras%20que%20al%20organismo%20operador,1%2C000%20litros)%20a%20%249.56%20pesos.)
- INTERAPAS. (24 de octubre de 2023d). *Agua distribuida por Interapas en la ZMSLP, de las más baratas del país*. <https://interapas.mx/26-febrero-19-2-2/#:~:text=Indic%C3%B3%20que%20la%20zona%20metropolitana,tiene%20un%20costo%20de%2028>
- Joshi, P., Leitão, J. P., Maurer, M., & Bach, P. M. (2021). Not all SuDS are created equal: Impact of different approaches on combined sewer overflows. *Water Research*, 191, 116780. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116780>
- JUMAPAM. (25 de febrero de 2023). *Distribución de agua en el planeta*. Cultura Del Agua.
- Lambrechts, H. A., Paparrizos, S., Brongersma, R., Kroeze, C., Ludwig, F., & Stoof, C. R. (2023). Governing wildfire in a global change context: lessons from water management in the Netherlands. *Fire Ecology*, 19(1), 6. <https://doi.org/10.1186/s42408-023-00166-7>
- Lashford, C., Charlesworth, S., Warwick, F., & Blackett, M. (2020). Modelling the Role of SuDS Management Trains in Minimising Flood Risk, Using MicroDrainage. *Water*, 12(9), 2559. <https://doi.org/10.3390/w12092559>
- López-Hernández, N., Palacios-Vélez, O., Anaya-Garduño, M., Chávez-Morales, J., Rubiños-Panta, J., & García-Carrillo, M. (2017). Diseño de sistemas de captación del agua de lluvia: alternativa de abastecimiento hídrico. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(6), 1433–1439.
- Ma, Y., Xia, X., Liang, Q., & Wan, H. (2022). Investigating the Impact of Spatial Distribution of Sustainable Drainage System (SuDS) Components on Their Flood Mitigation Performance in Communities with High Groundwater Levels. *Water*, 14(9), 1367. <https://doi.org/10.3390/w14091367>
- Maguey, H. (2018). *Crisis del agua*. GACETA UNAM. <https://www.gaceta.unam.mx/crisis-agua-industria/>
- Martínez-Austria, P., & Vargas-Hidalgo, A. (2016). Modelo dinámico adaptativo para la gestión del agua en el medio urbano. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 7(4), 2007–2422.
- Marx, K. (1873). *El Capital. Libro primero, el proceso de producción del capital.: Vol. Tomo I* (F. Engels, Ed.).
- Minister of Health and the Environment. (2015). *Antigua & Barbuda's 2015-2020 national action plan: combatting desertification, Land degradation & drought*. <https://info.undp.org/docs/pdc/Documents/ATG/NAP%202015-20%20ANU.pdf>

- Ministerio de Agricultura y Pesca, A. y M. A. (29 de diciembre de 2016). *Real Decreto 638/2016, de 9 de diciembre, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, el Reglamento de Planificación Hidrológica, aprobado por el Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, y otros reglamentos en materia de gestión de riesgos de inundación, caudales ecológicos, reservas hidrológicas y vertidos de aguas residuales.* https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2016-12466
- Ministerio para la transición ecológica. (2019). *Guía de adaptación al riesgo de inundación: sistemas urbanos de drenaje sostenible.* https://www.miteco.gob.es/content/dam/mitesco/es/agua/temas/gestion-de-los-riesgos-de-inundacion/guia-adaptacion-riesgo-inundacion-sistemas-urbano-drenaje-sostenible_tcm30-503726.pdf
- Monforte, G., & Cantú, P. (2015). Escenario del agua en México. *Cultura Científica y Tecnológica*, 30, 31–40.
- Montero, D. (2007). Capitalismo, transnacionales y agua. La gran encrucijada en el siglo XXI. In A. Guillén (Ed.), *Economía y sociedad en América Latina: entre la globalización, la regionalización y el cambio estructural* (pp. 289–319).
- Naciones Unidas. (7 de febrero de 2014). *El derecho humano al agua y al saneamiento.* Bienvenido a Las Naciones Unidas. Son Su Mundo. https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/human_right_to_water.shtml
- Ndeketeya, A., & Dundu, N. (2022). Alternative water sources as a pragmatic approach to improving water security. *Resources, Conservation & Recycling Advances*, 13. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2022.200071>
- Norma Mexicana. Edificación Sustentable- Criterios y Requerimientos Ambientales Mínimos NMX-AA-164-SCFI-2013, NMX-AA-164-SCFI-2013 (2023). <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFsr/DO3156.pdf>
- Oficina del Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Derechos Humanos. (2023). *Acerca de la buena gobernanza y los derechos humanos.* El ACNUDH y La Buena Gobernanza. <https://www.ohchr.org/es/good-governance/about-good-governance#:~:text=El%20concepto%20de%20gobernanza%20hace,al%20conjunto%20de%20la%20sociedad.>
- ONU. (2023a). *Acerca de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible.* Agenda 2023. <https://www.cepal.org/es/temas/agenda-2030-desarrollo-sostenible/acerca-la-agenda-2030-desarrollo-sostenible>
- ONU. (2023b). *Objetivo 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos.* Objetivos de Desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>

- Organismo Intermunicipal De Agua Potable, A. S. y S. (2022). *Informe anual 2022*. https://interapas.mx/wp-content/uploads/2023/04/InformeINTERAPAS-2022_compressed.pdf
- Organización Panamericana de la Salud. (2004). *Guía de diseño para captación de agua de lluvia*. https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/OPS%202004.%20Guia%20de%20dise%C3%B1o%20para%20captaci%C3%B3n%20del%20agua%20de%20lluvia.pdf
- Ortíz, S., de Barros, P., & Castier, M. (2022). Rainwater harvesting for domestic applications: The case of Asunción, Paraguay. *Results in Engineering*, 16. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590123022003085?fr=RR-2&ref=pdf_download&rr=7ba6a6007b064754
- Pandey, D., Gupta, A., & Anderson, D. (2003). Rainwater harvesting as an adaptation to climate change. *Current Science*, 85(1), 46–59.
- Parada-Molina, P., Suárez, A., Jiménez, J., Cervantes, J., & Silva, L. (2020). Drenaje urbano sostenible: una alternativa para Xalapa, Veracruz, México. *Sociedad y Ambiente*, 23, 1–23.
- Pérez, A. (2021). *Análisis de factibilidad de sistemas urbanos de drenaje sostenible para su implementación en la Zona Metropolitana de San Luis Potosí*. Centro de Investigación y Estudios de Posgrado, Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Perez, N. (2018). *Aplicación y evaluación de tecnologías apropiadas para abastecer y mejorar la calidad del agua en comunidades periurbanas* [Tesis de Maestría]. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Perez, N. (2024). *Desarrollo de un modelo de sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS), para el aprovechamiento del recurso hídrico en el valle de San Luis Potosí* [Tesis de Doctorado]. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Perez, N., Cisneros, R., & Durán, H. (2022). Revisión de la ocurrencia de inundaciones en la ciudad de San Luis Potosí, S.L.P. en el periodo 2014-2021. *DECUMANUS. Revista Interdisciplinaria Sobre Estudios Urbanos*, 10(10).
- Ponce de León, C. (2022). *Evaluación del desempeño de sistemas de drenaje pluvial convencional incorporando sistemas urbanos de drenaje sostenible, en la zona metropolitana de San Luis Potosí*. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Procuraduría Federal del Consumidor. (enero de 2021). *Quién es quién en los precios. Materiales de construcción región noreste-periodo enero de 2021*. https://qqpmc.profeco.gob.mx/detalle.php?id=3&id_edo=3
- Pulso. (11 de octubre de 2024). Pozos firma convenio con INTERAPAS para asegurar suministro de agua. *Pulso*. <https://pulsoslp.com.mx/slp/interapas-y-villa-de-pozos-firman-convenio-para-servicio-de-agua/1856718>
- Restrepo, M. (2006). Producción más Limpia en la Industria Alimentaria. *Producción + Limpia*, I, 87–101.

http://repository.unilasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/217/1/PL_V1_N1_87_PL_IN_DUSTRIA_ALIMENTARIA.pdf

- Ruiz-Campillo, X. (2023). Sostenibilidad, cambio climático y ¿biodiversidad?: el apoyo de las redes municipales transnacionales a la gobernanza medioambiental. *Oasis*, 38, 29–46. <https://doi.org/10.18601/16577558.n38.03>
- Sagrelus, P. Ö., Blecken, G., Hedström, A., Ashley, R., & Viklander, M. (2023). Sustainability performance of bioretention systems with various designs. *Journal of Environmental Management*, 340, 117949. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117949>
- Secretaría de Desarrollo Agropecuario y Recursos Hidráulicos. (4 de febrero de 2022). *Sedarh inicia proyecto para captación de agua en Cerritos*. Gobierno Del Estado 20221-2027. <https://slp.gob.mx/sitionuevo/Paginas/Noticias/2022/FEBRERO/040222/Sedarh-inicia-proyecto-para-captaci%C3%B3n-de-agua-en-Cerritos.aspx>
- Secretaría de Trabajo y Previsión Social. (1 de enero de 2023). *Entran en vigor salarios mínimos 2023 en todo el país*. Boletín Número 001/2023. <https://www.gob.mx/stps/prensa/entran-en-vigor-salarios-minimos-2023-en-todo-el-pais?idiom=es>
- Secretaría del Medio Ambiente. (octubre de 2024). *Cosecha de Lluvia*. Gobierno de La Ciudad de México. <https://www.sedema.cdmx.gob.mx/programas/programa/cosecha-de-lluvia#:~:text=La%20Cosecha%20de%20lluvia%20es,M%C3%A9xico%20como%20al%20medio%20ambiente>.
- Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México (SEDEMA). (2020). *Cosechar la lluvia. Manual para instalar un sistema de captación pluvial en tu vivienda*. <https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/DGCPCA/ManualCosecharLaLluvia.pdf>
- SEMARNAT. (2015). *NOM-011-CONAGUA-2015, Conservación del recurso agua-Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales*. DOF.
- Stretton, H. (1978). *Planificación urbana en países ricos y países pobres* (En español). Oxford University Press.
- Tapia, O. (noviembre de 2016). Modelado Geoespacial Conceptual aplicado a definición del potencial de captación de agua de lluvia en una megalópolis en crisis. *Congreso Nacional de Ciencias Geoespaciales Ciudad de México*.
- UNAM. (octubre de 2014). Calidad del Agua. *Impluvium*, 2–4. <http://www.agua.unam.mx/assets/pdfs/impluvium/numero03.pdf>
- UNEP Copenhagen Climate Centre. (2022). *Community scale rainwater harvesting systems and storage*. <https://tech-action.unepccc.org/wp-content/uploads/sites/2/2022/02/water-resources-policy-brief-jamaica.pdf>

- Villalpando Flores, A. E., & Bustos Aguayo, J. M. (2023). La naturaleza urbana en las ciudades contemporáneas. La importancia del diseño biofílico en la salud pública. *Academia XXII*, 14(28), 8–29. <https://doi.org/10.22201/fa.2007252Xp.2023.14.28.87234>
- WSP. (1 de julio de 2024). *Modelado hidráulico e hidrológico*. Modelado Hidráulico e Hidrológico. <https://www.wsp.com/es-mx/servicios/hydraulic-and-hydrological-modelling>
- Wu, W., Jamali, B., Zhang, K., Marshall, L., & Deletic, A. (2023). Water Sensitive Urban Design (WSUD) Spatial Prioritisation through Global Sensitivity Analysis for Effective Urban Pluvial Flood Mitigation. *Water Research*, 235, 119888. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2023.119888>
- Zubelzu, S., Rodríguez-Sinobas, L., Sordo-Ward, A., Pérez-Durán, A., & Cisneros-Almazán, R. (2020). Multi-Objective Approach for Determining Optimal Sustainable Urban Drainage Systems Combination at City Scale. The Case of San Luis Potosí (México). *Water*, 12(3), 835. <https://doi.org/10.3390/w12030835>

Anexos

Anexo 1

Encuesta a la sociedad sobre la percepción de la problemática del agua

Información Sociodemográfica.

1. ¿Cuál es su rango de edad?
2. ¿Con qué género se identifica?
3. ¿Cuál es su grado de estudios?
4. ¿Cuál es su ocupación?

Territorio y Problemas del Agua.

5. Municipio de residencia.
6. Colonia de residencia.
7. ¿Experimenta problemas de abastecimiento de agua potable en su domicilio?
8. Si la respuesta anterior es **Frecuentemente** o **Rara vez**, pudiera decir cada cuando recibe este recurso en su hogar

Gestión y Gobernanza del Agua

9. ¿Cuáles cree que son los principales problemas de gestión del agua potable en donde reside?
10. Referente a la pregunta anterior, ¿cree que hay algún otro problema?
11. ¿Cuál cree que es el papel actual de los ciudadanos en la gestión del agua?
12. ¿Conoce alguna estrategia (tecnológica o servicio) para contribuir con acciones individuales o colectivas para el uso eficiente del agua?
13. Si la respuesta anterior es Si, ¿cuáles?
14. ¿Cuál es su percepción de la eficacia de las decisiones tomadas por los gobiernos a nivel federal, estatal y municipal?
15. ¿Quién cree que tiene mayor poder político en la toma de decisiones sobre la gestión del agua de la que usted depende?
16. Del sector gubernamental ¿considera que hay actores importantes que actualmente rigen la gestión del agua? ¿Quiénes?

Anexo 2

Encuesta a actores sobre la problemática del agua

Información General (opcional)

1. Nombre:
2. Cargo:

Gestión del Agua:

3. ¿Cuál es su opinión sobre los principales desafíos en la gestión del agua en la zona metropolitana de San Luis Potosí o el municipio al que sirve?
4. ¿Cuáles son las medidas o proyectos actuales que considera más relevantes que se están abordando para atender la escasez del agua y mejorar la calidad del recurso en la zona?
5. ¿Cómo considera que se pueden promover prácticas más sostenibles y eficientes en el uso del agua?

Gobernanza:

6. ¿Cuál es su visión sobre la participación ciudadana en la toma de decisiones relacionadas con el agua y la planificación urbana en la zona metropolitana de SLP o el municipio al que sirve? (hay, no hay, es necesaria...)
7. ¿Cómo considera que se pueden fortalecer los mecanismos de participación ciudadana en la toma de decisiones relacionadas con el medio ambiente y la gestión del agua?
8. ¿Cómo evalúa la efectividad de los actuales mecanismos de consulta pública en proyectos de infraestructura hídrica y ambiental? (si existieran)
9. ¿Cómo garantizaría la transparencia y la rendición de cuentas en la gestión de los recursos hídricos?
10. ¿Cuáles son las estrategias que considera relevantes y/o necesarias para fomentar la colaboración entre diferentes niveles de gobierno y otros actores para abordar los problemas del agua de manera integral?

Actores:

11. ¿Cuál considera que es el papel específico del gobierno federal, estatal y municipal en la gestión del agua en la zona metropolitana? Federal: Estatal: Municipal:
12. ¿Qué acciones concretas se han tomado para involucrar al sector privado y a la sociedad civil en la solución de los problemas relacionados con el agua?

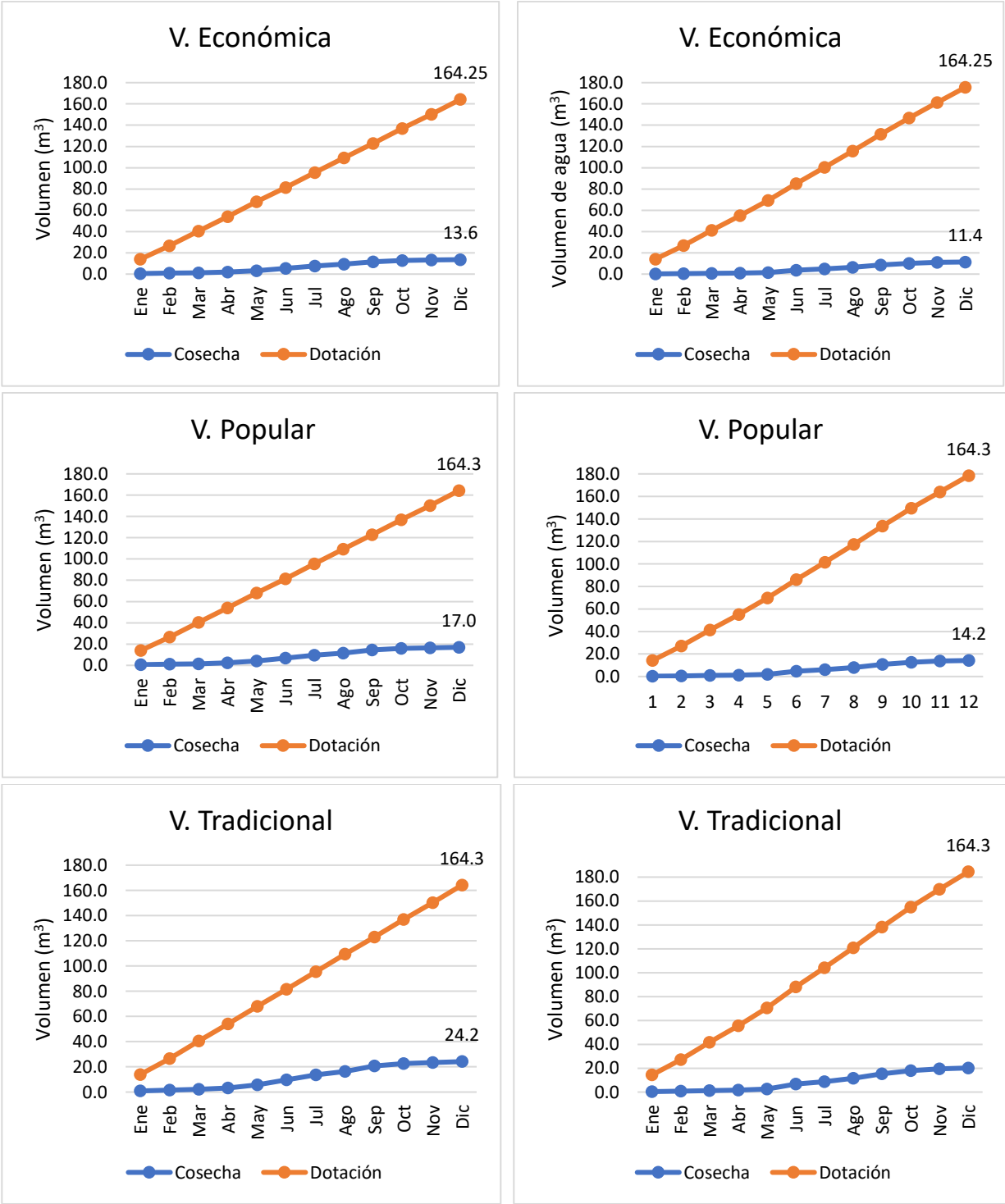
13. ¿Cuáles son los principales desafíos y oportunidades para lograr una colaboración efectiva entre los diferentes actores involucrados en la gestión del agua? (gobierno, ONG, sociedad civil, sector privado)

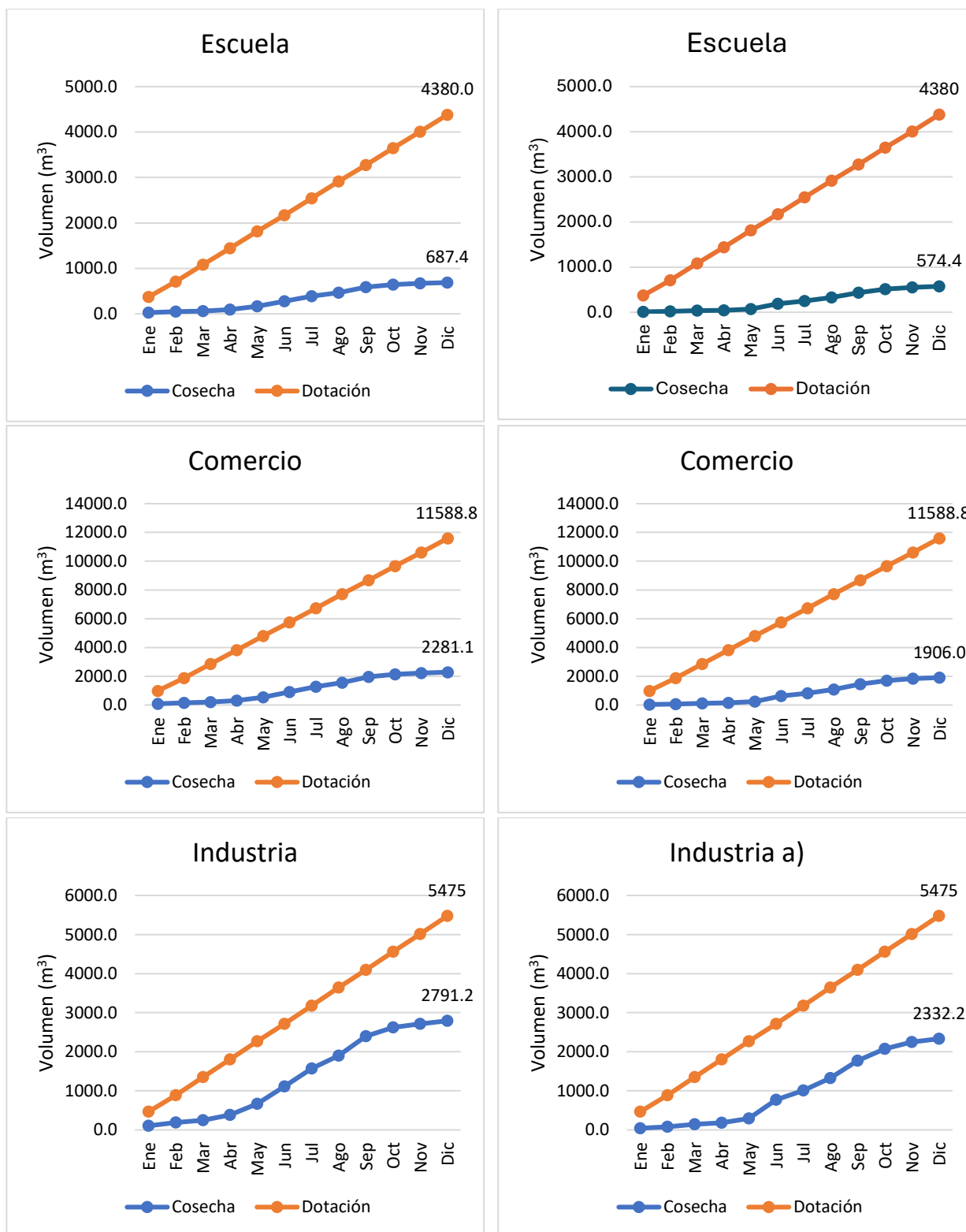
Soluciones:

14. ¿Cuáles cree que son las soluciones más inmediatas para garantizar el acceso al agua a la población?
15. ¿Qué medidas cree pertinentes ir implementando para mediano o largo plazo para atender esta problemática?
16. ¿Por qué cree que no se han implementado aún las estrategias que pudieran ser relevantes para garantizar el acceso al agua? (impedimentos)
17. ¿Cuáles considera que son los mayores obstáculos para la implementación efectiva de políticas de gestión del agua y proyectos de preservación ambiental?
18. 16. ¿Qué obstáculos ha enfrentado al proponer la implementación de políticas para garantizar el acceso al agua y un medio ambiente sano?

Anexo 3

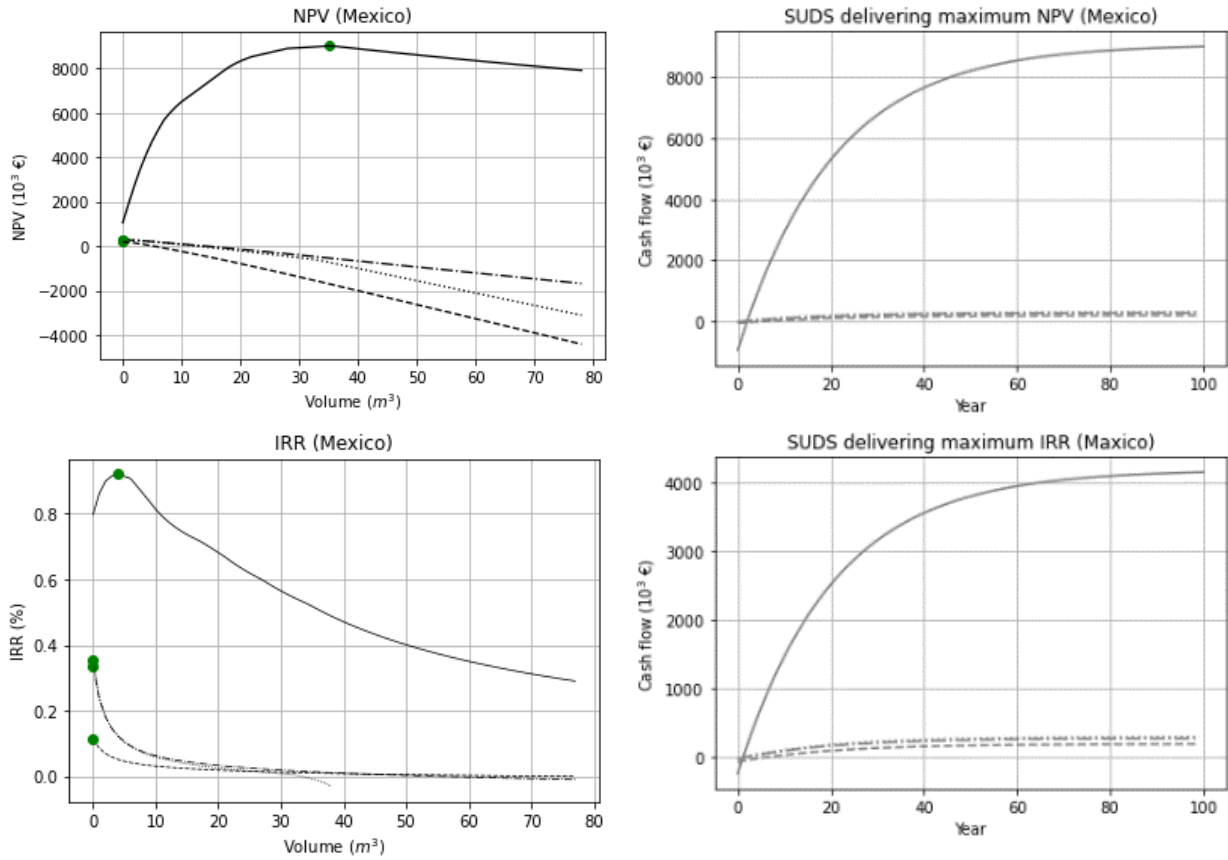
Agua cosechada acumulada anual, izquierda precipitación por isoyetas y derecha ESIME S.L.P.





Anexo 4

Valor actual neto (VAN) y evolución de los flujos de caja de las soluciones VAN-TIR máximos



- Embalse impermeable, línea continua.
- Jardín de lluvia, guion punto guion.
- Zanja de infiltración, punteada.
- Pozo de infiltración, guion.

Anexo 5*Plan de incremento anual de cobertura de sistemas de captación de agua de lluvia al 25%*

Año	% cobertura	Tipo de viviendas			Total
		Económica	Popular	Tradicional	
2020	-	-	-	-	0
2021	-	-	-	-	0
2022	-	-	-	-	0
2023	-	-	-	-	0
2024	-	-	-	-	0
2025	5	693	693	924	2310
2026	10	705	705	941	2351
2027	15	718	718	957	2393
2028	20	731	731	975	2437
2029	25	744	744	992	2480
2030	25	32	32	43	107
2031	25	33	33	43	109
2032	25	33	33	44	110
2033	25	33	33	44	110
2034	25	34	34	45	113
2035	25	34	34	45	113
2036	25	34	34	45	113
2037	25	34	34	46	114
2038	25	35	35	46	116
2039	25	35	35	47	117
2040	25	35	35	47	117
2041	25	36	36	48	120
2042	25	36	36	48	120
2043	25	36	36	48	120
2044	25	37	37	49	123
2045	25	37	37	49	123
2046	25	37	37	50	124
2047	25	38	38	50	126
2048	25	38	38	51	127
2049	25	38	38	51	127
2050	25	39	39	52	130

Plan de incremento anual de cobertura de sistemas de captación de agua de lluvia al 50%

Año	% cobertura	Tipo de viviendas			Total
		Económica	Popular	Tradicional	
2020	-	-	-	-	0
2021	-	-	-	-	0
2022	-	-	-	-	0
2023	-	-	-	-	0
2024	-	-	-	-	0
2025	10	1386	1386	1848	4620
2026	20	1411	1411	1881	4703
2027	30	1436	1436	1915	4787
2028	40	1462	1462	1949	4873
2029	50	1488	1488	1984	4960
2030	50	65	65	86	216
2031	50	65	65	87	217
2032	50	66	66	88	220
2033	50	66	66	89	221
2034	50	67	67	89	223
2035	50	68	68	90	226
2036	50	68	68	91	227
2037	50	69	69	92	230
2038	50	69	69	93	231
2039	50	70	70	93	233
2040	50	71	71	94	236
2041	50	71	71	95	237
2042	50	72	72	96	240
2043	50	73	73	97	243
2044	50	73	73	98	244
2045	50	74	74	99	247
2046	50	75	75	99	249
2047	50	75	75	100	250
2048	50	76	76	101	253
2049	50	77	77	102	256
2050	50	77	77	103	257

Plan de incremento anual de cobertura de sistemas de captación de agua de lluvia al 75%

Año	% cobertura	Tipo de viviendas			Total
		Económica	Popular	Tradicional	
2020	-	-	-	-	0
2021	-	-	-	-	0
2022	-	-	-	-	0
2023	-	-	-	-	0
2024	-	-	-	-	0
2025	15	2079	2079	2772	6930
2026	30	2116	2116	2822	7054
2027	45	2154	2154	2872	7180
2028	60	2193	2193	2924	7310
2029	75	2232	2232	2976	7440
2030	75	97	97	129	323
2031	75	98	98	130	326
2032	75	99	99	132	330
2033	75	100	100	133	333
2034	75	101	101	134	336
2035	75	101	101	135	337
2036	75	102	102	136	340
2037	75	103	103	138	344
2038	75	104	104	139	347
2039	75	105	105	140	350
2040	75	106	106	141	353
2041	75	107	107	143	357
2042	75	108	108	144	360
2043	75	109	109	145	363
2044	75	110	110	147	367
2045	75	111	111	148	370
2046	75	112	112	149	373
2047	75	113	113	151	377
2048	75	114	114	152	380
2049	75	115	115	153	383
2050	75	116	116	155	387

Plan de incremento anual de cobertura de sistemas de captación de agua de lluvia al 100%

Año	% cobertura	Tipo de viviendas			Total
		Económica	Popular	Tradicional	
2020	-	-	-	-	0
2021	-	-	-	-	0
2022	-	-	-	-	0
2023	-	-	-	-	0
2024	-	-	-	-	0
2025	20	2772	2772	3696	9240
2026	40	2822	2822	3762	9406
2027	60	2872	2872	3830	9574
2028	80	2924	2924	3898	9746
2029	100	2976	2976	3967	9919
2030	100	129	129	172	430
2031	100	130	130	174	434
2032	100	132	132	175	439
2033	100	133	133	177	443
2034	100	134	134	179	447
2035	100	135	135	180	450
2036	100	136	136	182	454
2037	100	138	138	184	460
2038	100	139	139	185	463
2039	100	140	140	187	467
2040	100	141	141	189	471
2041	100	143	143	190	476
2042	100	144	144	192	480
2043	100	145	145	194	484
2044	100	147	147	195	489
2045	100	148	148	197	493
2046	100	149	149	199	497
2047	100	151	151	201	503
2048	100	152	152	203	507
2049	100	153	153	204	510
2050	100	155	155	206	516