

El presente documento es de carácter **privado y confidencial**, ha sido elaborado exclusivamente con fines académicos y de evaluación en el marco de la tesis correspondiente al programa de **Maestría en Diseño e Innovación Industrial** de la **Universidad de Guadalajara (CUAAD)** como parte de un proceso de investigación aplicada orientado a la innovación y el desarrollo sostenible.

La información contenida en esta investigación se presenta con el único propósito de **sustentar el desarrollo del producto** presentado en los LADAWARDS 2026, por lo que no queda autorizada su reproducción total o parcial, distribución, uso comercial o divulgación por ningún medio sin el consentimiento previo y por escrito del autor.

Asimismo, se hace constar que los **modelos, prototipos, sistemas y productos derivados** de este proyecto se encuentran actualmente en **proceso de registro y/o protección legal**, por lo que cualquier uso indebido podrá ser sujeto a las acciones legales correspondientes.

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

Centro Universitario de Arte, Arquitectura y Diseño

Maestría En Diseño e Innovación Industrial



MODALIDAD DE TITULACIÓN: TESIS

**SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE AGUAS SANITARIAS
PARA VIVIENDAS URBANAS**

Para obtener el grado de

Maestro en Diseño e Innovación Industrial

Presenta

BRIAN MIGUEL SÁNCHEZ GÓMEZ

Director

ALEJANDRO BRISEÑO VILCHES

Co-Director:

GERARDO HERNÁNDEZ GROVER

GUADALAJARA, DICIEMBRE 2025

ÍNDICE

ANTECEDENTES	2
DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	5
JUSTIFICACIÓN	6
HIPÓTESIS	6
MISIÓN SOCIAL	6
OBJETIVO GENERAL	7
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
METODOLOGÍA GENERAL	7
DERECHO HUMANO AL AGUA	8
OBJETIVO DE DESARROLLO SOSTENIBLE 6	9
RECURSOS HÍDRICOS: UNA VISIÓN ACTUAL	11
ESCASEZ DE AGUA: CAUSAS, CONSECUENCIAS Y PROYECCIONES	12
CLASIFICACIÓN DE AGUAS	15
AGUA POTABLE	16
AGUA RESIDUAL	16
AGUA GRIS	17
AGUA RECICLADA	17
AGUA DESALINIZADA	18
LA HUELLA HÍDRICA Y EL AGUA VIRTUAL	18
EL AGUA VIRTUAL	19
LA HUELLA HÍDRICA	20
CAPÍTULO 1: TECNOLOGÍAS PARA EL ACCESO Y LA GESTIÓN DEL AGUA	23
1.1 GESTIÓN INTEGRAL DEL AGUA: INNOVACIÓN SOCIAL Y DISEÑO SOSTENIBLE	23
1.2 CICLO URBANO DEL AGUA	25
1.3 REUTILIZACIÓN DEL AGUA: TECNOLOGÍAS ACTUALES Y TENDENCIAS EMERGENTES	27
1.3.1 CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA	29
1.3.2 TECNOLOGÍAS DE RECICLAJE Y DE REUTILIZACIÓN	32
1.3.3 SOLUCIONES DOMÉSTICAS: SISTEMAS DE FILTRACIÓN Y DE REUTILIZACIÓN	34
1.4 CASOS DE ESTUDIO RELEVANTES	35
1.4.1 ISRAEL Y EL TECHNION	35
1.4.2 SINGAPUR	36
1.4.3 MODELOS APLICABLES EN LATINOAMÉRICA	37
CAPÍTULO 2: PARTICIPACIÓN COMUNITARIA Y EL CONTEXTO LOCAL	42

2.1 LA SOCIEDAD COMO ACTOR CLAVE EN LA GESTIÓN HÍDRICA.....	42
2.2 LEGISLACIÓN NACIONAL EN MÉXICO	43
2.3 EL VALOR DEL AGUA	44
2.4 PANORAMA LOCAL.....	45
2.4.1 INDICADORES DE CONSUMO EN LA ZONA METROPOLITANA DE GUADALAJARA (ZMG).....	46
2.4.2 TARIFAS, POLÍTICAS PÚBLICAS Y ACCESO AL AGUA	48
2.5 ANÁLISIS DEL PERFIL FAMILIAR	49
2.6 ANÁLISIS DE TIPOS DE VIVIENDA	50
2.7 BARRERAS CULTURALES ANTE EL USO DE AGUA RECICLADA.....	52
CAPÍTULO 3: DESARROLLO DEL SISTEMA.....	54
3.1 DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL SISTEMA	56
3.2 FUNCIONALIDAD	57
3.2.1 EL CICLO DEL AGUA DENTRO DEL SISTEMA	58
3.2.2 VALIDACIÓN.....	59
3.3 CONCEPCIÓN DEL SISTEMA.....	66
3.3.1 SIS-MAAR V1.0.....	69
3.3.2 SIS-MAAR V2.0 (aqua-ducto).....	75
3.4 ANÁLISIS DE MATERIALES	82
3.5 ESCENARIOS DE IMPLEMENTACIÓN Y ADAPTABILIDAD	85
3.5.1 TIPOLOGÍA DE VIVIENDAS Y ALCANCE.....	86
CAPÍTULO 4: IMPACTO.....	88
4.1 IMPACTO AMBIENTAL ESTIMADO (AHORRO DE AGUA, REDUCCIÓN DE CONSUMO)	88
4.2 IMPACTO ECONÓMICO PARA LOS USUARIOS.....	91
4.3 PROYECCIÓN DEL SISTEMA COMO HERRAMIENTA DE TRANSFORMACIÓN SOCIAL.....	94
4.4 TRABAJOS FUTUROS.....	94
CONCLUSIONES	96
ANEXOS:	98
BIBLIOMETRÍA SOBRE EL APROVECHAMIENTO DEL AGUA EN MOBILIARIO PARA EL HOGAR (2001 - 2024).....	98
BIBLIOGRAFÍA	99

INTRODUCCIÓN

Las Naciones Unidas afirman que el agua es el núcleo del desarrollo sostenible, ya que es trascendental para la subsistencia de los seres humanos. Asimismo, señalan que, para el desarrollo del ser humano, es indispensable que el acceso al agua y a los sistemas de saneamiento se gestionen de manera diferenciada, debido a que ambos son vitales para reducir la incidencia de enfermedades, mejorar la salud y fortalecer la productividad económica de las poblaciones.

Ante una posible crisis mundial derivada de la escasez del agua, existe actualmente una tendencia global orientada a promover e incentivar prácticas para administrar y reducir el consumo de agua de manera consciente. Entre estas se fomentan métodos relacionados con la recolección y reutilización del líquido, prácticas que han trascendido a lo largo de generaciones. No obstante, dichas estrategias no han generado el impacto necesario para propiciar un cambio en la mentalidad de la sociedad. Al respecto, Bauman señala en su libro *Modernidad Líquida* (2000) que vivimos en una época en la que la sociedad ha sido consumida por la inmediatez y la constante búsqueda de novedades; es decir, gran parte de nuestra realidad ha sido moldeada por la necesidad de facilitarnos tareas, acciones y procesos de comunicación, así como por la forma en que recibimos y procesamos la información de una forma cada vez más rápida en un panorama cambiante. Por consiguiente, no basta con reconocer las debilidades de la sociedad contemporánea; es necesario comprendernos como usuarios que demandan herramientas capaces de simplificar las acciones orientadas a la recuperación y reutilización del agua.

A partir de lo expuesto, se plantea la propuesta de un sistema que facilite el aprovechamiento de las aguas residuales generadas en el área del baño mediante su recolección y reutilización, sin alterar las acciones del individuo para lograrlo.

Asimismo, se busca que dicho sistema garantice seguridad sanitaria y genere un impacto positivo en la adopción de hábitos benéficos orientados a la preservación y el uso sostenible del agua.

ANTECEDENTES

La demanda de agua a nivel global ha aumentado debido al crecimiento demográfico, la urbanización, el desarrollo económico y los cambios en el comportamiento del consumidor, entre otros factores secundarios ligados al cambio climático y a los fenómenos meteorológicos extremos (Naciones Unidas, 2024).

De acuerdo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, el objetivo número 6 corresponde al agua limpia y al saneamiento, ya que ambos constituyen una necesidad básica para el bienestar del ser humano. Se prevé que, para el año 2030, miles de millones de personas no tendrán acceso a estos servicios básicos, al menos que se tomen medidas ante esta problemática. La meta 6.a de este objetivo plantea fortalecer la cooperación para la creación de actividades y programas relativos con el agua y el saneamiento, mediante acciones como la captación de agua, la desalinización, el uso eficiente de los recursos hídricos, el tratamiento de las aguas residuales, el reciclaje y las tecnologías de reutilización del agua. Por otra parte, la meta 6b promueve la participación de las comunidades locales en la mejora de la gestión del agua y el saneamiento.

La postura de la UNESCO ante la gestión de los recursos hídricos del planeta tiene como propósito garantizar el suministro del agua mediante la protección de los sistemas hídricos vulnerables, así como asegurar el acceso al agua y a sus servicios, entre otros. En el año 2002, el investigador de la UNESCO A. Y. Hoekstra (2003) creó y presentó el concepto de **huella hídrica (HH)** como un indicador del uso del agua, el cual permite conocer la cantidad de agua aprovechada por una persona o por un grupo de consumidores ligados a un país o región.

Asimismo, es necesario considerar el concepto de **agua virtual**, el cual se refiere al volumen de agua requerido para producir, empacar y transportar los bienes y servicios que consumimos. Aunque este concepto no aborda de manera directa el tema de la presente investigación, resulta necesario conocerlo para evitar confusiones conceptuales.

México se encuentra en el lugar número 26 de los países con mayor estrés hídrico (Lara, 2025). De acuerdo con el Programa Estatal de Jalisco, el estrés hídrico incrementa anualmente, lo que podría derivar en una posible escasez. Según datos

del sistema MIDE del Gobierno de Jalisco, un habitante de la Zona Metropolitana de Guadalajara consume en promedio 223 litros de agua diarios de forma directa (Del Castillo Sandoval, 2023). No obstante, de acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS), 100 litros de agua al día representan la cantidad ideal por persona para satisfacer sus necesidades básicas.

Finalmente, la publicación titulada *Tu huella hídrica* del Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable de la biblioteca de la SEMARNAT, señala los hábitos de consumo del agua de cada individuo durante el día.

Acción	Objeto involucrado	Consumo en litros	Ciclo
Uso de W.C.	Inodoro	6	Por descarga
Producción del rollo de papel sanitario	Rollo de papel sanitario	140	Por pieza
Ducha	Área de la regadera	12 a 34	Por minuto
Lavarse las manos	Lavabo	12	Por minuto
Lavarse los dientes	Lavabo	12	Por minuto
Lavarse manos y dientes.	Pasta dental y jabón	120	Por piezas
Lavar trastes	Fregadero o Tarja	8	Por minuto
Vestirse	Lavadora	8	Solo por ropa que vestirás ese día
Manufactura automotriz	Automóvil	246,000,000	Por automóvil
Uso de auto propio	Combustible automóvil	10	Trayecto
Uso de transporte público	combustible Autobús	0.1	Trayecto

Tabla 1: Hábitos de consumo por individuo de la publicación *Tu huella hídrica* (SEMARNAT)

De acuerdo con los datos recopilados anteriormente, pueden existir variaciones en el consumo de agua según los hábitos de cada persona y los dispositivos involucrados en las acciones de consumo. Por ejemplo, los inodoros ahorradores consumen entre 3 y 6 litros de agua por descarga y cada vez son más frecuentes en los hogares. Sin embargo, otras acciones realizadas en el área del baño, como tomar una ducha o lavarse las manos, también repercuten directamente en el consumo hídrico y no han

sido intervenidas del todo. Aunque actualmente existen duchas de bajo flujo que disminuyen el consumo de agua hasta en un 50%, el agua utilizada en estas tareas va directamente al drenaje, lo que limita la posibilidad de ser reutilizada en actividades que no comprometan la salud de las personas.

Respecto a la tarifa base del consumo de agua del SIAPA en el Área Metropolitana de Guadalajara, esta aumentó un 12.5% del año 2024 al 2025, al pasar de \$80.13 a \$85.85 (Hurtado, 2024). Es necesario considerar que se trata de una tarifa base dirigida a las viviendas cuyo consumo mensual no supera los 5000 litros.

Como antecedente anexos a la presente investigación, durante la segunda mitad del semestre del año 2024, mientras me encontraba en una estancia de intercambio en la Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá, Colombia, realicé un *working paper* titulado “Análisis bibliométrico y de redes semánticas sobre el aprovechamiento de aguas residuales en el hogar”. Dicho documento identifica, mediante una metodología exploratoria-descriptiva, las investigaciones realizadas en los últimos 23 años en torno a temas de innovación, sostenibilidad y el aprovechamiento del agua a través del mobiliario del hogar.

Para respaldar los objetivos planteados en el documento, se llevó a cabo un análisis con minería de datos mediante estadísticas de texto, a partir de entrevistas centradas en el usuario y en su comportamiento relacionado con la escasez, el aprovechamiento y la reutilización del agua. Como resultado de la investigación, se demostró que este es un tema de interés en el campo científico, ya que, desde el año 2016, se mantiene como una línea de estudio vigente.

Asimismo, al procesar la información y generar la estructura conceptual de los *clusters* temáticos, se identificaron cuatro grupos: gestión y tratamiento del agua; suministro de agua mediante el equipamiento; sustentabilidad y filtración; y tratamiento de aguas residuales en la industria textil, los cuales permiten comprender el comportamiento evolutivo del campo de estudio y determinar las tendencias emergentes.

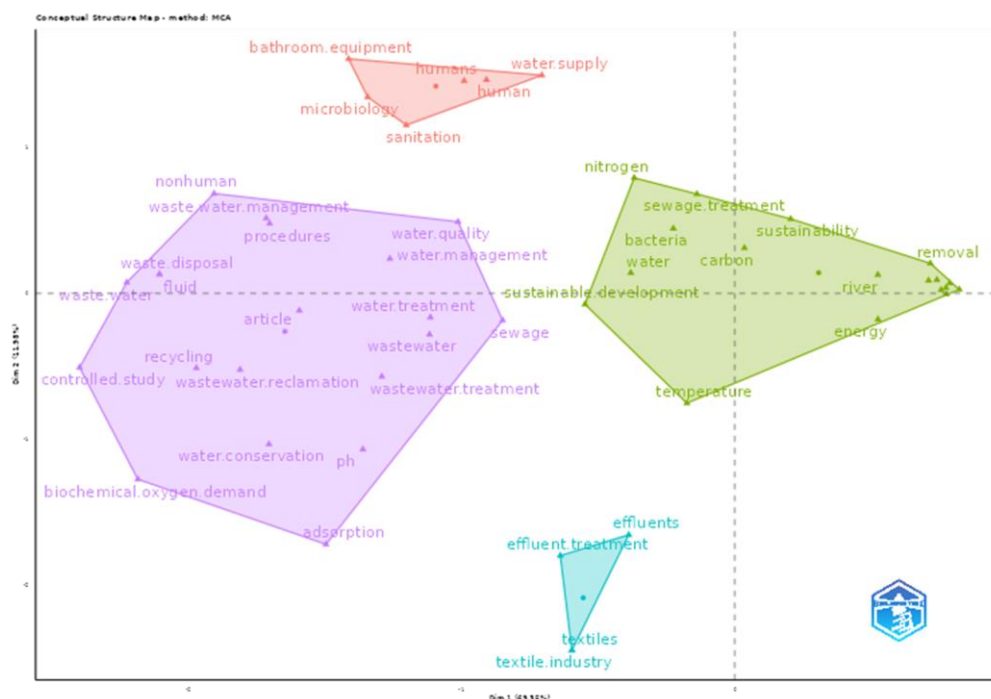


Figura 1: Resultados de los clusters temáticos de la *Bibliometría sobre el aprovechamiento del agua en mobiliario para el hogar 2001 a 2024 mediante el paquete bibliometrix* (Consultar en los anexos de la publicación)

Finalmente, respecto a la parte de la investigación centrada en el comportamiento de los usuarios, se demostró que las personas manifiestan interés en mejorar la gestión de los recursos hídricos mediante la recolección y reutilización del agua.

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Dentro de las viviendas urbanas, y de acuerdo con las actividades cotidianas relacionadas con el aseo personal, el desperdicio de agua constituye un fenómeno constante que contribuye directamente al deterioro de la sostenibilidad hídrica. Según los indicadores de consumo, el agua utilizada durante la ducha es desechada sin la posibilidad de ser aprovechada, lo que deriva en un uso ineficiente y desmedido de un recurso cada vez más escaso. Como consecuencia, se incrementa la presión hídrica, se mantiene un ciclo de consumo lineal y se genera ineficiencia económica.

Esta situación se ve agravada por la falta de herramientas accesibles que permitan a los usuarios gestionar y reutilizar el agua de forma eficiente durante dichas

actividades. En consecuencia, la ausencia de soluciones prácticas perpetúa el uso ineficiente de un recurso cada vez más escaso.

JUSTIFICACIÓN

Ante la creciente problemática de los recursos hídricos a nivel global, se ha generado un impacto mediático que resalta la importancia de preservar el agua. Las sequías prolongadas, el cambio climático y la sobreexplotación de los mantos acuíferos han puesto en evidencia la urgencia de adoptar medidas sostenibles en el ámbito doméstico; sin embargo, la mayoría de los hogares carece de dispositivos adecuados que faciliten la recolección y reutilización del agua, lo que obliga a los ciudadanos a recurrir a métodos rudimentarios e ineficientes para intentar aprovecharla. Esta situación limita el impacto que las acciones individuales podrían tener en la sostenibilidad hídrica.

Por consiguiente, el proyecto busca reducir la brecha entre la conciencia ambiental y la acción efectiva mediante el desarrollo de soluciones accesibles, prácticas y funcionales que permitan recuperar y reutilizar el agua de forma sencilla dentro del hogar.

HIPÓTESIS

La implementación de un sistema de reciclaje de aguas grises en el área del baño permitirá ahorrar hasta 100 litros de agua al día, lo que se traducirá en una reducción del consumo doméstico de agua de aproximadamente un 28 %.

MISIÓN SOCIAL

Promover soluciones accesibles y sostenibles para el reciclaje de aguas grises en entornos domésticos urbanos, con el fin de fomentar el uso responsable de los recursos hídricos y contribuir directamente a mitigar los efectos de la escasez de agua a nivel local.

OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sistema de captación y reutilización de aguas residuales provenientes del área de la ducha, destinado al abastecimiento del inodoro, con el propósito de optimizar el uso doméstico del recurso hídrico mediante soluciones funcionales, sostenibles y centradas en el usuario.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1. Generar un ciclo de vida más eficiente del agua dentro del entorno doméstico** mediante la incorporación de un sistema que permita reutilizar las aguas grises generadas en actividades cotidianas, como el baño y el lavado de manos, antes de ser descargadas al drenaje, sin comprometer la integridad de los usuarios.
- 2. Aprovechar de manera eficiente los espacios del área del baño** para el almacenamiento y la gestión del agua residual, integrando soluciones automatizadas al mobiliario y a la infraestructura del baño que respeten la estética, la ergonomía y los hábitos de comportamiento del usuario.
- 3. Promover una cultura de conservación del agua a través del diseño,** incorporando dispositivos o elementos que sensibilicen al usuario sobre el valor del recurso hídrico y fomenten prácticas sostenibles a largo plazo.

METODOLOGÍA GENERAL

La Investigación adopta un enfoque metodológico mixto, que combina técnicas cualitativas y cuantitativas con el fin de enriquecer la comprensión del fenómeno de estudio y facilitar la generación de un producto funcional que responda al deterioro de la sostenibilidad hídrica

El enfoque será inductivo-descriptivo, ya que parte de la observación y el análisis de realidades específicas (como los hábitos de consumo de agua, la percepción ciudadana, y las condiciones del entorno doméstico) para construir una propuesta de diseño concreta. A través de esta aproximación, se busca entender el problema desde

distintas perspectivas y, al mismo tiempo, desarrollar un sistema domótico que permita el reciclaje de las aguas grises en el área del baño, alineado con las tendencias sociales actuales de sostenibilidad, accesibilidad y acción individual frente a la crisis hídrica.

DERECHO HUMANO AL AGUA

“El agua está en el epicentro del desarrollo sostenible y es fundamental para el desarrollo socioeconómico, la energía, la producción de alimentos, los ecosistemas y para la supervivencia de los seres humanos” (Naciones Unidas).

Figura 2: La importancia del acceso al agua



Fuente. Imagen generada con la herramienta de inteligencia artificial Gemini 08/01/2026, a partir del prompt: "Genera una imagen donde se aprecien un tubo que esta cayendo agua limpia y dos manos siendo lavadas (Fondo Blanco)" (Google).

El 28 de julio del 2010 en la Asamblea General de las Naciones Unidas se reconoció de manera formal **el derecho humano al agua** a través de la Resolución 64/292. Dicha resolución reconoce que todos los seres humanos tienen derecho a acceder diariamente a una cantidad suficiente de agua para el uso doméstico y personal.

Este reconocimiento internacional marcó un precedente para que, en 2012, México incorporará en su marco jurídico **el acceso universal al agua como un derecho fundamental**, mediante una reforma constitucional del artículo 4o, publicada el 8 de febrero del 2012 en el *Diario oficial de la Federación*. En dicha reforma se estableció que:

“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” (Artículo 4o, Diario Oficial de la Federación, 2012)

Esto representa un avance significativo en la garantía de un recurso esencial para la vida, ya que no solo se reconoce la importancia del agua para la salud, el bienestar y la dignidad humana, sino que también se establece la obligación del Estado de garantizar su acceso a toda la población. De esta manera, se sientan las bases legales que prometen impulsar políticas públicas mediante acciones coordinadas que promuevan el uso equitativo y sustentable del recurso hídrico.

OBJETIVO DE DESARROLLO SOSTENIBLE 6

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) tienen como finalidad erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todas las personas a nivel global. Fueron adoptados por las Naciones Unidas en 2015 y se estructuran en 17 objetivos, cada uno con metas específicas, que conforman la Agenda 2030.



Figura 3: Imagen de los *Objetivos de Desarrollo Sostenible*, Naciones Unidas, 2015

Sin embargo, esta investigación está alineada a algunas metas específicas del ODS 6, “**Agua limpia y saneamiento**”, cuyo propósito es garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua, así como el saneamiento y la higiene. Las metas de este objetivo fomentan el acceso universal a servicios de agua potable seguros y asequibles, y se dividen de la siguiente manera:

6.1 Lograr el acceso universal y equitativo del agua potable a un precio asequible.

6.2 Garantizar el acceso a los servicios de saneamiento e higiene adecuados, prestando especial atención a la necesidad de mujeres, niñas y personas en situación de vulnerabilidad.

6.3 Mejorar la calidad del agua mediante la reducción de la contaminación, así como promover el reciclaje y la reutilización de aguas residuales tratadas.

6.4 Incrementar la eficiencia en el uso de los recursos hídricos para asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce.

6.5 Implementar la gestión integrada de los recursos hídricos, incluida la cooperación transfronteriza.

6.6 Proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua.

6.a Fomentar la cooperación internacional para la creación de actividades y programas relacionados al agua y el saneamiento, tales como la captación de agua,

la desalinización, el uso eficiente de los recursos, el tratamiento de aguas residuales, el reciclado y las tecnologías de reutilización.

6. b Fortalecer la participación de las comunidades locales con el fin de mejorar la gestión del agua y el saneamiento.

De lo previamente mencionado, el punto 6.a promueve la creación de actividades o programas orientados a la captación y al uso eficiente de los recursos, mediante la aplicación de tecnologías para la reutilización del agua; mientras que el punto 6.b fomenta la cooperación de las comunidades locales para mejorar la gestión del agua y el saneamiento.

RECURSOS HÍDRICOS: UNA VISIÓN ACTUAL

Los recursos hídricos, desde un panorama global, cuantifican el total de las reservas de agua disponible en el planeta y la forma en que estas pueden ser utilizadas para satisfacer las necesidades humanas en los ámbitos económico, social, ambiental y cultural; dichos recursos contemplan las aguas superficiales, subterráneas y atmosféricas.

Según el *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos: Agua para la Prosperidad y la Paz*, de la UNESCO (2024), se establece que el uso de los recursos hídricos a nivel global corresponden el 70% a la agricultura, el 20% a la Industria y el 12% al uso doméstico; sin embargo, estas proporciones puede variar en función del nivel de desarrollo económico de cada país.

Por su parte, el Instituto Mexicano para la Competitividad (IMCO, 2023), ante la situación actual del país, identifica cuatro grupos principales de consumidores de los recursos hídricos. En primer lugar, se encuentra la industria agropecuaria, con un subtotal del 76%, destinado principalmente al riego y la ganadería; seguida del abastecimiento público, que representa el 15% del consumo total, orientado principalmente al uso doméstico; En penúltimo lugar, con un 5%, se ubica la industria autoabastecida, integrada por aquellas empresas que extraen el agua directamente de los cuerpos acuíferos del país; finalmente, las centrales termoeléctricas representan el 4% de esta estadística. Cabe mencionar que estas cifras se obtuvieron

a partir de los datos obtenidos del Sistema Nacional de Información del Agua (SINA) correspondiente al año 2020.



Figura 4: Infografía sobre la *distribución de del consumo de agua por sector del año 2020*, IMCO

Es necesario comprender que los recursos hídricos representan un componente fundamental para el desarrollo de una región, ya que están estrechamente vinculados con las necesidades humanas, económicas, sociales y ambientales. Los datos anteriores ponen en evidencia que el uso del agua está determinado por la actividad económica y el nivel de desarrollo de cada país; en consecuencia, resulta imprescindible gestionar los recursos hídricos de manera eficiente y sostenible mediante la planificación estratégica que permita garantizar la disponibilidad del recurso para las generaciones presentes y futuras.

ESCASEZ DE AGUA: CAUSAS, CONSECUENCIAS Y PROYECCIONES

Cuando se habla de escasez de agua, se hace referencia a la insuficiencia o falta del recurso frente a la demanda existente en una región. En este sentido, la demanda de agua no debería superar la disponibilidad natural ni, en su defecto, la capacidad de los sistemas de suministro.

Las Naciones Unidas definen la escasez de agua como un problema creciente en todos los continentes y destacan que esta se intensifica cuando el suministro hídrico se ve afectado por una disminución en su cantidad o calidad. Esta problemática se agrava a medida que la población mundial crece y continúa el desarrollo económico, lo que incrementa la explotación de los recursos hídricos, especialmente en países que no logran satisfacer dicha demanda. No obstante, existen otros factores determinantes ligados a la escasez del agua, entre los que se encuentran los grupos sociales marginados, el cambio climático y la falta de una gestión integrada, derivada en parte de la carencia de datos relacionados con el monitoreo del agua.

En el año 2023, la Universidad de Texas en Austin publicó un estudio titulado *Global Water Resources and the Role of Groundwater in a Resilient Water Future* en la revista *Nature Reviews Earth & Environment*. El estudio señala la existencia de una escasez global de agua y estima que aproximadamente el 80% de la población mundial enfrenta altas amenazas en materia de seguridad hídrica, lo que dificultará garantizar suministros confiables de agua y alimentos a nivel mundial. Sin embargo, el documento hace un llamado a diversificar las fuentes de gestión del agua con el fin de combatir la escasez, mediante un uso más sostenible que permita minimizar los impactos sociales, económicos y ambientales.

Durante los últimos años y hasta la actualidad, México ha enfrentado efectos negativos dirigidos a la escasez de agua. De acuerdo con el Instituto Mexicano para la Competitividad (IMCO, 2023), las regiones centro y norte del país han vivido escasez de agua debido al aumento de las sequías.

En febrero del 2024, la Confederación Patronal de la República Mexicana (COPARMEX) publicó un artículo titulado *México en crisis por falta de agua*, en el cual se presenta un diagnóstico del panorama actual del país, destacando los siguientes puntos:

- México ocupa el cuarto lugar a nivel mundial en extracción de agua subterránea, fenómeno que se ha intensificado debido al crecimiento poblacional durante el siglo XXI, ha provocado la sobreexplotación de los mantos acuíferos subterráneos, alcanzando niveles hasta seis veces más que en el siglo pasado.
- “el 60% del agua potable proviene de los cuerpos de agua superficiales... El principal problema de las aguas superficiales es la contaminación, en particular por las aguas residuales, que en la mayoría de los casos son vertidas sin tratamiento previo y que contienen elementos y sustancias contaminantes disueltas.”
- El 52% del territorio mexicano es vulnerable a sequías debido a su clima árido y semiárido
- Según el Banco Mundial, la disponibilidad de agua per cápita en México ha disminuido drásticamente y se proyecta que para el año 2030 sea inferior a 3000 m³ anuales por habitante.

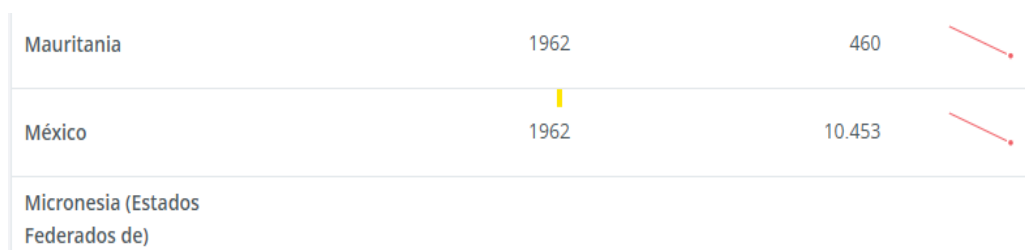


Figura 5: Disponibilidad de agua per cápita por habitante en México del año 1962 en metros cúbicos, Banco Mundial

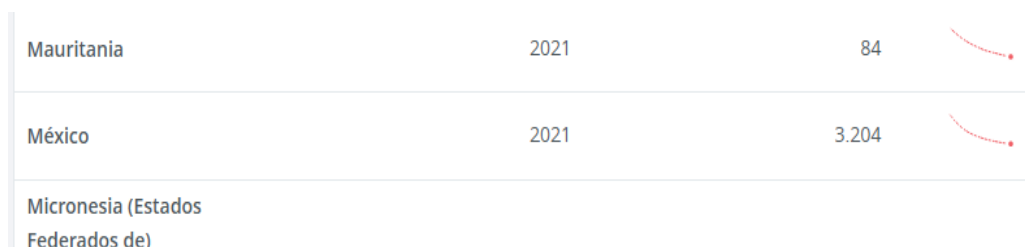


Figura 6: Disponibilidad de agua per cápita por habitante en México del año 2021 en metros cúbicos, Banco Mundial

Mauritania	2022	82	
México	2022	3.180	
Micronesia (Estados Federados de)			

Figura 7: Disponibilidad de agua per cápita por habitante en México del año 2022 en metros cúbicos, Banco Mundial

La escasez del agua constituye un desafío que se intensifica debido a diversos factores; en México, estas problemáticas se manifiestan de manera concreta. En consecuencia, ante este escenario y el panorama actual del país, resulta imperativo proponer soluciones que permitan diversificar las fuentes de agua, promover su uso sostenible y fortalecer la planificación y el monitoreo hídrico, con el fin de garantizar la seguridad hídrica para nuestro futuro.

CLASIFICACIÓN DE AGUAS

El agua es una sustancia vital para nuestra subsistencia y para la vida en el planeta. En la naturaleza se presenta en los tres estados de la materia: líquido, sólido y gaseoso. Su ciclo continuo en el planeta incluye procesos como la evaporación, la condensación y la precipitación; sin embargo, para garantizar el suministro de este recurso, el agua no solo debe analizarse desde su perspectiva natural, sino también en función de su uso y de su calidad para el consumo humano. Por consiguiente, la clasificación del agua debe basarse en su origen, calidad y en el uso al que se destinará.

AGUA POTABLE



Figura 8: Imagen simbólica sobre el agua potable de la publicación *Agua, saneamiento e higiene y resiliencia al clima*, UNICEF, Vallejo, 2024

El agua potable, también conocida como *agua para consumo humano*, es aquella que cumple con los estándares de calidad y seguridad necesarios para ser consumida sin representar un riesgo para la salud. La Organización Mundial de la Salud (OMS), así como las normativas nacionales (como la NOM-127-SSA1-1994 en México), establecen los criterios de calidad que debe cumplir este tipo de agua. Dichos parámetros incluyen la ausencia de microorganismos patógenos y de sustancias químicas tóxicas, así como características organolépticas aceptables, tales como sabor, olor, color y turbidez.

AGUA RESIDUAL

“las aguas residuales son y deben considerarse un recurso valioso a partir del cual pueden extraerse energía y nutrientes, así como una fuente adicional de agua” (Banco Mundial, 2023).

El agua residual es aquella que ha sido contaminada como resultado de actividades humanas, tales como usos domésticos, industriales, comerciales o agrícolas. Su clasificación se realiza en función de su origen.

- Las aguas residuales industriales presentan una composición altamente variable, ya que dependen del tipo de industria que las genera. Estas pueden contener metales pesados, solventes, compuestos orgánicos complejos, aceites y grasas, por lo que requieren tratamientos específicos antes de su vertido.
- Por otro lado, las aguas residuales domésticas se originan en actividades cotidianas realizadas en baños, cocinas y áreas de lavado. Este tipo de agua contiene principalmente contaminantes orgánicos, entre otros.

AGUA GRIS

“El reciclaje de aguas grises tiene el potencial de conservar un gran volumen de agua potable” (Awasthi et al., 2021)

Las aguas grises forman parte de una subcategoría de las aguas residuales y se caracterizan por provenir de actividades que no están contaminadas con residuos fecales. Entre esas actividades se incluyen, tomarse una ducha, lavarse las manos o hacer uso de la lavadora, a diferencia de las aguas negras, provenientes de los inodoros. Este tipo de agua da pie al reciclaje del recurso hídrico dentro de los entornos domésticos.

AGUA RECICLADA

El agua reciclada, también denominada agua regenerada o reutilizada, es aquella que, tras haber sido utilizada, recibe un tratamiento adecuado que permite su reutilización con fines específicos; el tipo de tratamiento aplicado determina el uso final. Entre los principales usos del agua reciclada se encuentran los siguientes:

- **Usos urbanos no potables:** incluyen el riego de áreas verdes, el lavado de calles y los sistemas contra incendios.
- **Ámbito agrícola:** se destina al riego de los cultivos, lo que contribuye a reducir la presión sobre las fuentes de agua dulce.

- **Industria:** se emplea en procesos de enfriamiento, lavado y producción.
- **Uso doméstico:** se utiliza para el riego de áreas verdes, la limpieza del hogar y las descargas en inodoro.

La UNESCO en su artículo *¿Son las aguas residuales el nuevo ‘oro negro’?* sugiere disminuir los vertidos e incrementar el tratamiento de las aguas residuales mediante una gestión eficiente y el reciclaje del agua en nuestros hogares y ciudades para satisfacer las necesidades ocasionadas por el crecimiento demográfico y la debilidad de los ecosistemas.

AGUA DESALINIZADA

“Una solución para satisfacer la creciente demanda de agua dulce es la desalinización, que consiste en eliminar la sal del agua de mar para producir agua potable” (Wood, *The World Economic Forum*, 2024)

Como se menciona en la cita anterior, el agua desalinizada se obtiene mediante un proceso de purificación en el cual se eliminan las sales y minerales presentes en el agua de mar, con el objetivo de convertirla en agua apta para el consumo humano. Si bien existen diversos métodos para llevar a cabo este proceso, la ósmosis inversa es la tecnología más utilizada; esta consiste en forzar el paso del agua a través de una membrana semipermeable que retiene las sales.

La desalinización se ha convertido en un componente relevante para la gestión sostenible de los recursos hídricos; no obstante, es un proceso que requiere un alto consumo energético y puede generar impactos ambientales, debido a la eliminación de la salmuera concentrada.

LA HUELLA HÍDRICA Y EL AGUA VIRTUAL

Como se mencionó anteriormente en el capítulo 1.1, existen dos términos imprescindibles que van ligados a la comprensión de nuestro consumo hídrico: la huella hídrica y el agua virtual. Estos términos permiten dimensionar que cada actividad, acción u objeto, implica un consumo energético para su producción donde a su vez requiere de agua para ser logrado.

EL AGUA VIRTUAL

El concepto de **agua virtual** es un concepto introducido por el geógrafo John Anthony Allan a mediados de los años ochenta. En su artículo *Virtual Water: A Strategic Resource Global Solutions to Regional Deficits* (1988), explica que cuando un país importa alimentos, también está importando el agua utilizada en su producción; en consecuencia, el comercio de alimentos emerge como un mecanismo estratégico para compensar la escasez de agua en regiones áridas.

A partir de lo anterior, puede inferirse que el agua virtual es aquella que permanece “oculta” en los bienes y servicios que consumimos; es decir, corresponde al volumen de agua utilizado a lo largo de toda la cadena productiva, aunque el usuario final no la perciba directamente. Este concepto nos permite dimensionar el impacto del comercio global y comprender cómo un país importador adquiere, de forma indirecta, los recursos hídricos de un país exportador.

De acuerdo con la herramienta *Water Footprint Calculator* en su artículo *The Hidden Water in Everyday Products* (2017-2022), desde la obtención de las materias primas hasta la elaboración de un producto se requiere el uso de agua. Sin embargo, el escaso conocimiento sobre este término disminuye el impacto que pueda tener el consumidor respecto a la conservación y al uso más eficiente del recurso hídrico.



Figura 9: Infografía sobre el significado del agua virtual de la publicación *¿Qué es el agua virtual?*, CONAGUA, 2025

Por otro lado, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), en su reporte *El agua virtual y la huella hídrica*, señala que el agua virtual (AV) es la cantidad de agua necesaria para producir un bien, ya sea agrícola o industrial. Este cálculo considera todo el ciclo de producción, desde el cultivo hasta la venta. El agua se considera "virtual" porque no permanece incorporada en el producto final; sin embargo, a pesar de la percepción social de una aparente abundancia de agua, factores como el crecimiento demográfico y el desarrollo industrial han aumentado significativamente la demanda de este recurso.

De acuerdo con la publicación del *Informe de la situación del medio ambiente en México del año 2018* (SEMARNAT, p. 401), México se posiciona como un importador neto de agua virtual, lo que indica una alta dependencia del agua incorporada en los bienes y productos que ingresan al territorio nacional. Según los datos correspondiente al período 2004-2017, México importó en promedio 36,766 millones de metros cúbicos anuales de agua virtual, mientras que sus exportaciones representaron únicamente los 8,892 millones de metros cúbicos anuales. Esta situación refleja una fuerte dependencia para garantizar el consumo indirecto de agua en alimentos, materias primas y productos industriales.

Este fenómeno implica que una parte significativa de la presión hídrica interna se "desplaza" hacia los países exportadores, los cuales deben utilizar sus propios recursos hídricos para producir bienes que finalmente son consumidos en el territorio mexicano.

LA HUELLA HÍDRICA

La huella hídrica (HH) es un indicador que mide el volumen de agua utilizada de manera directa en la producción de bienes y servicios. De acuerdo con el reporte *El agua virtual y la huella hídrica* de la CONAGUA, este concepto de **huella hídrica** se encuentra estrechamente relacionado con el de agua virtual, ya que ambos hacen referencia al volumen de agua requerido en los procesos productivos.

No obstante, de acuerdo al capítulo 2 del libro *The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard* (Aldaya et al., 2011), la huella hídrica posee un alcance analítico más amplio, dado que evalúa el índice de consumo de agua dulce de una entidad, ya sea un individuo, una comunidad, una nación o una empresa. Esto significa que la HH no solo mide el agua contenida en un producto específico, sino que cuantifica el impacto hídrico total asociado a un estilo de vida o a un sistema económico.

Además, el manual distingue entre la huella hídrica generada dentro de un área geográfica y la huella hídrica asociada al consumo de sus habitantes, lo que subraya su capacidad para analizar la dependencia de los recursos hídricos en otras regiones.

De acuerdo con el Pacto Mundial de la ONU, la huella hídrica se compone de tres tipos de agua, clasificados de la siguiente manera:

- **Huella hídrica verde:** corresponde al volumen de agua de lluvia utilizado en los procesos de producción, principalmente en la agricultura. Representa el agua almacenada en el suelo y consumida por las plantas.
- **Huella hídrica azul:** mide el volumen de agua dulce superficial (ríos, lagos y embalses) y subterránea que se utiliza en actividades agrícolas, industriales y en el consumo doméstico.
- **Huella hídrica gris:** se refiere al volumen de agua dulce necesario para diluir los contaminantes generados durante los procesos productivos, con el fin de que la calidad del agua alcance nuevamente los estándares establecidos.

De acuerdo con la CONAGUA, “La HH se calcula como el consumo doméstico de los recursos hídricos, menos las exportaciones de agua virtual, más las importaciones de agua virtual.”

Concepto	Definición	Componentes principales
De un producto	Es el contenido total de agua involucrada en la cadena de producción de un bien.	Agua azul, agua verde y agua gris
De una persona	Suma de la huella hídrica de todos los productos, bienes y servicios que consume y utiliza en su vida diaria.	Incluye alimentación, aseo, energía, transporte, etc.
Producción de un país	Volumen total de agua utilizada dentro de un país para producir bienes y servicios.	Agua verde, azul y gris en agricultura, industria y uso doméstico.
Consumo de un país	Agua asociada a los bienes y servicios efectivamente consumidos por la población del país.	Huella hídrica de producción – exportaciones de agua virtual + importaciones de agua virtual.
Huella hídrica externa	Parte de la huella hídrica de consumo de un país que proviene de bienes producidos en otros países.	Importaciones de productos agrícolas e industriales.
Transferencia de agua virtual	Volumen de agua incorporado en productos exportados a otros países.	Flujo de agua virtual en el comercio destinado a la exportación internacional.

Tabla 2: Formas de medición de la Huella Hídrica de acuerdo al libro *The Water Footprint Assessment Manual*, Aldaya et al., 2011

La relevancia de la huella hídrica (individual) en nuestra vida cotidiana está estrechamente ligada a nuestros patrones de consumo, es decir, nos permite dimensionar el consumo real de agua asociada a las actividades humanas, el cual va más allá de la percepción de que el agua se utiliza únicamente de manera directa (beber agua, lavar ropa o ducharse). Este enfoque evidencia la cantidad de agua necesaria para mantener un determinado estilo de vida; por ende, comprender esta relación posibilita impulsar la innovación y el desarrollo de tecnologías orientadas a minimizar el impacto sobre los recursos hídricos e influir directamente en la adopción de hábitos de consumo más sostenibles.

CAPÍTULO 1: TECNOLOGÍAS PARA EL ACCESO Y LA GESTIÓN DEL AGUA

Debido a la creciente presión sobre los recursos hídricos a nivel global, se ha consolidado como un tema de máxima importancia. En este capítulo se analizarán los principales desafíos y las soluciones emergentes que están transformando la forma en que se accede y se gestiona este recurso, con el propósito de hacer frente a los retos hídricos del siglo XXI, bajo un enfoque orientado a la sostenibilidad y la equidad.

1.1 GESTIÓN INTEGRAL DEL AGUA: INNOVACIÓN SOCIAL Y DISEÑO SOSTENIBLE

“Cuando la gente se organiza y coopera para afrontar un desafío común o satisfacer una necesidad colectiva, ahí yacen las bases de la innovación social” (Vera Sánchez, 2023)

La innovación social desempeña un papel fundamental en la creación de soluciones a los problemas hídricos, ya que implica la integración de la tecnología con el contexto humano, cultural y económico de las comunidades. De acuerdo con el documento *La innovación social en el manejo de los recursos hídricos* del Banco Interamericano de Desarrollo (Baytelman & Cabezas, 2024), una gestión participativa y colaborativa en torno al agua genera múltiples beneficios.

En primer lugar, mejora la calidad de las decisiones y de las estrategias adoptadas; además, fomenta la creación de lazos de confianza y reciprocidad que promuevan la adopción de valores compartidos entre los participantes. Finalmente, este tipo de colaboración fortalece las relaciones y las capacidades de todos los actores involucrados en el proceso.

Por consiguiente, cuando se aborda la gestión del agua desde un enfoque colaborativo, esta debe ir más allá de lo técnico e integrar herramientas que fortalezcan la participación humana. De esta manera, las organizaciones podrán afrontar los conflictos, adaptarse a la incertidumbre y responder a condiciones

cambiantes, siempre considerando la realidad local y una visión a largo plazo consensuada entre todos los actores involucrados.

El diseño sostenible del agua, por su parte, se basa en un enfoque integral que busca maximizar la eficiencia y minimizar el impacto ambiental a lo largo de todo el ciclo del agua, desde la captación hasta la reutilización. Este concepto va más allá de la simple conservación, ya que también contempla la planificación de infraestructuras capaces de reutilizar aguas residuales en proyectos residenciales o sistemas destinados al aprovechamiento del agua de lluvia.

En el libro *México sensible al agua* (2021), el doctor Arturo Gleason explora el concepto de **diseño urbano sensible al agua**, en el cual jerarquiza al agua como elemento prioritario dentro de los procesos de planeación de las ciudades. Asimismo, señala que este concepto integra todos los elementos del ciclo hidrológico y promueve su incorporación al diseño urbano mediante su aprovechamiento eficiente.

En relación con los aspectos estructurales vinculados a la construcción o adecuación de la infraestructura para optimizar el manejo del ciclo hidrológico, el autor propone una serie de prácticas fundamentadas en los siguientes principios:

- Reutilización de aguas grises para disminuir la presión sobre los suministros potables.
- Diversificación de las fuentes de abastecimiento.
- Retención de agua de lluvia, en lugar de su drenaje inmediato, para su posterior almacenamiento y reutilización, así como para su reincorporación en buen estado a los flujos naturales.
- Uso de la vegetación como medio para retener y filtrar las aguas pluviales.
- Implementación de plantas de tratamiento de aguas residuales con el doble propósito de reducir el consumo de agua potable y disminuir los vertidos contaminados a los flujos naturales.
- Utilización de aguas pluviales y tratadas para compensar las pérdidas en los flujos naturales modificados.

En relación con lo antes expuesto, para generar soluciones adaptadas al panorama actual, la gestión integral del agua requiere un enfoque que articule la colaboración

comunitaria con el diseño sostenible. Ambos elementos resultan clave para alcanzar una gestión de agua más eficiente, resiliente y equitativa.

1.2 CICLO URBANO DEL AGUA

El ciclo urbano del agua comprende el conjunto de acciones y procesos destinados a suministrar el agua potable a una zona determinada. Este ciclo abarca desde la captación, el almacenamiento y el abastecimiento en las ciudades, hasta el retorno del agua al medio natural, incluyendo su posible reutilización.



Figura 10: Infografía sobre las Etapas del ciclo Urbano del agua de la publicación *El ciclo urbano del agua*, Koruro, 2024

En este sentido, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA, 2021), señala que: “En términos espaciales, el ciclo urbano del agua es más semejante a una espiral que a un ciclo cerrado; una vez suministrada, utilizada e idealmente tratada y vertida, el agua sigue su curso”.

De acuerdo con la UNESCO (2007), las actividades humanas ligadas a la urbanización, especialmente la construcción y el incremento de superficies impermeables, generan efectos profundos en los sistemas de agua superficial y subterránea, así como en los ecosistemas acuáticos. Estas modificaciones alteran

significativamente los ciclos hidrológicos y, en consecuencia, afectan tanto la cantidad como la calidad del agua, además de producir impactos negativos en los ecosistemas acuáticos aledaños.

La gestión del recurso hídrico en entornos urbanos requiere estrategias integradas, de carácter tecnológico, normativo y social que promuevan la sostenibilidad y la protección de este recurso vital. El Dr. Gleason Espíndola (2005) en su *Manual de aprovechamiento de agua pluviales en centros urbanos*, explica las principales variables del comportamiento del agua de lluvia al caer en la tierra: la evaporación, el escurrimiento sobre la superficie; la acumulación en zonas más bajas del terreno y la infiltración en el suelo.

Cuando el agua pluvial no es recolectada, una parte se infiltra en el suelo y se dirige hacia las capas más profundas de la tierra, donde se acumula en forma de agua subterránea. De esta parte, una fracción es absorbida por las plantas y otra regresa a la atmósfera mediante la evaporación. Sin embargo, ante la falta de un suelo permeable, se producen las aguas de escorrentía, ya que el suelo no es capaz de absorber el exceso de agua. En estas condiciones, el agua siempre buscará un camino según el área topográfica y tiende acumularse en las zonas más bajas, donde se estanca formando charcos, lagunas, pantanos entre otras formas de estancamiento del agua.

La alteración de los patrones naturales del ciclo del agua, debido a la urbanización y la impermeabilización de las ciudades, demanda un enfoque proactivo orientado a transformar el denominado "ciclo espiral" en uno más cercano a un modelo circular y sostenible. Para ello, resulta indispensable implementar estrategias que no solo optimicen la captación y el uso del agua, sino que también minimicen los impactos negativos sobre el entorno natural. Esto implica apostar por el diseño y la innovación de productos e infraestructuras, así como por el desarrollo de políticas públicas que aseguren que el agua de lluvia y las aguas residuales tratadas contribuyan a restaurar los flujos naturales y a reducir la presión sobre las fuentes de agua dulce. En consecuencia, gestionar este ciclo de manera eficiente es crucial para garantizar la sostenibilidad hídrica en las áreas urbanas.

1.3 REUTILIZACIÓN DEL AGUA: TECNOLOGÍAS ACTUALES Y TENDENCIAS EMERGENTES

“La reutilización del agua puede ayudar a las ciudades a adaptarse al cambio climático al proporcionar una fuente de agua dulce adicional y sostenible” (Saporiti & Robins, 2024).

La reutilización del agua constituye una de las estrategias más efectivas para combatir la escasez hídrica. De acuerdo con el Banco Mundial, respecto a la reutilización del agua ha surgido un cambio de paradigma que propone que el agua residual debe considerarse un recurso valioso y no como un desecho. En este sentido, la capacidad de tratar y reincorporar el agua al ciclo de consumo representa una tendencia global en constante evolución, impulsada tanto por los avances tecnológicos como por la necesidad de diversificar las fuentes de suministro hídrico.

En términos económicos, la Corporación Financiera Internacional (IFC) estima que el costo de producir agua reciclada no potable puede ser de hasta USD 0,32 por metro cúbico y de USD 0,45 para el agua potable, en comparación con más de USD 0,50 en el caso de la desalinización. (Saporiti & Robins, 2024)

De acuerdo con un estudio realizado por la Corporación Financiera Internacional (IFC), se determinó que la producción de agua reciclada resulta más rentable que la desalinización, lo que convierte al agua reciclada en una alternativa viable y atractiva para enfrentar la escasez hídrica.

Asimismo, la publicación *Reutilización del agua* de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2008) señala que, en un contexto de rápida urbanización, es imperativo impulsar un cambio de paradigma en la gestión del agua, ya que muchas ciudades aún operan bajo un modelo de “sociedad lineal”. Este modelo tradicional se caracteriza por una mínima preocupación por la gestión del agua y por un sistema de entradas y salidas en el que el agua simplemente se utiliza y, una vez convertida en agua residual, se desecha directamente en ríos, provocando una grave contaminación ambiental y riesgos para la salud.

En contraste, la FAO propone el modelo “sociedad del reciclado”, el cual busca optimizar el uso del agua y reducir la contaminación promoviendo la utilización del

agua de la ciudad en la agricultura, con el objetivo de establecer un ciclo más sostenible que beneficie a todos los actores involucrados.



Figura 11: Imagen sobre la reutilización del agua mediante el modelo de sociedad de reciclado de publicación *Reutilización del Agua*, FAO, 2008

Principios y beneficios de la reutilización del agua en la agricultura urbana para la sociedad del reciclado:

- **Tratamiento y reutilización:** Bajo este modelo, las aguas residuales de la ciudad son sometidas a procesos de tratamiento que permiten eliminar los contaminantes, conservando al mismo tiempo nutrientes que pueden ser aprovechados para la fertilización de cultivos aledaños.
- **Sostenibilidad agrícola:** Esta práctica proporciona a la agricultura un suministro estable de agua y nutrientes a lo largo del año, lo que favorece la producción de alimentos y, de manera indirecta, contribuye a la generación de empleos e ingresos en las ciudades.
- **Beneficios ambientales y sociales:** La reutilización del agua impacta directamente en la reducción de la carga contaminante en los ríos, al disminuir la descarga de aguas residuales. Asimismo, permite liberar volúmenes de agua dulce que anteriormente eran destinados a la agricultura, los cuales pueden redirigirse al consumo urbano o al fortalecimiento de los caudales ecológicos.

En conjunto, la reutilización del agua se presenta como una alternativa sostenible y rentable para enfrentar la escasez hídrica, al transformar las aguas residuales en un recurso valioso tanto para la agricultura como para el consumo urbano. Este cambio de paradigma contribuye a reducir la contaminación, optimizar el uso del agua dulce y fortalecer la seguridad hídrica, favoreciendo la transición hacia una sociedad más resiliente y sostenible.

1.3.1 CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA

La recolección de agua de lluvia es una práctica que se remonta a la antigüedad. Desde los primeros asentamientos humanos, las civilizaciones tendieron a establecerse cerca de los ríos, donde desarrollaron actividades como la agricultura, utilizando estos cuerpos de agua para el riego. Sin embargo, a medida que las civilizaciones fueron creciendo demográficamente, muchas de ellas se expandieron hacia zonas áridas o semiáridas, lo que impulsó el desarrollo de sistemas de captación de agua de lluvia destinados tanto al riego de cultivos como al consumo doméstico.

De acuerdo a la Fundación Aquae (2021), alrededor de los siglos III y IV a.C., en Roma existían viviendas unifamiliares denominadas como **La Domus**. Estas construcciones contaban con múltiples habitaciones y jardines, entre los cuales destacaba un espacio denominado **atrium**. Este salón incluía dos elementos indispensables para la recolección de agua de lluvia. El primero era el **compluvium**, una abertura central en el techo del atrio que permitía la entrada de luz y la circulación del aire; durante la temporada de lluvias; esta abertura dirigía el agua hacia centro del atrio. El segundo elemento era el **impluvium**, un pequeño estanque o depósito ubicado en el suelo del atrio, cuya función era recolectar el agua pluvial para su posterior uso doméstico.

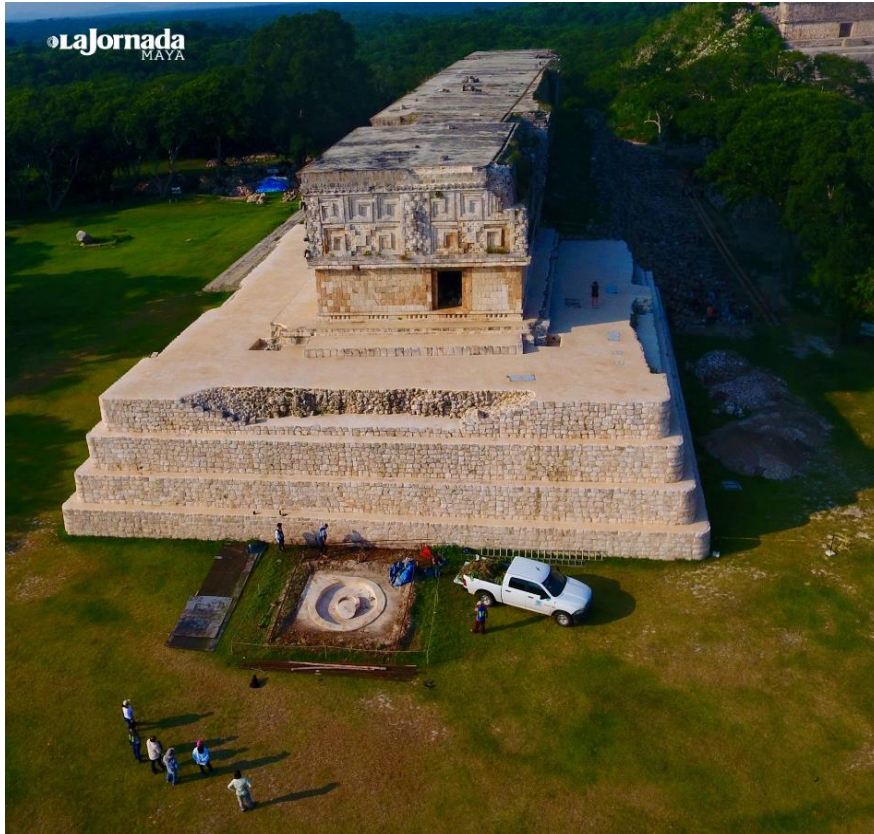


Figura 12: Fotografía aérea por Ezequiel González Matus del *Chultún del palacio del gobernador* de la publicación homónima, La Jornada Maya

En las civilizaciones prehispánicas, alrededor del siglo X a.C. dentro del Imperio Maya, se construyeron ingeniosos depósitos subterráneos conocidos como **chultún**, como se muestra en la figura 12, los cuales funcionaban como aljibes o cisternas destinadas a la captación de agua de lluvia. Uno de los ejemplos más destacados es el *chultún* del Palacio del Gobernador, ubicado en Uxmal, el cual, gracias a su diseño de dos cámaras conectadas por un túnel vertical, permitía almacenar agua durante los períodos de sequía. Este sistema fungía como una provisión de agua dulce tanto para el abastecimiento de la población como para el riego de los cultivos. (La Jornada Maya, s. f.)

Estas prácticas desarrolladas por las civilizaciones antiguas han servido como base para la adaptación de sistemas, tanto rudimentarios como modernos, orientados al uso doméstico, las cuales permiten la captación de aguas pluviales como estrategia para enfrentar los desafíos hídricos actuales.

En este contexto, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), en su publicación titulada *Lineamientos técnicos: Sistema de captación de agua de lluvia a nivel vivienda* (versión 3.4, 2025), establecen las características, la metodología de diseño, operación y mantenimiento, así como los aspectos sociales necesarios para la implementación de sistemas de captación de agua de lluvia en viviendas, ubicadas principalmente en zonas rurales y vulnerables del país. El objetivo de estos lineamientos es facilitar el acceso al agua potable mediante el uso de tecnologías alternativas, permitiendo a las comunidades aprovechar la lluvia como una fuente sostenible y económica para satisfacer sus necesidades básicas de agua, reducir su vulnerabilidad y promover una mejor calidad de vida.

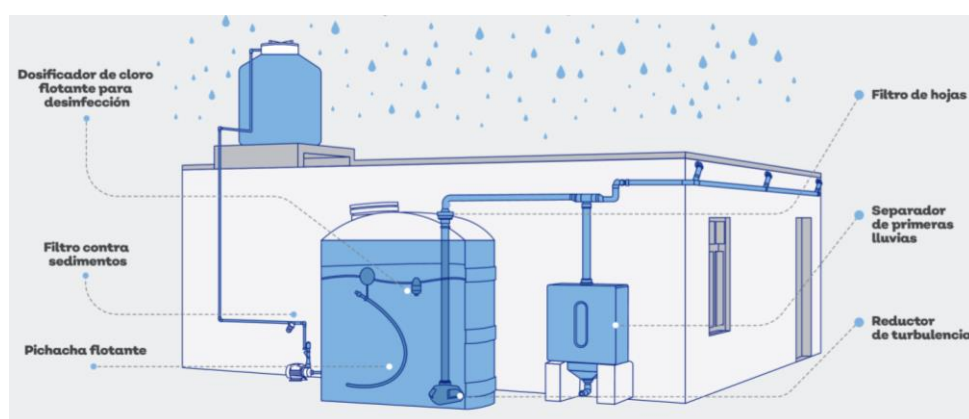


Figura 13: Diagrama de Funcionamiento del sistema de captación y almacenamiento de agua de lluvia del programa *Nidos de Lluvia* de la Zona Metropolitana de Guadalajara

Por otro lado, existen programas gubernamentales como *Nidos de Lluvia* (Zona Metropolitana de Guadalajara), *Cosecha de Lluvia* (CDMX), *Barrios de Lluvia* (Nuevo León), entre otros, que comparten como objetivo común garantizar el acceso al agua en zonas que se encuentran en contextos de escasez hídrica. Estos programas se basan en la instalación de sistemas de captación de agua de lluvia en viviendas, escuelas o comunidades, como una medida de resiliencia frente al desabasto.

Dichas iniciativas están diseñadas para beneficiar directamente a zonas con mayor vulnerabilidad hídrica y se caracterizan por el uso de una infraestructura sencilla y de bajo costo, lo que permite una implementación rápida y su replicabilidad en distintos entornos urbanos.

Por consiguiente, podemos afirmar que la captación de agua de lluvia constituye una tecnología ancestral que ha sido modernizada mediante sistemas que permiten la captación pluvial y conducirla hacia depósitos para su almacenamiento y uso posterior, ya sea como una estrategia de resiliencia hídrica o como una forma de aprovechamiento sostenible del recurso.

1.3.2 TECNOLOGÍAS DE RECICLAJE Y DE REUTILIZACIÓN

Las tecnologías enfocadas en el reciclaje y la reutilización del agua están transformando de manera significativa el sector; bajo la premisa de “usar menos recursos para obtener más beneficios”. La integración de prácticas de reciclaje de reutilización del agua se perfila como una estrategia cada vez más común para mejorar tanto la eficiencia como la rentabilidad de los sistemas de gestión hídrica. De acuerdo con el artículo *Reutilización del agua: innovación hacia un futuro hídrico sostenible* de la Fundación Innovación Bankinter (2024), expone que la reutilización del agua ha experimentado avances sustanciales gracias al desarrollo de tecnologías capaces de purificar el agua de forma segura, tanto en plantas de reutilización como en sistemas de potabilización

Sin embargo, el profesor Daigger del Departamento de Ingeniería Civil y Medioambiental de la Universidad de Michigan, señala que, a pesar de los elevados costos iniciales de implementación de estas tecnologías, los beneficios económicos y ambientales a mediano y largo plazo son significativos, ya que permiten generar una nueva fuente de agua y contribuyen a una gestión más eficiente y sostenible de las aguas residuales.

Las tecnologías avanzadas de tratamiento de aguas residuales combinan procesos biológicos y de separación por membranas, como los **MBR** (Reactores Biológicos de Membrana), que permiten una eliminación eficiente de sólidos y materia orgánica. Asimismo, los **Procesos de Oxidación Avanzada (AOP)** y la **ozonización** se emplean para la degradación de compuestos complejos y contaminantes emergentes. La **filtración mediante carbón activo** elimina contaminantes orgánicos y químicos a través de procesos de adsorción, siendo especialmente utilizada en el tratamiento de aguas industriales.

Por otro lado, los **reactores anaeróbicos + DAMO** (oxidación anaeróbica de metano disuelto) destacan por su alta eficiencia energética en la eliminación de contaminantes y la producción de biogás. Los **reactores Anammox** permiten la eliminación eficiente del nitrógeno, mientras que los **reactores de lodos granulares aeróbicos** mejoran la sedimentación y reducen la necesidad de espacio en las plantas de tratamiento. Finalmente, procesos como la **ultrafiltración**, la **ósmosis inversa** y la **desinfección mediante radiación ultravioleta (UV)** resultan fundamentales para la eliminación de partículas, iones, bacterias y virus, garantizando una alta calidad y seguridad del agua tratada para su reutilización en diversos fines. (FIBK, 2024)

A pesar de las ventajas que nos ofrecen estas tecnologías, como la reducción significativa de la demanda de agua potable, el ahorro económico a mediano y largo plazo y la transición hacia un modelo circular de aprovechamiento del recurso, persisten diversas limitaciones que dificultan su adopción generalizada. Entre ellas se encuentran los altos costos de inversión asociados a la infraestructura de tratamiento; la necesidad de un monitoreo constante y de un estricto control sanitario, así como los requerimientos de eficiencia energética, ya que procesos como los de membranas o la ósmosis inversa implican un consumo considerable de energía. A ello se suman las barreras regulatorias y sociales aún existentes, debido a que en algunas comunidades persiste la desconfianza hacia el uso de agua reutilizada, especialmente en contexto domésticos.

De acuerdo con los resultados del *Estudio de tendencia: Tecnologías para el reciclaje de aguas residuales* del Centro Nacional de Tecnología Química (2019), se observa una clara inclinación hacia el tratamiento y aprovechamiento de aguas residuales en el sector industrial, debido a que estas presentan una mayor concentración de materiales y elementos susceptibles a ser recuperados y reincorporados a los procesos productivos. En contraste, las aguas residuales domésticas suelen destinarse comúnmente a usos no potables como el riego doméstico, limpieza de espacios públicos y vehículos. Sin embargo, este escenario plantea una oportunidad de innovación: ¿qué ocurriría si fuera posible generar uno o más ciclos adicionales del uso del agua dentro del entorno doméstico antes de ser desechada?

1.3.3 SOLUCIONES DOMÉSTICAS: SISTEMAS DE FILTRACIÓN Y DE REUTILIZACIÓN

Muchos sistemas de filtración y reutilización a nivel doméstico se han centrado tradicionalmente en la recuperación de aguas pluviales, como se analizó en el capítulo 3.3.1. No obstante, existen otras soluciones ligadas a los hábitos de sensibilización de la sociedad, las cuales promueven prácticas sencillas de reutilización, como el aprovechamiento del agua utilizada en el lavado de frutas y verduras para el riego de plantas, o el uso del agua gris de la lavadora para la limpieza del hogar. Si bien estas soluciones domésticas representan intervenciones locales y descentralizadas, contribuyen de manera significativa a la reducción de la demanda de agua potable, a la mitigación de la contaminación y a la optimización del uso del recurso hídrico dentro de los hogares.

Estas prácticas adquieren especial relevancia en regiones donde la infraestructura pública es limitada o donde la captación y el tratamiento centralizado no puede satisfacer toda la demanda. Sin embargo, resulta fundamental promover estos hábitos de reutilización también en entornos urbanos como métodos de prevención ante el panorama de una posible crisis hídrica global.

Un estudio publicado en *Applied Water Science* (2024), titulado “*Performance of an integrated household greywater treatment system for water optimization and reuse*” evaluó el desempeño de un sistema doméstico que utilizó aguas grises reales mediante procesos de sedimentación y filtración con materiales textiles. Los resultados de esta investigación refuerzan la importancia de desarrollar sistemas domésticos de bajo costo y fácil mantenimiento para la reutilización de aguas grises, al demostrar que tecnologías sencillas pueden generar agua tratada para riego u otros usos secundarios. Asimismo, el estudio reporta una reducción superior al 22% en los costos de consumo de agua doméstica y señala que las aguas grises representan aproximadamente el 60% del agua utilizada en los hogares, por lo que su aprovechamiento puede traducirse en un ahorro significativo del consumo hídrico del hogar.

En síntesis, la implementación de soluciones orientadas a la reutilización del agua en entornos domésticos resulta crucial, ya que no solo contribuye a disminuir la demanda

de agua potable, sino que también genera un ahorro significativo en el consumo doméstico. En consecuencia, la promoción de estas prácticas es esencial para fortalecer la resiliencia hídrica a nivel doméstico y permiten generar un ciclo adicional de uso del agua antes de ser desechada.

1.4 CASOS DE ESTUDIO RELEVANTES

Ante el panorama hídrico actual, los desarrollos tecnológicos se han convertido en aliados fundamentales para hacer frente a la crisis mundial del agua, ya que permiten optimizar, tratar, distribuir y reducir el consumo del agua con el fin de disminuir pérdidas y ampliar el acceso al agua en zonas vulnerables.

1.4.1 ISRAEL Y EL TECHNION

Israel es un claro ejemplo de transformación ante la adversidad; gracias a las contribuciones del Instituto de Tecnología de Israel (2024), se abordan desafíos relacionados con la escasez de agua tanto a nivel nacional como mundial. Para garantizar la seguridad hídrica del país, se han implementado tecnologías ligadas al tratamiento de agua, la captación y la desalinización.

El profesor Eran Friedler profundiza su investigación en la generación de alternativas dirigidas a la reutilización de aguas residuales para uso doméstico; esta investigación se enfoca en el almacenamiento de agua de lluvia en tanques que permiten su activación cuando el caudal de las tuberías sea bajo.

La siguiente alternativa corresponde a un sistema que produce agua limpia a partir del aire, inventado por el profesor David Broadway; este sistema capta la humedad del aire mediante un sistema de desecante líquido continuo para generar agua apta para el consumo humano.



Figura 14: Imagen del proyecto de la La profesora Yael Dubowski sobre la eliminación de contaminantes mediante radiación ultravioleta de la publicación Water Solutions for a Thirsty World, Technion, 2024

Otro grupo de investigadores se centran en hacer que el tratamiento y la desalinización del agua sean más amigables con el medioambiente. La profesora Yael Dubowski ha logrado eliminar contaminantes mediante la radiación ultravioleta; por otro lado, la profesora Adi Radian implementa métodos naturales mediante arcilla modificada que permiten atrapar y descomponer los contaminantes del agua.

La preocupación de Israel ha permitido una transformación significativa: pasó de ser un país con escasez de agua a convertirse en líder a nivel mundial en la reutilización de aguas residuales, “reciclando más del 90% de estas para su uso en la agricultura y la industria” (Technion, 2024).

1.4.2 SINGAPUR

Singapur es una ciudad-estado con una población de más de cinco millones de habitantes; aunque es un país densamente poblado, cuenta con recursos hídricos limitados, equivalentes a solo 103 m³ de agua dulce renovable por habitante al año, una cifra alarmante considerada de escasez extrema. Sin embargo, es uno de los países que ha demostrado tener gran resiliencia. De acuerdo con la publicación

“Estudios de caso sobre la aceleración del país para el logro del ODS 6 Singapur 2023” de las Naciones Unidas, para combatir esta limitación, Singapur implementó una gestión integral y de largo plazo basada en múltiples fuentes de agua: **cuencas locales, importada, reciclada (“NEWater”) y desalinizada.**

Esta estrategia descentralizada promueve que la ciudad aproveche las lluvias mediante un sistema de drenaje eficaz y recicle las aguas residuales para usos industriales y urbanos, con el fin de reducir la dependencia de fuentes externas. Por otro lado, las políticas públicas incluyen normas técnicas, tarifas que reflejan la escasez y campañas de concientización social para fomentar el uso eficiente del agua; además, se han realizado inversiones en infraestructura para reducir pérdidas y mejorar la distribución.



Figura 15: Imagen sobre los cuatro grifos nacionales de la publicación *Estudios de caso sobre la aceleración del país para el logro del ODS 6 2023: Singapur*, ONU-Agua, 2023

Singapur fue seleccionado en 2023 por las Naciones Unidas como un ejemplo por sus avances en el ODS 6, y no es para menos, pues ha logrado reducir la demanda de agua per cápita de 176 a 141 litros diarios entre 1994 y 2018; además, también aumentó la eficiencia en el uso del agua en el sector industrial y de servicios en un 9% entre 2015 y 2020. El caso de Singapur puede servir como ejemplo replicable en ciudades que enfrentan estrés hídrico, ya que ha demostrado que factores clave como la planificación anticipada, la innovación y la participación social han contribuido a mejorar la seguridad hídrica del país, a pesar de las limitaciones naturales.

1.4.3 MODELOS APLICABLES EN LATINOAMÉRICA

Latinoamérica es una región caracterizada por contar con una gran disponibilidad de recursos hídricos en términos globales. De acuerdo con la Comisión Económica para

América Latina y el Caribe (CEPAL), América Latina y el Caribe albergan casi un tercio de los recursos hídricos a nivel mundial; sin embargo, a pesar de esta abundancia, existen limitantes como la urbanización acelerada, la escasa planeación estratégica de infraestructuras destinadas a la gestión de los recursos y la contaminación de fuente superficiales y subterráneas, que frenan el desarrollo de una gestión hídrica adecuada. Frente a esto, diversos países han implementado modelos y tecnologías particulares que permiten garantizar el acceso y la gestión eficiente del agua.

En Brasil, a pesar de poseer una extensa cuenca hidrográfica, el país no está exento de esta problemática. Cuenta con un proyecto móvil dedicado a suministrar agua potable a zonas afectadas por desastres naturales o riesgos sanitarios. Este programa, denominado *Unidade Móvel de Tratamento de Água de Baixa Turbidez* (UMTA), está a cargo de la Fundação Nacional de Saúde (FUNASA) y es capaz de producir agua potable utilizando a partir de agua cruda cuyo indicador de turbidez no supere las 40 unt (Unidad Nefelométrica de Turbidez). El sistema puede abastecer hasta 2,000 personas al día.

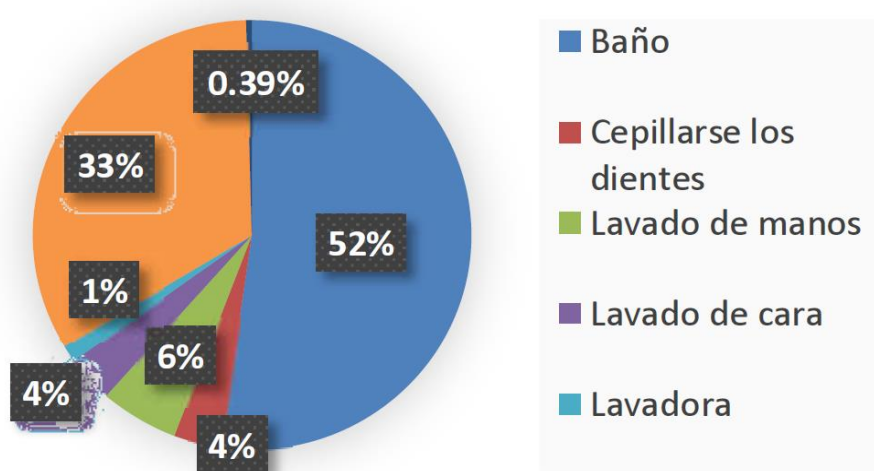


Figura 16: Proporción de la generación anual de aguas grises de la Universidad Tecnológica de Panamá, Gómez et al., 2021

Por otro lado, en la Universidad Tecnológica de Panamá se realizó un estudio titulado *Análisis de la generación de aguas grises en los hogares y evaluación de sistemas de tratamiento* (Gómez et al., 2021). Como lo menciona el título, este estudio tuvo como objetivo determinar la cantidad de agua gris generada en los hogares promedio y evaluar diferentes sistemas de tratamiento para su reutilización. Entre los resultados

obtenidos, se observó que el baño, específicamente el área de la ducha, es un punto clave, ya que en él se genera el 52% del agua gris total del hogar.

Para complementar la investigación, se evaluaron tres alternativas para la reutilización de las aguas grises:

- *Sistema mecánico de tratamiento de aguas grises*, de la Universidad Técnica de Cotopaxi (Latacunga, Ecuador).
- *Sistema hidráulico de reutilización de las aguas grises*, de la Universidad Nacional de Tumbes (Perú).
- *Sistema de humedales artificiales*, de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Diseño Industrial (Bolivia).

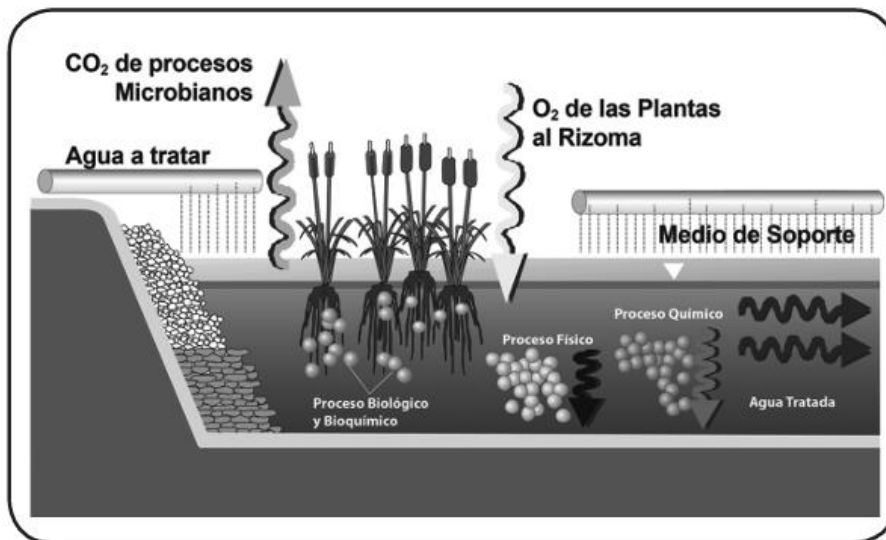


Figura 17: Diagrama sobre los principales componentes y procesos depurativos del sistema de humedales artificiales, Luna-Pabello & Aburto-Castañeda, 2014

Donde se concluyó que la alternativa de los humedales artificiales, ligada a la investigación *Sistema de humedales artificiales para el control de la eutroficación del lago del Bosque de San Juan de Aragón* (2014), es la mejor alternativa, ya que propone la reintegración del agua a los ecosistemas mediante el uso de plantas acuáticas disminuyendo el impacto ambiental.



Figura 18: Captura del video *Las AMUNAS, canales ancestrales preincas que permiten la infiltración de agua* , YouTube (Canal: EL COMERCIO), 2022

Ahora bien, en la región andina de Perú se ha revalorizado como una tecnología ancestral el uso de las *amunas*, canales preincaicos destinados a la recarga de acuíferos, para hacer frente a la escasez hídrica. Este proyecto titulado *Amunas-Lima*, busca restaurar dichas infraestructuras tradicionales que permiten infiltrar el agua de lluvia en los suelos de montaña y liberar el recurso gradualmente durante la época de sequía, ofreciendo un modelo sostenible y de bajo costo. (EL COMERCIO, 2022)

Finalmente, en México, donde el 52% del territorio presenta condiciones áridas o semiáridas (IMCO, 2023a, p. 22), la captación de agua de lluvia se ha convertido en estrategia clave. Como se revisó previamente, el programa *Isla Urbana*, implementado en la Ciudad de México, ha instalado más de 30,000 sistemas de captación de agua pluvial, los cuales permiten abastecer de este recurso a hogares que carecen de conexión a la red potable. Estos sistemas incluyen filtros de primera lluvia, tanques de almacenamiento y dispositivos de potabilización, logrando cubrir hasta el 50% del consumo anual de una vivienda (Isla Urbana, s.f.). Dicho modelo ha sido replicado en comunidades rurales y en diversas zonas del país, demostrando su alto potencial en regiones con temporadas de lluvias.

Aunque Latinoamérica concentra una de las mayores reservas de agua dulce del planeta, los retos asociados a la urbanización, la contaminación y la falta de infraestructura adecuada exigen soluciones adaptadas a cada contexto. Los casos analizados evidencian que la gestión hídrica requiere la combinación de enfoques

tecnológicos modernos con prácticas tradicionales, demostrando que la diversificación de estrategias y la participación comunitaria son claves para garantizar el acceso al agua.

CAPÍTULO 2: PARTICIPACIÓN COMUNITARIA Y EL CONTEXTO LOCAL

La gestión sostenible del agua es un desafío multifacético que no solo engloba las soluciones tecnológicas o las políticas gubernamentales, sino que también incorpora la participación comunitaria y la comprensión del contexto local, los cuales son elementos indispensables para el éxito de cualquier estrategia hídrica.

2.1 LA SOCIEDAD COMO ACTOR CLAVE EN LA GESTIÓN HÍDRICA

La gestión de los recursos hídricos era considerada una responsabilidad exclusiva de las autoridades gubernamentales; sin embargo, esta visión se ha transformado para reconocer la importancia de la participación comunitaria. En este sentido, la participación comunitaria es esencial para una gobernanza eficaz del agua, ya que las comunidades organizadas aportan conocimiento local sobre recursos, participan en la operación y el mantenimiento de infraestructuras descentralizadas, promueven prácticas de conservación y actúan como agentes de control social.

De acuerdo con el documento *Innovación social en el manejo de los recursos hídricos* del Banco Interamericano de Desarrollo (Baytelman & Cabezas, 2024), involucrar a la comunidad de manera participativa puede generar múltiples beneficios:

- **Mejora la calidad de las decisiones:** Al integrar el conocimiento local y las perspectivas de los usuarios, se diseñan soluciones adaptadas a las condiciones reales del entorno.
- **Genera confianza y cohesión social:** La colaboración en torno a temas de suma importancia, como la gestión del agua, puede fortalecer los lazos de confianza y reciprocidad entre los miembros de la comunidad y las instituciones.
- **Fortalece capacidades locales:** La participación empodera a las comunidades a desarrollar sus habilidades para identificar problemas, proponer soluciones y gestionar sus propios recursos.
- **Fomenta la apropiación y sostenibilidad:** Los proyectos que incorporan la participación comunitaria tienen mayores probabilidades de mantenerse vigentes a largo plazo, ya que los propios beneficiarios (La comunidad) se sienten responsables de su operación y mantenimiento.

Integrar el contexto social de las comunidades con la tecnología resulta esencial para la búsqueda de soluciones a los problemas hídricos, dado que la comunidad no solo participa en la gestión, sino que también puede fungir como un motor de innovación social capaz de promover soluciones colectivas y sostenibles en el manejo de los recursos hídricos.

2.2 LEGISLACIÓN NACIONAL EN MÉXICO

La **Ley de Aguas Nacionales** es regulada por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2024) y tiene como finalidad normar la explotación, uso, conservación y administración de las aguas nacionales. Fue publicada en 1992 y es la legislación vigente. En mayo de 2023 fue reformada por última vez, como respuesta a los desafíos actuales relacionados con la escasez de agua y el cambio climático. A partir de esta reforma, se impulsó la creación de la **Ley General de Aguas**, la cual tiene como objetivos principales:

- Garantizar el acceso equitativo y sostenible al agua desde un enfoque de los derechos humanos.
- Transformar el régimen de concesiones para promover la justicia hídrica y evitar el acaparamiento del recurso.
- Fortalecer la participación ciudadana en la gestión del agua mediante foros y consultas públicas.

Por su parte, el **Plan Nacional Hídrico 2024–2030** es una iniciativa del Gobierno de México que establece estrategias orientadas a garantizar el agua como un derecho humano, asegurar la sostenibilidad de los recursos hídricos y promover un manejo responsable del agua.

PLAN NACIONAL HÍDRICO



Figura 19: Infografía sobre la estructura de los ejes del *Plan Nacional Hídrico 2024-2030*, CONAGUA, 2024

Los principales objetivos del Plan Nacional Hídrico consisten en ordenar las concesiones para evitar la sobreexplotación y el acaparamiento, simplificar los procesos administrativos para reducir los tiempos de respuesta en temas relacionados con el recurso hídrico; eficientar el uso del agua en el campo para mejorar la producción de alimentos; integrar 16 proyectos estratégicos destinados al abastecimiento de agua potable en zonas con mayor estrés hídrico, priorizando la protección de la población; y finalmente, impulsar el saneamiento de los ríos Lerma-Santiago, Atoyac y Tula.

2.3 EL VALOR DEL AGUA

¿Cuál es el costo del agua en México?

En 2023, el Instituto Mexicano para la Competitividad (IMCO) publicó una investigación titulada *¿Cuál es el costo real del agua en México? (regulación y tarifas)*, en la cual se analizan las tarifas por sector y los distintos sistemas de cobro. Sin embargo, para efectos del presente análisis, el enfoque principal será el sector doméstico.

De acuerdo con la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares (ENIGH, 2022), el gasto anual promedio de los hogares por el servicio de agua potable

asciende a \$1,643.16 pesos al año, lo que equivale a \$136.93 pesos mensuales. Sin embargo, este gasto presenta variaciones significativas entre zonas urbanas y rurales, siendo generalmente menor en estas últimas.

Adicionalmente, es importante considerar que el costo real del acceso al agua no se limita al pago del servicio, ya que con frecuencia los hogares deben asumir costos adicionales, como el mantenimiento de sistemas de purificación o el suministro mediante pipas. IMCO (2023, p.13)

2.4 PANORAMA LOCAL

Jalisco es uno de los estados con mayor concentración urbana en México y alberga la tercera urbe más poblada del país, de acuerdo con los resultados del Censo de Población y Vivienda 2020. La Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG) concentra una significativa de la población estatal; en consecuencia, los indicadores de consumo de agua per cápita suelen variar entre municipios y zonas residenciales.

Estas diferencias están influenciadas por factores como el nivel socioeconómico, el tamaño de las viviendas y la disponibilidad de áreas verdes. Al respecto, el Dr. José Antonio Gómez Reyna (IIEG, 2021), investigador del Centro de Estudios Estratégicos para el Desarrollo de la Universidad de Guadalajara, señala que la contaminación y la sobreexplotación de los cuerpos acuíferos constituyen un problema general de la entidad y está ligado al crecimiento urbano desordenado, al afirmar que: “Mientras más ciudades y más crecimiento vertical y horizontal, más nos repercute tanto en el volumen como en la calidad del agua”.

De acuerdo al *Programa Hídrico Visión 2030 de Jalisco* (CONAGUA, 2009), el estado enfrenta retos estructurales y operativos para garantizar la disponibilidad y la calidad del agua, entre los cuales destacan:

- **Baja disponibilidad de agua superficial y problemas de carácter comercial**, las cuales han repercutido directamente en la reducción de la superficie de siembra en la agricultura.
- **Contaminación de cuencas, ríos y acuíferos** que afecta la calidad del recurso y dificulta su uso seguro tanto para el consumo humano como para las actividades productivas.

- **Infraestructura hidráulica insuficiente o en mal estado**, particularmente la falta de plantas de tratamiento de aguas residuales y la carencia de medidores en los organismos operadores, lo que limita el control y la eficiencia en el uso del agua.
- **Falta de cultura del cuidado y uso racional del agua**, lo que favorece el desperdicio y la contaminación del recurso.
- **Deficiencias en la gestión del agua**, así como en los procesos de organización y participación social, que obstaculizan la implementación de acciones orientadas a un manejo sustentable y eficiente.
- **Incremento sostenido en la demanda de agua**, derivado al crecimiento poblacional y de las actividades económicas, sin que exista un aumento proporcional en la oferta ni en la eficiencia de su aprovechamiento.
- **Riesgos asociados al cambio climático**, los cuales pueden alterar los ciclos hidrológicos, reducir la disponibilidad del agua y aumentar la vulnerabilidad ante fenómenos hidrometeorológicos extremos.

Estos retos demandan la implementación de acciones integrales que articulen infraestructura, gestión, educación y regulación, con el objetivo de asegurar la sustentabilidad hídrica del estado hacia el año 2030. En este sentido, el programa enfatiza la importancia de la coordinación entre los diferentes niveles de gobierno, el fortalecimiento de las instituciones, el impulso a la cultura del agua y la participación social a través de mecanismos como la *Gran Alianza por Jalisco*, orientados a promover un manejo eficiente y sustentable del recurso hídrico en la entidad.

2.4.1 INDICADORES DE CONSUMO EN LA ZONA METROPOLITANA DE GUADALAJARA (ZMG)

La Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG) presenta un escenario hídrico complejo, caracterizado por una tensión entre la oferta y la demanda de agua. Los indicadores de consumo reflejan no sólo un desafío de volumen disponible, sino de percepción pública y de calidad.

La provisión hídrica de la ZMG depende en gran medida de los ciclos pluviales, debido a su alta dependencia del lago de Chapala y de la presa Calderón. Aunque las autoridades han descartado la implementación de racionamientos para el año 2024, la crisis hídrica continúa intensificándose a causa de las sequías recurrentes, lo que

mantiene a la región en un estado de alerta permanente y evidencia la vulnerabilidad del sistema de abastecimiento.

Por otro lado, el director del Sistema Intermunicipal de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado (SIAPA), Carlos Enrique Torres Lugo, señaló que resulta alarmante que hasta un 30% del agua potable se pierde por fugas o por extracciones indebidas. De acuerdo con el funcionario, una parte significativa de esta problemática está asociada a la antigüedad de la infraestructura hidráulica, ya que en algunas zonas las tuberías superan los 90 años de uso. (Reyes, 2024)

Un indicador crítico es la amplia desconfianza en la calidad del agua que se recibe a través de la red pública. De acuerdo a los resultados del *Indicador de Confianza del Consumidor Jalisciense* de mayo de 2025, elaborado por el Instituto de Información Estadística y Geográfica, se incorporaron preguntas relacionadas con el consumo de agua potable. En este estudio se reveló que el 96% de los consumidores bebe agua de garrafón, siendo la desconfianza en la calidad la principal razón.

Asimismo, se identificó que el 92.8% de los encuestados no bebe directamente de la llave debido a la desconfianza en su calidad, ya que consideran que esta se ve afectada tanto por el proceso de potabilización como por la contaminación durante su trayecto de las tuberías y depósitos de agua domésticos. A pesar de que la mayoría percibe el agua de la llave como de mala calidad, el 67.4% considera adecuado el costo del recibo del agua.

Sin embargo, entre las personas que señalaron que el servicio del agua es costoso, se mencionó que esta percepción puede deberse a que el agua llega sucia, el servicio es intermitente o no cuenta con la presión suficiente. Por ende, este estudio permite comprender la percepción de los usuarios, ya que evidencia una falla fundamental en la garantía del agua potable por parte del servicio público.

Aunque en el estudio anterior no se especifican los litros exactos de consumo promedio per cápita de las personas encuestadas, el hecho de que una alta cantidad de viviendas disponga de agua dentro de su hogar implica un alto potencial de ahorro si se adoptan tecnologías y hábitos eficientes que prioricen la reducción del consumo y la reutilización en el hogar.

2.4.2 TARIFAS, POLÍTICAS PÚBLICAS Y ACCESO AL AGUA

De acuerdo con el diario *Milenio*, en el año **2024** la tarifa base para las viviendas de la Zona Metropolitana de Guadalajara fue de **\$80.13**, la cual aplicaba a los usuarios con un consumo mínimo de entre **0 a 5 m³** mensuales, es decir, entre **0- 5000 litros** de agua al mes. No obstante, para el año **2025** se registró un aumento del **12.5%**, lo que se traduce en una tarifa base de **\$85.85**.

Asimismo, existen tarifas adicionales por exceder determinados niveles de consumo. Por ejemplo, cuando el consumo mensual se sitúa entre **6m³ a 10m³**, se cobra un cargo adicional de **\$20.43** por cada metro cúbico excedido, tarifa que aumenta gradualmente según el nivel de consumo.

Según el SIAPA, se estima que el consumo promedio de agua por habitante en la Zona Metropolitana de Guadalajara es de **214 litros al día**, lo que representa más de **6,420 litros al mes**. En este caso, una persona con dicho nivel de consumo estaría pagando aproximadamente **\$106.26 mensuales** por el servicio de agua.

Tarifa SIAPA 2025						
m3	Litros	Costo	Tarifa base	Tarifa extra	m3 extra	Equivalencia m3 a L
0	0	\$ 85.84	\$ 85.84	0		1000
1	1000	\$ 85.84	\$ 85.84	0		1000
2	2000	\$ 85.84	\$ 85.84	0		1000
3	3000	\$ 85.84	\$ 85.84	0		1000
4	4000	\$ 85.84	\$ 85.84	0		1000
5	5000	\$ 85.84	\$ 85.84	0		1000
6	6000	\$ 106.27	\$ 85.84	20.43	1	1000
10	10000	\$ 187.99	\$ 85.84	20.43	5	1000
11	11000	\$ 210.46	\$ 85.84	20.77	6	1000
14	14000	\$ 272.77	\$ 85.84	20.77	9	1000
15	15000	\$ 353.14	\$ 85.84	26.73	10	1000
21	21000	\$ 513.52	\$ 85.84	26.73	16	1000
22	22000	\$ 542.97	\$ 85.84	26.89	17	1000
59	59000	\$ 1,537.90	\$ 85.84	26.89	54	1000
60	60000	\$ 1,801.29	\$ 85.84	31.19	55	1000
99	99000	\$ 3,017.70	\$ 85.84	31.19	94	1000
100	100000	\$ 3,777.54	\$ 85.84	38.86	95	1000
149	149000	\$ 5,681.68	\$ 85.84	38.86	144	1000
150	150000	\$ 6,129.44	\$ 85.84	41.68	145	1000
250	250000	\$ 10,297.44	\$ 85.84	41.68	245	1000

Tabla 3: Tarifa del SIAPA del año 2025 de acuerdo al consumo por metro cúbico de los usuarios de la Zona Metropolitana de Guadalajara, Elaboración propia

La tabla anterior muestra el costo según el consumo por metro cúbico de los usuarios de la Zona Metropolitana de Guadalajara.

2.5 ANÁLISIS DEL PERFIL FAMILIAR

Entender el perfil familiar es clave para dimensionar la demanda doméstica de agua, ya que este juega un papel determinante en los patrones de consumo y en la receptividad hacia nuevas prácticas de aprovechamiento hídrico. Factores como el tamaño de la vivienda, el número de miembros del hogar, la edad de sus integrantes, el nivel educativo, los ingresos económicos, el equipamiento sanitario disponible (doble descarga, recolectores de agua pluvial, lavadoras eficientes) y las prácticas de consumo (frecuencia de lavado, tiempo de ducha, uso de cisternas) influyen directamente en la huella hídrica doméstica.

De acuerdo con el artículo *“Spatial inequality of domestic water consumption in Mexico city”* (Medina-Rivas et al., 2022), que examina el consumo doméstico de agua en la Ciudad de México mediante el análisis espacial y los sistemas de información geográfica, o se seleccionaron cinco factores (índice de marginación, densidad de población, altitud, dependencia de fuentes externas de suministro y presencia o ausencia de suministro discontinuo) para determinar el consumo en los hogares. La investigación reveló que el consumo de agua es inequitativo entre los hogares de la ciudad, ya que mientras algunas colonias registran un consumo per cápita de entre los 6 y 75 litros diarios, en otras se identifican consumos en un rango de 155 a 277 litros por persona al día. Sin embargo, el bajo consumo en las zonas periféricas no necesariamente responde a un uso eficiente, sino a un consumo forzado derivado de la escasez y de las deficiencias en el servicio, ya que el rezago socioeconómico y las condiciones topográficas limitan la continuidad del suministro. Finalmente, el estudio destaca que estos resultados constituyen una base fundamental para el desarrollo de políticas hídricas adaptadas a las necesidades específicas de cada región, con el fin de mitigar la desigualdad en el acceso al servicio.

Para el diagnóstico de la presente investigación se toma como referencia el anexo *“Análisis bibliométrico y de redes semánticas sobre el aprovechamiento de aguas*

residuales en el hogar”, donde se realizó un estudio complementario a partir de entrevistas centradas en el usuario y su comportamiento, relacionadas con la escasez, el aprovechamiento y la reutilización del agua. Este documento, aunado al análisis del perfil familiar, permitió identificar palancas de cambio que promuevan la adopción de tecnologías y hábitos de aprovechamiento hídrico.

2.6 ANÁLISIS DE TIPOS DE VIVIENDA

De acuerdo con el Censo de Población y Vivienda 2020 del INEGI, en relación con la variable “*Clase de Vivienda (CLASE_VIV)*”, se reconocen diez tipos distintos de vivienda dentro de la categoría de *viviendas particulares*:

1. Casa única en el terreno
2. Casa que comparte terreno con otra(s)
3. Casa dúplex
4. Departamento en edificio
5. Vivienda en vecindad o cuartería
6. Vivienda en cuarto de azotea de un edificio
7. Local no construido originalmente como vivienda
8. Vivienda móvil
9. Refugio
10. Viviendas colectivas

Estas categorías permiten clasificar las viviendas en función de su estructura, grado de independencia, acceso y características de ocupación; sin embargo, de acuerdo al artículo “*¿Cuáles son los tipos de casas en México? Guía esencial para compradores e inversionistas*” de la inmobiliaria Coldwell Banker México (Landa, 2025), las viviendas más comunes en México comprenden varios modelos que responden a necesidades distintas:

- **Casa unifamiliar:** Vivienda independiente ubicada en un terreno propio, que ofrece mayor privacidad y espacio.
- **Casa en condominio:** Propiedad de tipo horizontal o vertical que, en algunos casos, dispone de áreas comunes, vigilancia y mantenimiento compartido.
- **Departamento:** Puede variar desde estudios de un solo ambiente hasta unidades familiares de mayor tamaño, comúnmente ubicados en zonas urbanas densas.
- **Casa de interés social:** Propiedades generalmente asequibles mediante subsidios gubernamentales o financiamientos bancarios, aunque con espacios y ubicaciones más limitados.

- **Casas de lujo o residencias:** Viviendas con diseño exclusivo, acabados de alta calidad y ubicaciones privilegiadas.
- **Cabañas o casas de campo:** En muchos casos utilizadas como segunda vivienda o como inversión vacacional.
- **Casas patrimoniales o coloniales:** Localizadas principalmente en núcleos históricos y con valor cultural.
- **Dúplex o lofts:** Viviendas de menor escala con conceptos modernos y diseño espacial eficiente, actualmente situadas en zonas céntricas.

Estas tipologías no solo evidencian la diversidad arquitectónica, sino que también demuestran que cada tipo de vivienda implica distintos retos y oportunidades lo cual resulta relevante para estudios que analizan la relación entre el tipo de vivienda y el aprovechamiento hídrico. El tipo de vivienda constituye un factor estructural imprescindible, ya que impacta directamente en el potencial de implementación de tecnologías de aprovechamiento hídrico. La gran diversidad de edificaciones presentes en la ZMG, que abarca desde edificaciones antiguas, nuevos desarrollos inmobiliarios, casas unifamiliares con patios y jardines hasta departamentos en edificios de alta densidad, presentan diferentes oportunidades y limitaciones.

“Estrategias para limitar la mancha urbana han dado efecto en la capital jalisciense, pero las unidades se han reducido y el precio aumentado.”

Redacción Obras, 2024, Expansión MX

De acuerdo con el contexto actual del mercado inmobiliario en la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG), este se caracteriza por un crecimiento dinámico impulsado notablemente por la vivienda vertical. En los últimos cuatro años se han desarrollado cerca de 300 nuevos proyectos (un promedio de seis por mes, según la Cámara de Comercio), lo que refleja la expansión urbana (Ramírez, 2024). Este auge se concentra principalmente en la construcción de departamentos, cuyo segmento ha crecido un 180% en los últimos cinco años.

Según el Instituto de Información Estadística y Geográfica del estado de Jalisco (2024), el costo de la vivienda se ha incrementado de forma considerable, al grado de que el precio promedio de venta de este tipo de viviendas alcanza los \$6.76 millones de pesos. Asimismo, de acuerdo al reportaje “¿Cuánto cuesta comprar una casa en Guadalajara según el IIEG?” , publicado en Telediario Guadalajara

(Rodríguez, 2024), existe una marcada segmentación en la ZMG en relación con el valor por metro cuadrado que va desde la vivienda de interés social (entre \$4,800 y \$6,800 MXN/m²), la vivienda media (entre \$12,000 y \$14,000 MXN/m²), hasta la residencial (entre \$19,000 y \$23,000 MXN/m²).

Este fenómeno, asociado al incremento sostenido en los altos costos de la vivienda, evidencia la necesidad de reevaluar las políticas de vivienda y urbanización dentro de la ZMG.

Por consiguiente, la creciente y diversa oferta inmobiliaria de la ZMG genera un impacto directo en el diseño y la capacidad de mejorar la infraestructura hidráulica metropolitana. El rápido aumento de las viviendas introduce una oportunidad única para estandarizar tecnologías de aprovechamiento hídrico a nivel doméstico; sin embargo, también exige una revisión urgente de la planeación urbana, a fin de evitar el colapso de la red y garantizar la sostenibilidad del recurso en toda la metrópoli.

2.7 BARRERAS CULTURALES ANTE EL USO DE AGUA RECICLADA

A pesar de los avances tecnológicos y de los evidentes beneficios ambientales y económicos asociados a la reutilización del agua, persisten barreras culturales y de percepción que dificultan la adopción del agua reciclada, especialmente para usos cercanos al consumo humano. Incluso cuando esta cumple con los estándares técnicos, existe una mayor aceptación social para su utilización en usos no potables como el riego o las descargas del inodoro.

De acuerdo con el artículo *Tratamiento de aguas residuales en México: problemáticas de salud pública y oportunidad de uso de ecotecnologías sustentables* (Vidal, 2018), las barreras culturales ante el uso de agua reciclada giran en torno a las percepciones, creencias y actitudes de la sociedad. De manera más específica, estas barreras pueden presentarse de la siguiente manera:

- **Desconfianza y percepción negativa:** Muchos usuarios consideran que el agua reciclada es insegura o de baja calidad, lo que genera rechazo para su uso en actividades como el riego agrícola o incluso usos domésticos.

- **Falta de conocimiento y concientización:** Existe desconocimiento en torno a los procesos, las tecnologías de tratamiento y los beneficios asociados a la reutilización.
- **Resistencia al cambio:** La adopción de nuevas prácticas o tecnologías suele encontrar resistencia, ya que en ocasiones implica salir de la zona de confort del usuario, generando actividades o tareas extras. Asimismo, factores como las costumbres arraigadas, el miedo a riesgos sanitarios y la percepción de que el agua reciclada puede afectar la salud provocan aversión por parte de los usuarios.
- **Normativas y cultura institucional:** La falta de legislación, o la insuficiente difusión de normativas que promuevan y regulen el uso de agua reciclada, también contribuyen a estas barreras culturales.

Por otro lado, la realidad de cada usuario, determinada por su contexto social, es un factor clave en la percepción del valor que se le da al agua. Por ejemplo, una persona que habita en un entorno urbano puede concebir el agua como un recurso o una materia prima con un valor económico; mientras que, en el ámbito rural, particularmente en pueblos originarios de México, el agua suele valorarse como un bien común, sagrado e irremplazable. (Chávez, 2021)

Para superar estas barreras, es esencial implementar estrategias de comunicación efectiva y educación ambiental que promuevan la sostenibilidad del uso del agua reciclada. Asimismo, resulta fundamental fomentar la participación comunitaria en el diseño de estos programas y promover proyectos piloto exitosos y visibles en torno al aprovechamiento hídrico. Estas acciones pueden contribuir a generar la confianza necesaria para que la reutilización del agua se consolide como una práctica ampliamente aceptada y socialmente valorada.

CAPÍTULO 3: DESARROLLO DEL SISTEMA

A lo largo del documento se han identificado diversos fenómenos como la urbanización acelerada y descontrolada, los efectos del cambio climático y la existencia de sistemas de abastecimiento con más de 90 años de antigüedad, entre otros, que han convertido la escasez de agua en una problemática creciente. En este contexto, la fragilidad hídrica y la gestión ineficiente del recurso a nivel doméstico representan factores que intensifican la presión sobre el suministro de agua potable.

Una de las fuentes de derroche más significativas, y a menudo ignoradas, es el volumen de agua utilizada durante la ducha. A pesar de que existen registros que demuestran que en una ducha de 10 minutos pueden consumirse entre 120 y 360 litros de agua (SEMARNAT), este volumen es dirigido directamente al drenaje sin ningún tipo de aprovechamiento.

Por otro lado, existen prácticas y recomendaciones emitidas por diversas organizaciones públicas, tanto a nivel local como internacional, que promuevan el aprovechamiento de las aguas grises mediante acciones como el riego de plantas, la limpieza de exteriores o las descargas sanitarias. Sin embargo, dichas iniciativas no han logrado generar un impacto significativo en la sociedad, en gran medida porque implican modificaciones en los hábitos cotidianos de comportamiento de los usuarios.

Desde el ámbito del diseño, existe evidencia que demuestra que añadir más acciones o pasos a una tarea incrementa su complejidad y la vuelve más tediosa para el usuario. En este sentido, el diseño centrado en el usuario busca que los productos y las interfaces sean más eficientes y efectivas, Donald Norman en su libro *The psychology of everyday things* (1988, pp. 232 - 233), plantea siete principios para simplificar tareas complejas:

1. Utilizar tanto el conocimiento en el mundo como el conocimiento en la mente del usuario.
2. Simplificar la estructura de las tareas.
3. Hacer visibles las acciones y los elementos del sistema, colmando las lagunas de ejecución y evaluación.
4. Diseñar adecuadamente las topografías.

5. Explotar la fuerza de las limitaciones, tanto naturales como artificiales.
6. Diseñar dejando un margen de error.
7. Cuando todo lo demás falla, se normaliza.

Estos principios explican cómo evitar que la adición de acciones dentro de un proceso convierta una tarea en algo tedioso, promoviendo la eficiencia y la satisfacción del usuario.

Por otra parte, la Ley Hick, aunque se relaciona principalmente con el tiempo de decisión, plantea que a mayor número de opciones (o acciones necesarias), existe una mayor complejidad y un incremento en el tiempo requerido para completar una tarea, lo que encamina al tedio y al abandono (Yablonsky, 2022); Por ende, la multiplicación de acciones atenta contra la eficiencia y la satisfacción del usuario, confirmando que las tareas que exigen más pasos se vuelven más tediosas y menos productivas. En consecuencia, la ineficiencia de las campañas de aprovechamiento de aguas grises podría deberse a que estas exigen un cambio de hábito consciente y la adición de acciones manuales a la rutina del usuario.

Por consiguiente, para que la aprovechamiento de las aguas grises en el área de la ducha sea efectivo, se plantea una solución de diseño centrado en el usuario que promueva la reducción “a cero” de las acciones añadidas, de acuerdo con los principios de Donald Norman:

- **Simplificar la estructura de las tareas:** Ducharse, recolectar el agua, transportarla y reutilizarla constituyen una secuencia de tareas separadas que alteran la rutina del usuario; por ello, el diseño automatiza el proceso para que el usuario únicamente tenga que ducharse.
- **Utilizar el conocimiento en el mundo (visibilidad):** El usuario no debe recordar llenar el tanque del inodoro ni conocer el límite de agua que puede recolectarse, ya que el sistema gestiona este proceso en función del volumen capturado y disponible, sin perjudicar el entorno.
- **Explotar las limitaciones:** El sistema limita de forma natural la reutilización del agua, impidiendo que el usuario la destine a otros usos, con el fin de eliminar la necesidad de tomar decisiones adicionales o que cambie sus hábitos de comportamiento.

En esencia, para que la reutilización de las aguas provenientes del área de la ducha se masifique, el usuario no deberá realizar acciones adicionales, ya que la solución planteada automatizará el proceso con el fin de crear un camino de menor aversión y mayor eficiencia.

3.1 DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL SISTEMA

Sistema Modular para el Aprovechamiento de Aguas Residuales

SIS-MAAR se concibe como una solución integral capaz de aprovechar las aguas residuales domésticas, que responde a la necesidad de gestionar de manera eficiente los recursos hídricos en el hogar. Este sistema recupera las aguas grises provenientes de la ducha, las depura y las redirige hacia el inodoro para su reutilización de forma automática sin la implicación de actividades adicionales por parte del usuario. Asimismo, busca incorporar soluciones de diseño accesibles y sostenibles dentro de entornos urbanos mediante el reciclaje del agua, fomentando el uso racional y responsable del recurso hídrico, con el fin de generar un nuevo ciclo de vida del agua antes de ser desechada.



Figura 20: Render en perspectiva de la estructura *SIS-MAAR V2.0 (aqua-ducto)*,
Elaboración propia, 2025

La solución propone un diseño centrado en el usuario que promueve la automatización, minimizando el esfuerzo de las acciones (usuario-sistema) para su funcionamiento. En conjunto, la accesibilidad y la adaptabilidad del sistema impulsan una instalación no invasiva, manteniendo la estética y la ergonomía del baño; además, gracias a su composición estructural permite el fácil mantenimiento.

3.2 FUNCIONALIDAD

Desde pequeños se nos ha enseñado acerca del ciclo del agua y su proceso continuo de circulación sobre la tierra (evaporación, condensación, precipitación y escorrentía); sin embargo, dentro de un entorno doméstico el agua también cumple un ciclo. Dicho ciclo puede presentar distintas variables según el entorno y el contexto social. En un entorno urbano el agua es abastecida de manera directa al hogar, se utiliza y se vierte (desecha), funcionando de forma lineal.

CICLO DEL AGUA (LINEAL)

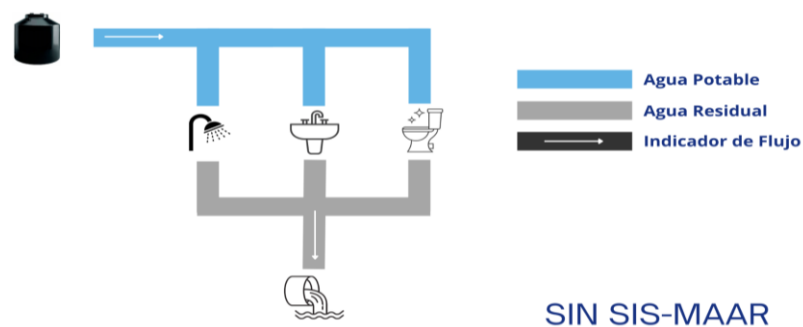


Figura 21: Diagrama del *ciclo normal del agua doméstica sin SIS-MAAR*, Elaboración propia, 2025

Como se muestra en la Figura 21, el ciclo lineal del agua es común dentro de los entornos urbanos, donde el recurso se utiliza una sola vez para posteriormente ser desechado. De acuerdo con el doctor Gleason (2021), el “diseño urbano sensible al agua” dentro del entorno doméstico debe contemplar el aprovechamiento de los recursos hídricos; por lo tanto, el desarrollo de nuestro sistema modular para el aprovechamiento de aguas residuales promueve la incorporación de un ciclo

adicional de uso del agua dentro del hogar mediante una adecuación en el área del baño.

3.2.1 EL CICLO DEL AGUA DENTRO DEL SISTEMA

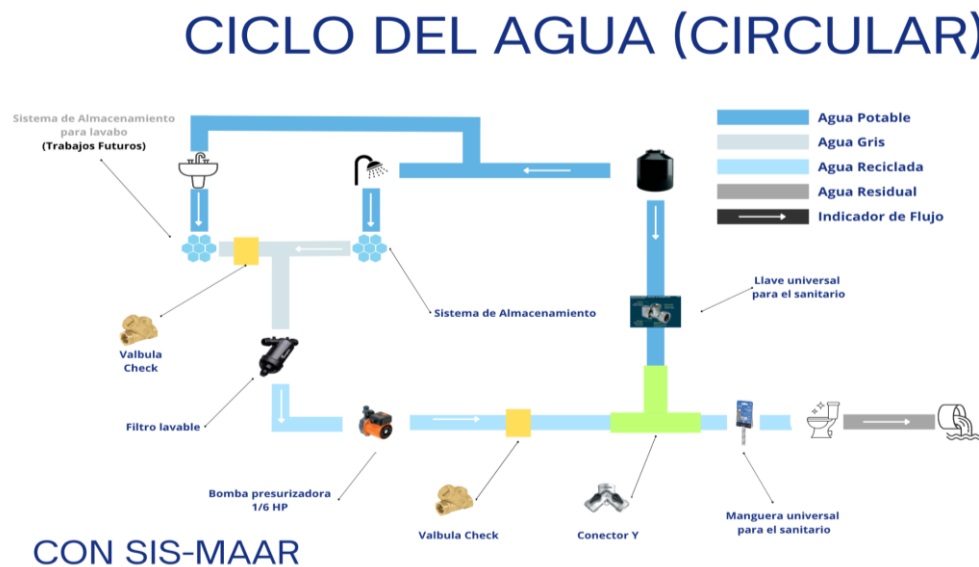


Figura 22: Diagrama del *ciclo circular del agua con la implementación de SIS-MAAR* dentro de una red doméstica, Elaboración propia, 2025

Esta adecuación, constituida por SIS-MAAR, promueve la generación de un ciclo extra del agua, funcionando de manera circular:

- Como etapa previa, el agua es abastecida dentro del hogar.
- 1. El agua potable es dirigida a la regadera para su uso.
- 2. El agua se usa para ducharse.
- 3. Conforme el usuario se baña, el agua cae dentro del sistema de almacenamiento, pasando previamente por una trampa de depuración de partículas de mayor tamaño.
- 4. El agua es depositada dentro del sistema de almacenamiento, convirtiéndose en agua gris; este sistema cuenta con un par de desagües para evitar la devolución del agua por su área de ingreso.
- 5. Cuando el usuario hace uso del sanitario y jala la palanca, el tanque se vacía y se activa la bomba presurizadora de manera automática.

6. La bomba presurizadora comienza a succionar el agua, la cual es conducida hacia un filtro lavable que transforma el agua gris en agua reciclada.
7. Posteriormente, el agua reciclada pasa por la bomba presurizadora para ser dirigida al tanque del sanitario y, una vez este se llena, la bomba se apaga de forma automática.

Sin embargo, existen un par de adecuaciones extra que son necesarias para que este ciclo se complete correctamente; por lo tanto, es necesario explicar la validación del funcionamiento.

3.2.2 VALIDACIÓN

Para complementar el apartado anterior, se realizó una validación con el MVP (Mínimo Producto Viable) de la versión 1.0 de SIS-MAAR, con el fin de determinar el funcionamiento del sistema. En el código QR de la Figura 23 podrán ver el video donde se muestra el funcionamiento del sistema.



Figura 23: Código QR del *video de la validación del funcionamiento del sistema SIS-MAAR en su versión 1.0*, Grabación propia, 2025

Para la prueba de funcionamiento se realizó un prototipo, el cual consistió en reunir los complementos necesarios para validar el funcionamiento del sistema:

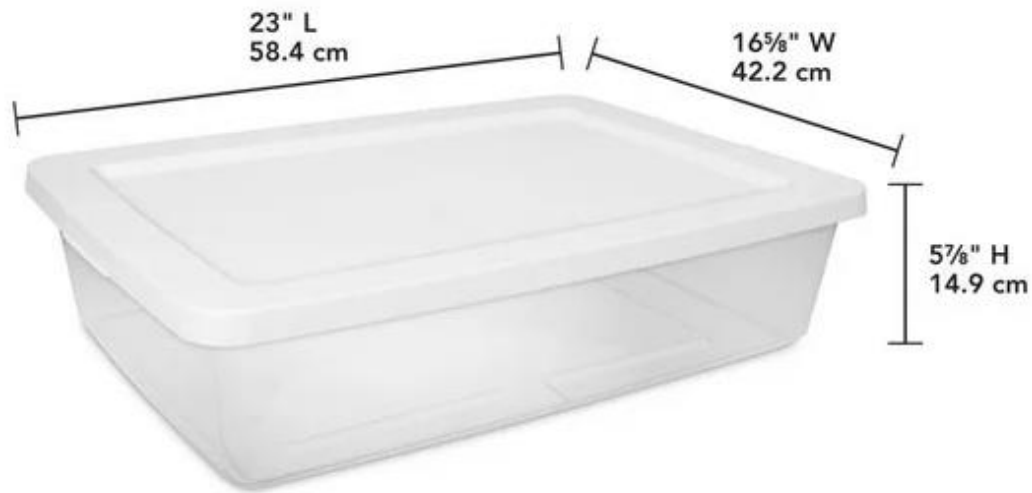


Figura 24: Imagen de Caja organización Sterilite hecha de plástico blanca translúcida con tapa color blanca 26LT, Walmart México, 2025, <https://www.walmart.com.mx/ip//00007314922468>

- Se utilizó una caja transparente de 26 litros marca STERILITE; con ayuda del corte láser se realizó una perforación en el área de la tapa para delimitar el espacio donde posteriormente se colocaron las losetas. A un costado de la caja se realizó una perforación para colocar la salida de agua.

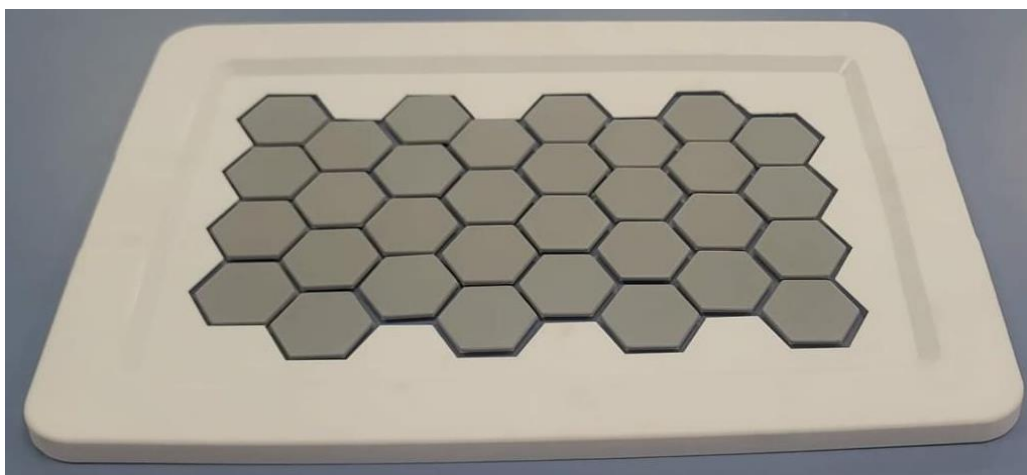


Figura 25: Fotografía de tapa de la caja de plástico intervenida con los mosaicos de PLA, Elaboración propia, 2025

- Los mosaicos, la base interna y los complementos de sujeción se imprimieron en filamento PLA (Ácido Poliláctico).



Figura 26: Fotografía de las piezas impresas en 3D que conforman la estructura interna del contenedor, Elaboración propia, 2025

- Para unir los mosaicos a la base se utilizaron palitos de madera de 8 mm y 11 cm de altura; este material no sería el final, simplemente se utilizó para dar altura y acortar el tiempo de producción del prototipo.



Figura 27: Captura del Contenedor de agua del video de la validación del funcionamiento del sistema SIS-MAAR V1.0, Elaboración propia, 2025

- Después de realizar el ensamblado y armar el contenedor, se colocó sobre el área de la ducha; en este punto se comprobó que el agua corría de manera efectiva entre las vetas de los mosaicos
- Con el fin de lograr una instalación rápida se utilizó manguera flexible y conexiones de $\frac{3}{4}$, en lugar de tubo rígido de CPVC.



Figura 28: Captura de la Bomba presurizadora del video de la validación del funcionamiento del sistema SIS-MAAR V1.0, Elaboración propia, 2025

- Entre la bomba presurizadora y el contenedor deberá colocarse un filtro lavable para disminuir el paso de micropartículas.

- Para la circulación del agua se utilizó una bomba presurizadora automática de un sexto de caballo de fuerza, con una potencia de 140 watts, marca Adir. Este complemento es de bajo consumo energético, compacto y silencioso, lo que evita la contaminación auditiva. Se activa de manera automática con el poco flujo de agua, es decir, cuando se vacía el tanque del inodoro, y se desactiva cuando el flotador del agua del tanque del inodoro indica que está lleno.
- La ubicación de la bomba de agua es estratégica, ya que, de acuerdo con las especificaciones del fabricante, debe colocarse posteriormente al filtro de agua, con el fin de que el agua que atraviesa la bomba contenga la menor cantidad posible de impurezas (JP Ferretería, 2021).

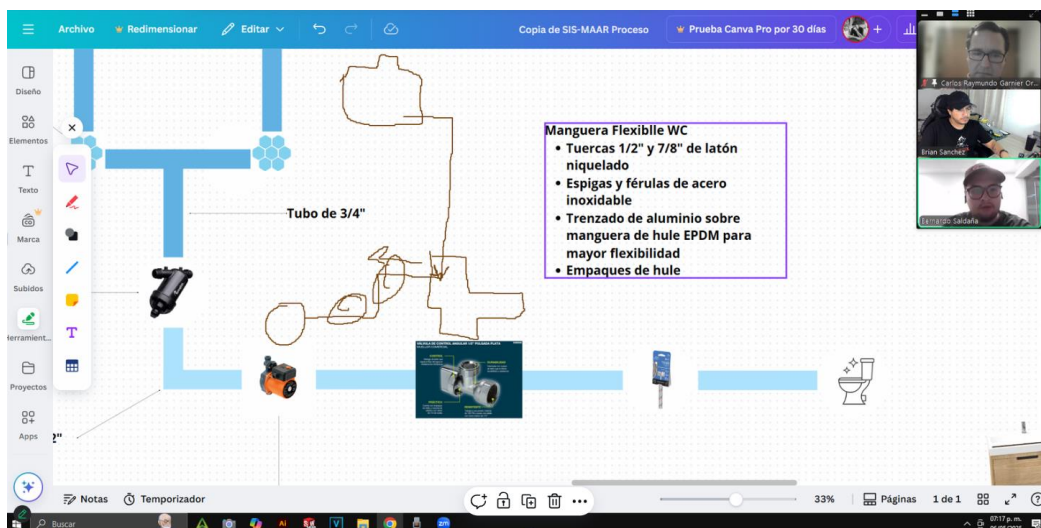


Figura 29: Captura de pantalla de la *Reunión del día 6 de mayo del 2025* junto al profesor Carlos Garnier, el ingeniero Bernardo Saldaña y su servidor Brian Sánchez

Previo a la validación del sistema, el día 6 de mayo del 2025, como aparte de mi estadía en la industria, tuve una reunión con mi encargado, el profesor Carlos Garnier (Socio Fundador de Plug Design), quien convocó al Ingeniero Bernardo Saldaña. En dicha reunión expuse los fundamentos del funcionamiento del sistema y se llegó a la conclusión de que, entre la bomba de agua y la manguera que conduce hacia el inodoro, era necesario para incorporar un elemento que permitiera que el flujo de agua circulara únicamente en un solo sentido e impidiera el retroceso del agua.



Figura 30: Captura de la conexión posterior a la bomba presurizadora del video de la validación del funcionamiento del sistema SIS-MAAR V1.0, Elaboración propia, 2025

- Entre la salida de la bomba de agua y la manguera que ayuda a dispersar el agua hacia el tanque del inodoro deben colocarse dos elementos: una válvula check y un conector tipo “Y”.

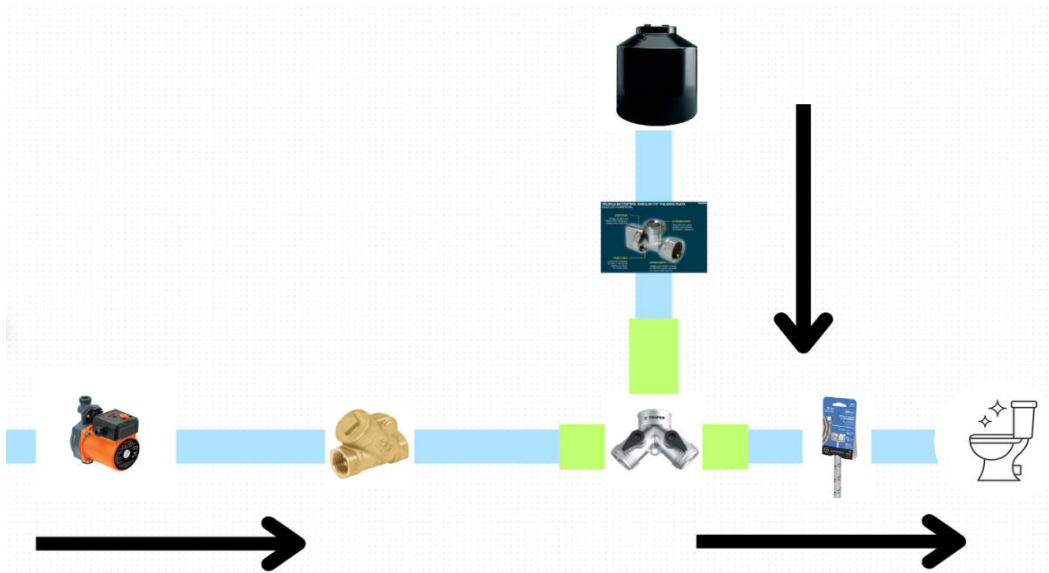


Figura 31: Imagen del diagrama de las conexiones para el funcionamiento correcto del flujo agua de SIS-MAAR, Elaboración propia, 2025

- El orden de los elementos siempre deberá respetarse. De acuerdo con la Fig. X, la válvula check irá después de la bomba presurizadora; entre la válvula check y la manguera que conduce al tanque del inodoro, se deberá colocar el conector tipo “Y”.

Este orden de la colocación de los elementos es crucial, ya que, en primer lugar la válvula check impedirá que el agua reciclada, una vez que llegue al tanque del inodoro, regrese hacia el área del almacenamiento; en segundo lugar, el conector tipo “Y” permitirá disponer del agua de la red doméstica en caso de no disponer con suficiente agua en nuestro sistema de almacenamiento. Finalmente, tomando en cuenta el principio de que “el agua siempre busca una salida”, en caso de hacer uso de la red doméstica del agua potable, la válvula check nos ayudará a impedir que el agua (de la red doméstica) circule hacia el sistema de almacenamiento, corrigiendo el flujo en un solo sentido y evitando fugas o desperdicios.



Figura 32: Captura de pantalla para validar el tiempo de llenado del tanque del inodoro del video de la validación del funcionamiento del sistema SIS-MAAR V1.0 , Elaboración propia,

2025

- De acuerdo con las pruebas realizadas, el tiempo aproximado de llenado del tanque es de 2 minutos con 30 segundos.

Finalmente, como resultado de la validación realizada con el prototipo de la versión 1.0 de SIS-MAAR para determinar su funcionamiento, se obtuvieron resultados favorables en cuanto a la función y al proceso del sistema, ya que respeta los principios establecidos en la primera parte del *Capítulo 5: Desarrollo del sistema*, donde se señala que se debe evitarse la adición de acciones al proceso. Esto permite que el sistema funcione de manera automática, evitando tareas extras por parte del usuario y favoreciendo su satisfacción. No obstante, el diseño del contenedor SIS-MAAR V1.0 no cumple con las características adecuadas de diseño para la interacción con el usuario, por lo que se dio paso al desarrollo de la versión 2.0

3.3 CONCEPCIÓN DEL SISTEMA

Como punto de partida, este proyecto surge de la necesidad de desarrollar herramientas accesibles que permitan a los usuarios gestionar y reutilizar el agua de manera eficiente durante las actividades cotidianas relacionadas con el aseo personal, con el propósito de eficientar el uso de los recursos hídricos en los entornos domésticos urbanos.

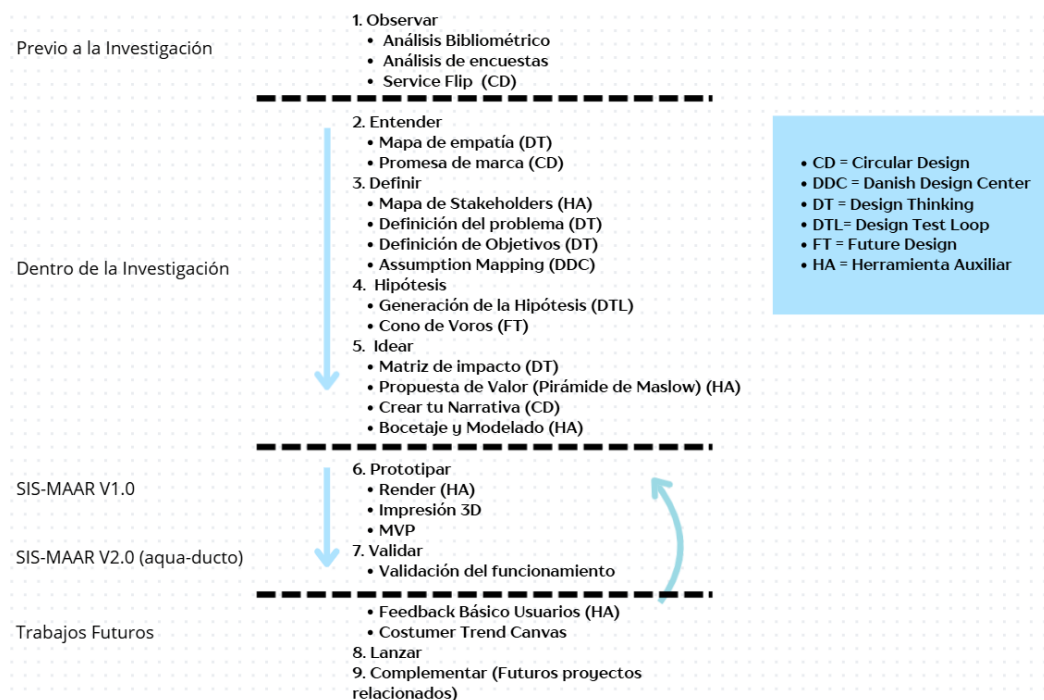


Figura 33: Imagen de la propuesta metodológica aplicada al proyecto, Elaboración propia,

2025

La propuesta metodológica se consolidó en un enfoque híbrido que trasciende la base inicial de *Design Thinking* al integrar herramientas propias del *Circular Design*, el *Danish Design Center*, el *Design Test Loop* y el *Future Design*. Esta combinación de herramientas no solo garantiza la viabilidad técnica y la sostenibilidad ecológica, sino que también asegura el cumplimiento de lo establecido al inicio del Capítulo 3: generar un producto que responda a los principios del diseño centrado en el usuario.

Para determinar la viabilidad de SIS-MAAR en relación con su propuesta de valor, se realizó un ejercicio basado en la pirámide de Maslow, con la diferencia de que, en vez de centrarse en las necesidades humanas, esta pirámide propuesta por Bain & Company para el artículo *The Elements of Value* de la revista *Harvard Business Review* (Almquist et al., 2016), se enfoca en identificar los elementos que ofrece un producto; en este caso, SIS-MAAR. Dicha pirámide consta de cuatro niveles, ordenados de menor a mayor, de la siguiente manera: funcionales, emocionales, transformadores y de impacto social.

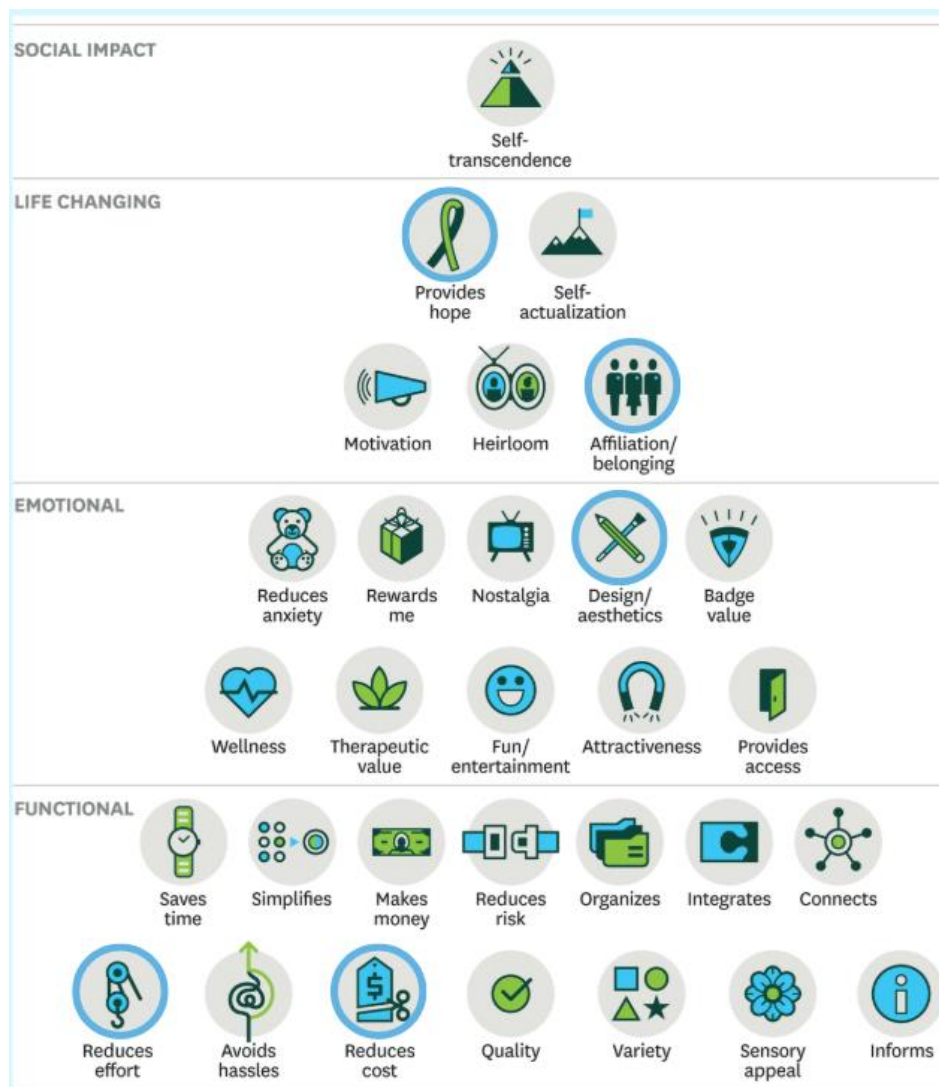


Figura 34: Imagen de la pirámide de propuesta de valor del artículo *The Elements of Value* de la revista *Harvard Business Review*, Almquist et al., 2016

De acuerdo con la Figura 34, se identificaron cinco posibles elementos en los que SIS-MAAR califica:

- 1. **Brindar esperanza** (Cambio de Vida)

En el panorama global actual, donde la crisis hídrica genera preocupación, este sistema representa una **solución tangible, positiva y accesible**. El producto no solo resuelve un problema funcional, sino que genera esperanza en los usuarios, al demostrar que **pequeñas acciones pueden tener gran impacto**.

- 2. **Afiliación y pertenencia** (Cambio de Vida)

El sistema fomenta la identificación con una **comunidad consciente** del cuidado del agua; su implementación en el hogar se convierte en un símbolo de compromiso, permitiendo al usuario sentirse parte de un colectivo que actúa **en favor del medio ambiente**.

- 3. **Diseño y estética** (Emocional)

Entendemos que los objetos que nos rodean deben ser **funcionales y atractivos** visualmente; por ende, el sistema ha sido concebido con un enfoque estético, limpio, moderno y adaptable, que se **integra de forma armoniosa en diferentes entornos habitacionales**.

- 4. **Reducción de esfuerzo físico** (Funcional)

El sistema es de fácil **adaptación al entorno**; sus componentes están diseñados para **simplificar las actividades del usuario y reducir el tiempo de limpieza o mantenimiento**. De este modo, el sistema trabaja para el usuario con un esfuerzo mínimo.

- 5. **Reducción de costos** (Funcional)

El sistema representa una inversión inteligente y sostenible, ya que permite **reutilizar el agua de la ducha** para su aprovechamiento en el WC de manera automática, **reduciendo el consumo de agua potable y generando ahorros** periódicos en el recibo del agua.

Finalmente, esta fase demuestra que la viabilidad del **SIS-MAAR** no solo se limita a ser una herramienta de gestión hídrica para entornos domésticos, sino que también demuestra posee el potencial de actuar como un **catalizador de cambio de comportamiento**, al evidenciar a los usuarios que contar con este sistema constituye un acto de compromiso ambiental que fortalece el sentido de pertenencia y mitiga la preocupación por la crisis hídrica.

3.3.1 SIS-MAAR V1.0

De acuerdo con los hábitos de comportamiento de los usuarios identificados en el “*Análisis bibliométrico y de redes semánticas sobre el aprovechamiento de aguas residuales en el hogar*”, se demostró que existe interés por mejorar la gestión de los recursos mediante la recolección y la reutilización del agua. Por consiguiente, para poder desarrollar un producto con estos principios dentro de un entorno doméstico, se analizaron posibles puntos de control u opciones de intervención.

Con base en el estado del arte referente a las innovaciones enfocadas en el aprovechamiento de los recursos hídricos en el hogar, se llegó a la conclusión de centrar la investigación en el área del baño, ya que, a pesar de que existen hábitos de comportamiento por parte de los usuarios en esta área, (como recolectar el agua de la ducha con un balde antes de que salga el agua caliente), sigue siendo un campo poco explorado, dado que algunos proyectos que han intentado intervenir este espacio no han tenido resultados positivos.

También se realizó un análisis por descarte en el que se consideraron los accesorios ligados al uso del agua dentro del hogar: tinaco, calentador solar, lavabo, sanitario y regadera. Esta última condujo a cuestionar el ciclo del agua en dicha área (explicado en el punto 5.2), donde el suelo con coladera o desagüe se convirtió en el principal punto de enfoque.

Por consiguiente, se llevó a cabo una investigación sobre las opciones vigentes en el mercado relacionadas a esta zona. En primer lugar, se identificó el borde o división del área de la ducha, generalmente construido con material de construcción y predominante en México. En segundo lugar, se encontró un accesorio llamado *plato de ducha*, un producto prefabricado que se coloca sobre el suelo del área de la ducha, el cual ahorra tiempo de instalación y evita la intervención de materiales de construcción como cemento o azulejos. Cabe destacar que este producto es utilizado en parte de Europa, Estados Unidos y algunos países asiáticos.

No obstante, la intención principal del plato de ducha se centra en un aspecto estético y en agilizar la instalación del área. A partir de este punto, y como consecuencia de la suposición “*¿qué pasaría si transformamos el plato de ducha en un accesorio de baño que permita almacenar y reutilizar el agua?*”, comenzó la ideación de SIS-MAAR.



Figura 35: Render en perspectiva de la estructura *SIS-MAAR V1.0* , Elaboración propia, 2025

El **Sistema Modular para el Aprovechamiento de Aguas Residuales** está compuesto por diferentes elementos que permiten generar un ciclo de agua carácter circular; sin embargo, el área de almacenamiento situada en el suelo de la ducha constituye el elemento principal del sistema. Al encontrarse al alcance de los usuarios, este elemento resulta crucial, ya que debe armonizar con la estética del espacio y ser capaz de funcionar de manera adecuada dentro del entorno, de acuerdo con las necesidades del usuario.

De acuerdo con el Código de Edificación de Vivienda (CONAVI, 2017, p.110), en la sección 814 dedicada a las superficies útiles en los baños, se especifica que es necesario contar con una superficie mínima de **0.8 m x 0.8 m**, la cual debe extenderse a una altura mínima de **1.8 m** sobre el nivel de piso en el área de la regadera. Por otro lado, en el manual de Neufert *Arte de proyectar en arquitectura* (1936), se recomienda

un espacio mínimo de **90 x 90 cm** como dimensión estándar para garantizar una experiencia cómoda en el área de la ducha.

La convergencia de estas referencias normativas y de confort establece el límite dimensional dentro del cual debe operar el módulo de recolección de agua; sin embargo, la capacidad de almacenamiento constituye otra variable relevante. Para determinar esta cantidad se utilizó la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned}\text{Volumen (m}^3\text{)} &= \text{Largo (m)} \times \text{Ancho (m)} \times \text{Profundidad (m)} \\ \text{Litros} &= \text{Volumen (m}^3\text{)} \times 1000\end{aligned}$$

Dicho lo anterior, si desarrollamos un área de almacenamiento adaptada al mínimo establecido por el Código de Edificación de Vivienda (80 cm de largo x 80 cm de ancho, con una altura de 15 cm), se aplica el siguiente procedimiento:

$$\begin{aligned}\text{Volumen} &= 0.80 \times 0.80 \times 0.15 \\ \text{Volumen} &= 0.096 \\ \text{Litros} &= 0.096 \times 1000 \\ \text{Litros} &= 96\end{aligned}$$

Dándonos como resultado una capacidad de almacenamiento de 96 litros de agua; sin embargo, es necesario descontar el volumen interno de los aditamentos para obtener una unidad más precisa.

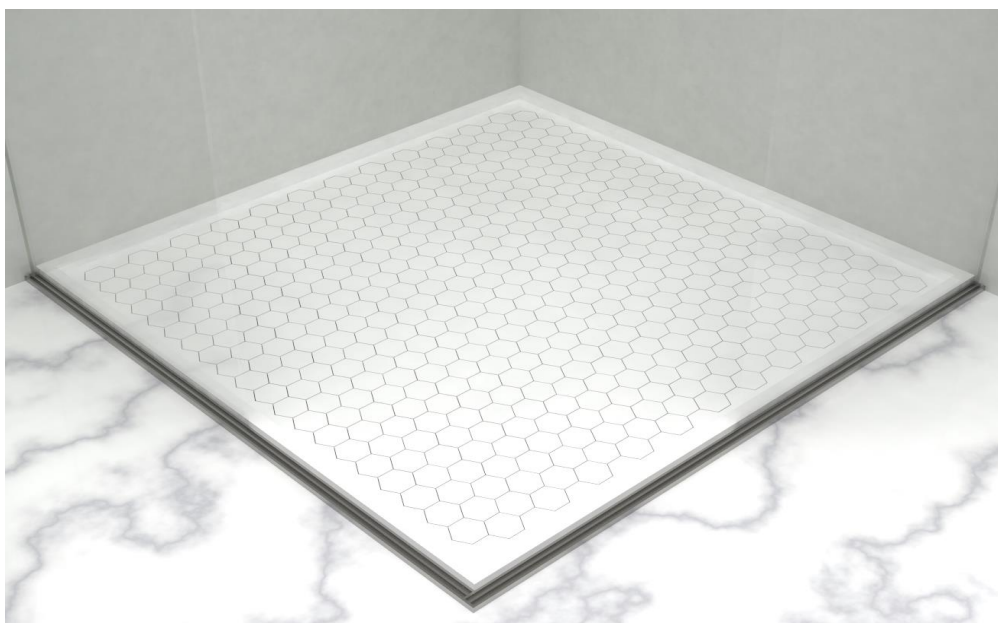


Figura 36: Render del módulo de almacenamiento *SIS-MAAR V1.0*, Elaboración propia, 2025

Continuando con el diseño del módulo de almacenamiento, se propuso eliminar las coladeras o desagües expuestos, los cuales fueron sustituidos por ventas simuladas generadas a partir del espacio de separación derivado de la distribución de los mosaicos. Es decir, de acuerdo con la versión de SIS-MAAR 1.0, al caer el agua de la regadera, esta circularía entre las vetas para ser depositada al interior del módulo de almacenamiento.

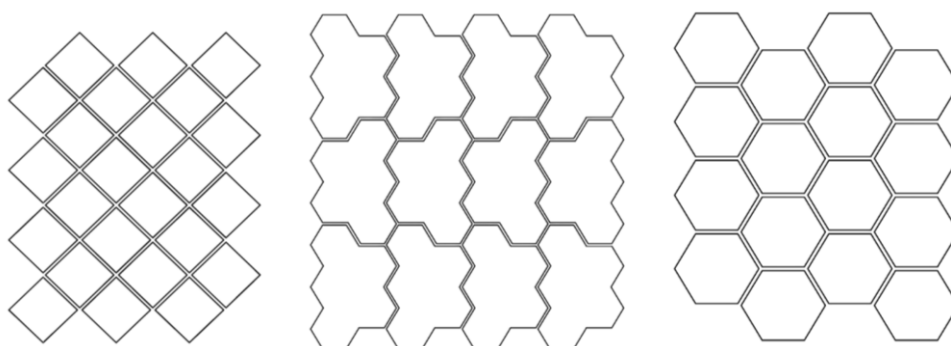


Figura 37: Imagen de los Vectores propuestos para las baldosas de SIS-MAAR 1.0, orden de izquierda a derecha: 1) *Cuadrados a 45°*; 2) *Forma generada a partir de la unión de cinco hexágonos*; 3) *Hexágonos*, Elaboración propia, 2025

Como factor estético, se desarrollaron tres tipos diferentes de baldosa: la primera, compuesta por cuadros con un ángulo de rotación de 45 grados; la segunda, formada por hexágonos que permitieron una configuración más homogénea en la configuración; y la tercera, obtenida mediante la unión de cinco hexágonos de la segunda versión. No obstante, se determinó que la forma hexagonal del mosaico cumplía con los requerimientos del espacio sin la necesidad de comprometer la armonía del entorno.

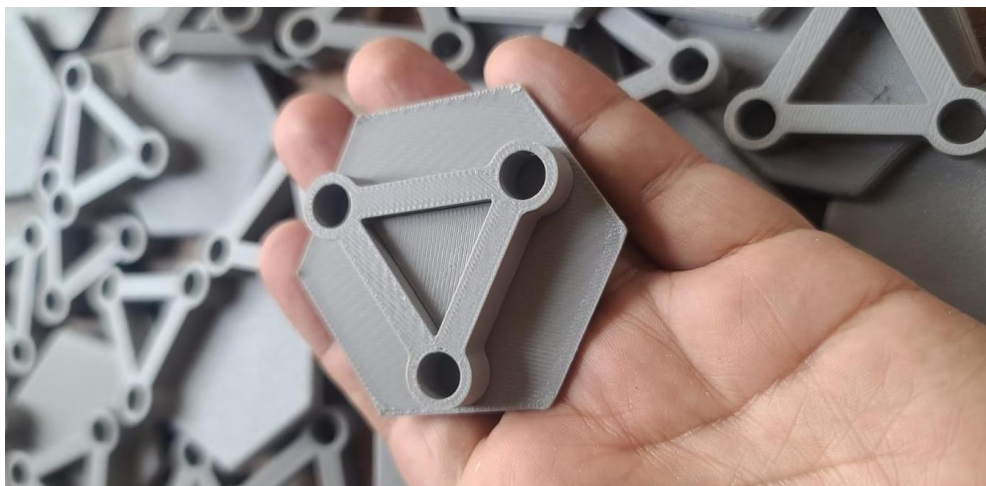


Figura 38: Fotografía del mosaico hexagonal impreso en 3D por la parte interior, Elaboración propia, 2025

Para otorgar la altura necesaria a los mosaicos y lograr que quedaran al ras de suelo, se generaron bases independientes para cada uno, las cuales se anclaban, con ayuda de pernos, a la parte interna e inferior del módulo de almacenamiento. Posteriormente, se integraron todos los elementos externos al módulo de almacenaje necesarios para complementar el **Sistema Modular para el Aprovechamiento de Aguas Residuales** y dar inicio a la validación.

Los resultados del ejercicio de validación de esta primera versión revelaron fallas críticas que orientaron la siguiente iteración de diseño. Se determinó que el ensamblaje del contenedor es tedioso y minucioso; además, limita la universalidad, ya que solo puede instalarse en un solo sentido. El mantenimiento resulta tardado y potencialmente riesgoso, pues es necesario retirar todas las baldosas y los pernos verticales para poder limpiar el contenedor. Asimismo, el sistema no cuenta con un

área de trampa, lo que provoca que las partículas más pesadas ingresen directamente al contenedor o que, en caso de intentar recuperar algún objeto que caiga accidentalmente entre las separaciones de los mosaicos, estos puedan desmontarse.

Aspecto Evaluado	Resultado en SIS-MAAR 1.0	Requisito para SIS-MAAR V2.0
Ensamblaje	Tedioso y minucioso	Debe ser rápido, intuitivo y simplificado.
Universalidad	Solo se instala en un sentido	Debe ser adaptable a múltiples orientaciones y espacios.
Mantenimiento	Tardado y peligroso (requiere la extracción total de todos los elementos internos)	Debe ser sencillo, rápido y seguro.
Filtrado	No cuenta con área de trampa	Debe integrar un sistema de pre-filtrado de fácil acceso y limpieza.

Tabla 4: Resultados de la evaluación de SIS-MAAR 1.0 para la aplicación en su versión 2.0, Elaboración propia, 2025

Esta validación temprana es vital, ya que las deficiencias funcionales y de mantenimiento de la V1.0 no desvirtúan el propósito central del sistema, sino que confirman la necesidad de mejorar la propuesta. Por lo tanto, los problemas detectados se convierten en requisitos de diseño para la siguiente versión, con el fin de que el producto final no solo sea funcional, sino también práctico, seguro y estéticamente deseable.

3.3.2 SIS-MAAR V2.0 (aqua-ducto)

Como parte del proceso de diseño de SIS-MAAR, se generó un bucle como respuesta directa a los hallazgos detectados en la validación de la versión 1.0, cuyo objetivo principal fue transformar las deficiencias identificadas en requisitos tangentes para la versión 2.0 (aqua-ducto). Respecto al funcionamiento general del sistema en su conjunto, no se llevaron a cabo cambios; sin embargo, como se detectó en el apartado anterior, la principal deficiencia se encontraba en el área del piso (módulo del contenedor).



Figura 39: Render en perspectiva de la estructura *SIS-MAAR V2.0 (aqua-ducto)*,
Elaboración propia, 2025

A simple vista, podría parecer que la eliminación de los mosaicos del área del suelo del contenedor fue la modificación más notoria; sin embargo, lo único que se retomó de la versión 1.0 fueron las dimensiones y la compatibilidad con todos los aditamentos del sistema externos a este módulo. Es decir, se tomaron como punto de partida las deficiencias de la versión anterior para desarrollar un módulo de almacenamiento completamente nuevo.

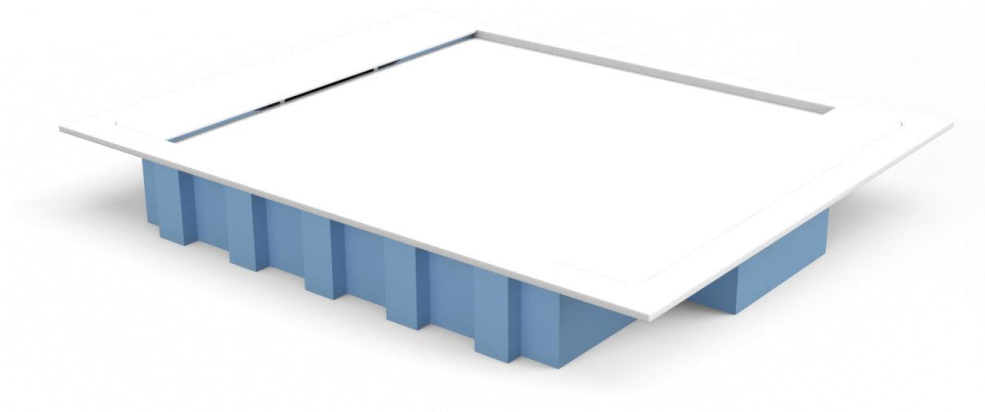


Figura 40: Render del módulo de almacenamiento *SIS-MAAR V2.0 (aqua-ducto)*,
Elaboración propia, 2025

Las baldosas o mosaicos del área del suelo del contenedor fueron sustituidos por una pieza denominada como “base principal”, la cual cuenta con relieve (antideslizante) y con declives hacia el frente y la parte trasera para facilitar la circulación del agua. Con esta pieza se logró evitar un ensamblaje minucioso y, además, se obtuvo acceso directo a las áreas de filtrado y almacenamiento, lo que facilita la limpieza rutinaria sin desmantelar por completo los componentes internos.

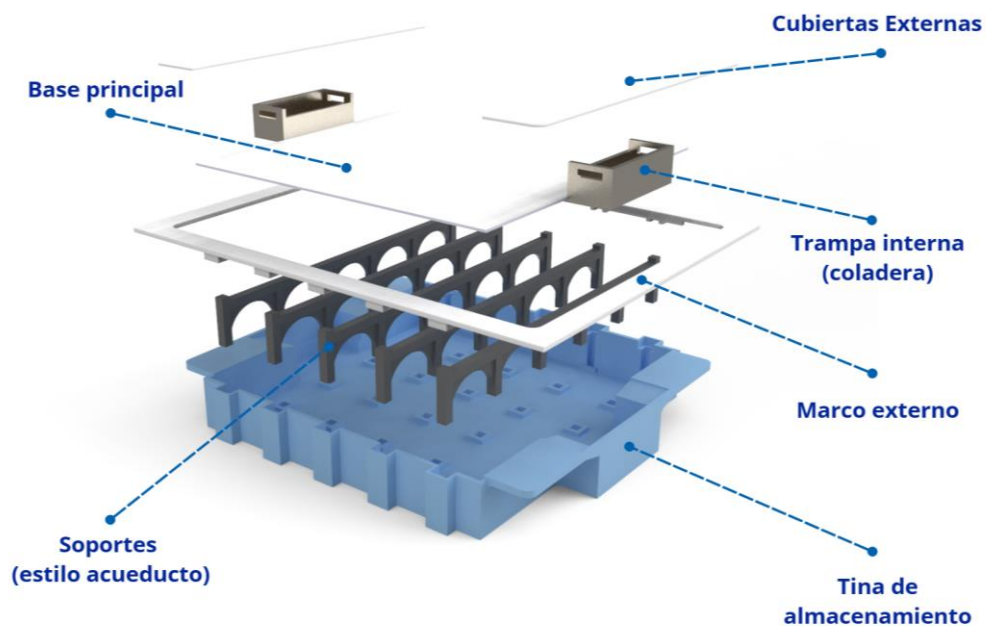


Figura 41: Render en formato explosivo con nombre de los componentes internos sobre el
módulo de almacenamiento *SIS-MAAR V2.0 (aqua-ducto)*, Elaboración propia, 2025

Para unir “la base principal” con la “tina de almacenamiento” del contenedor, se diseñó una serie de soportes internos con forma de acueducto. Dichos soportes cuentan con guías a los costados de la tina y se anclan a la parte inferior-interna de la misma. En la parte superior de estos soportes se coloca la base principal, la cual está hecha a medida para mantenerla fija y estable.



Figura 42: Fotografía de los acueductos internos del modelo a escala impreso en 3D de SIS-MAAR V2.0, Elaboración propia, 2025

El nombre de la versión 2.0 “aqua-ducto”, surge de un juego de palabras proveniente del latín *aqua* (agua) y del diseño de los acueductos internos del contenedor, cuya función principal es soportar la base principal.

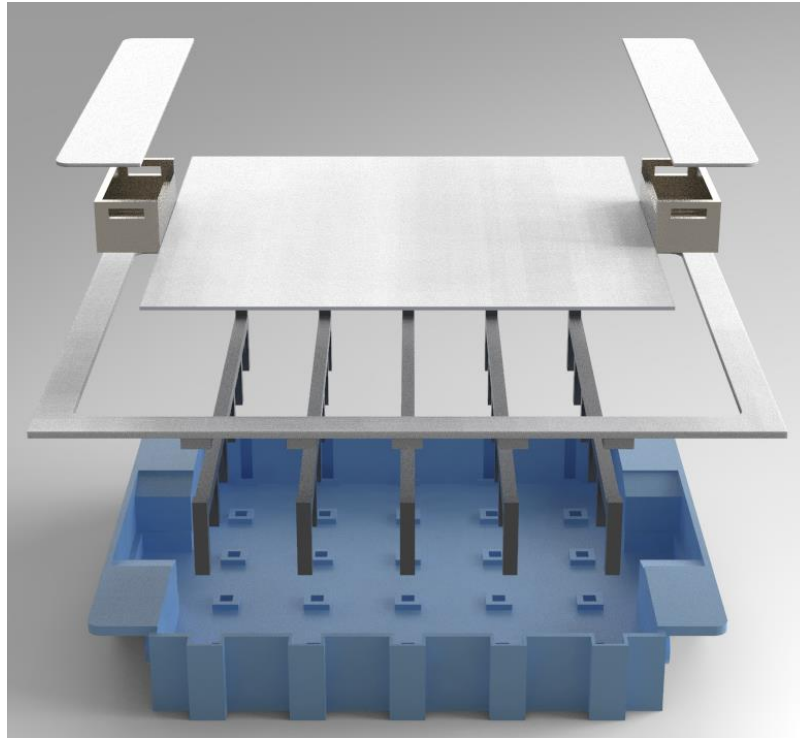


Figura 43: Render en formato explosivo sobre el módulo de almacenamiento *SIS-MAAR V2.0 (aqua-ducto)*, Elaboración propia, 2025

Para sellar de manera hermética el contenedor, se diseñó un “marco externo”, el cual se coloca sobre las guías laterales de la tina de almacenamiento; este elemento, además, evita movimientos indeseados en la base principal.

Como requisito de esta nueva versión de SIS-MAAR, fue necesario integrar un sistema de pre-filtrado de fácil acceso. Por ello, en los extremos frontal y trasero del módulo se integró una trampa de fácil acceso, ya que basta con retirar las “cubiertas externas” del módulo para extraer las canastillas de trampa del contenedor. Cabe mencionar que toda el agua que recolectada en el área de la tina de almacenamiento pasa previamente por dichas trampas.

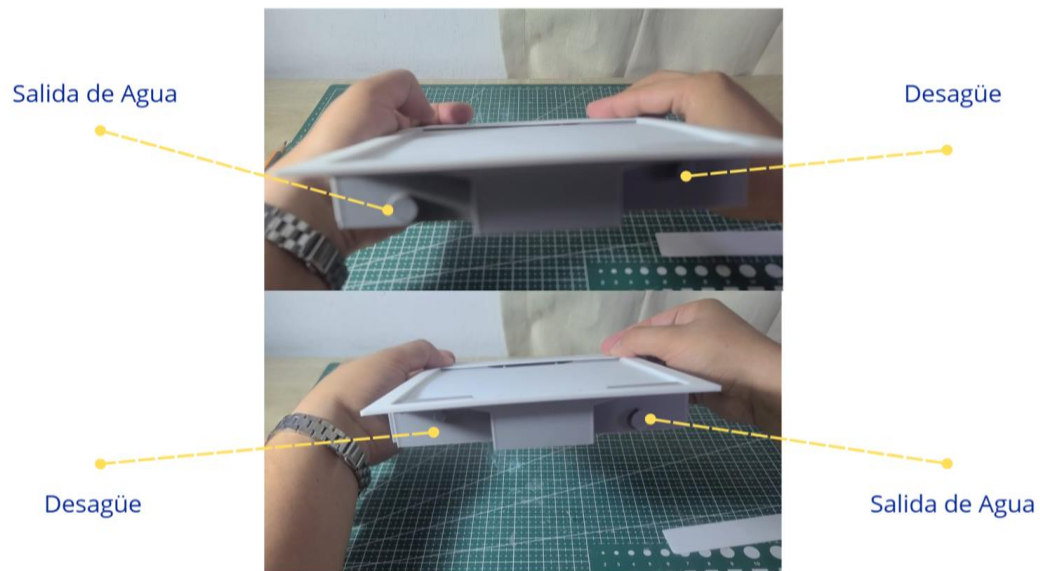


Figura 44: Captura del modelo a escala impreso en 3D de SIS-MAAR V2.0 donde se muestran los desagües y las salidas de agua, perteneciente al *video del ensamblaje de “SIS-MAAR V2.0 aqua-ducto” escala 1/5*, Elaboración propia, 2025

A pesar de que en el módulo se hace referencia a orientación frontal y trasera, esta se determina en función del lado que quedará pegada a la pared, ya que, dependiendo del lado que necesites tu salida de agua y el desagüe es como deberás colocarla. Es decir, basta con girar tu módulo contenedor 180° a la izquierda o la derecha para modificar el sentido de las conexiones de agua.

Una vez ensamblado el módulo de almacenamiento, se mantuvo la directriz planteada en la versión 1.0 respecto a la eliminación de coladeras o desagües expuestos. Si bien se eliminaron las vetas que anteriormente cumplían la función de conducción del agua, estas fueron sustituidas por dos ranuras ocultas, orientadas en la parte frontal y trasera del módulo.

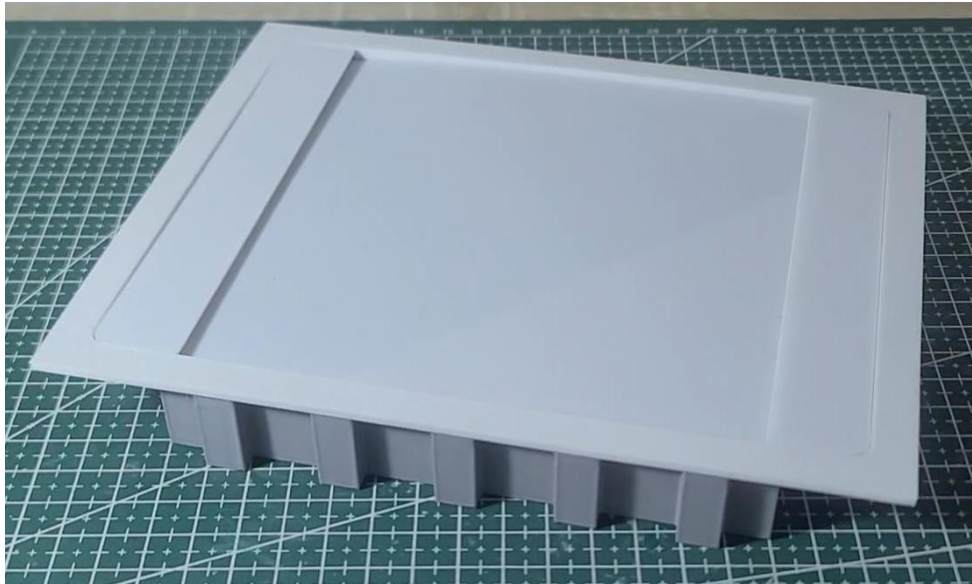


Figura 45: Captura del modelo a escala impreso en 3D de SIS-MAAR V2.0 armado, perteneciente al *video del ensamble de “SIS-MAAR V2.0 aqua-ducto” escala 1/5*, Elaboración propia, 2025

Finalmente, se realizó la impresión en 3D del módulo de almacenamiento de “SIS-MAAR V2.0 aqua-ducto” a escala 1/5, con el fin de validar físicamente el ensamble de dicho modelo. En el código QR de la Figura 46 se puede consultar el video en el que se muestra el ensamble de la pieza.



Figura 46: Código QR del video sobre el *ensamble de “SIS-MAAR V2.0 aqua-ducto” escala 1/5*, Grabación propia, 2025

La versión 2.0 "aqua-ducto" logró resolver las fallas operativas identificadas en su predecesora; los cambios implementados constituyen una respuesta directa a las deficiencias detectadas en la versión 1.0, las cuales comprometían la experiencia del usuario. El nuevo módulo representa una integración exitosa entre la viabilidad técnica y los requisitos de usabilidad, transformando el diseño del sistema en un producto robusto, estético, adaptable y de fácil de mantenimiento; ya que cada nueva característica fue concebida para optimizar la interacción del usuario con el producto.

3.4 ANÁLISIS DE MATERIALES

La selección de materiales para SIS-MAAR repercute directamente en la vida útil del sistema y en la calidad sanitaria; asimismo, debe garantizar la durabilidad, la seguridad del usuario y la viabilidad económica. De acuerdo con lo expuesto en el libro *Plásticos: en el diseño y desarrollo de productos* (Madariaga, 2009), es indispensable adoptar un enfoque crítico y consciente en la selección de materias primas, de modo que su explotación y transformación se orienten hacia el beneficio colectivo y la sostenibilidad ambiental.

En lo que respecta a los complementos externos al área de almacenamiento, se recomienda el uso de tubería de conducción de CPVC (Cloruro de Polivinilo Clorado), resistente al agua caliente, debido a su bajo costo, fácil instalación y resistencia química. Los filtros lavables están compuestos principalmente de polipropileno, material con alta resistencia química, así como de acero inoxidable clase SS 316, resistente a la corrosión y biopartículas, además de cartuchos o complementos de carbón activado. Finalmente, para el sistema de circulación se recomiendan bombas presurizadoras fabricadas con materiales resistentes a la corrosión por el agua tratada y al cloro residual.

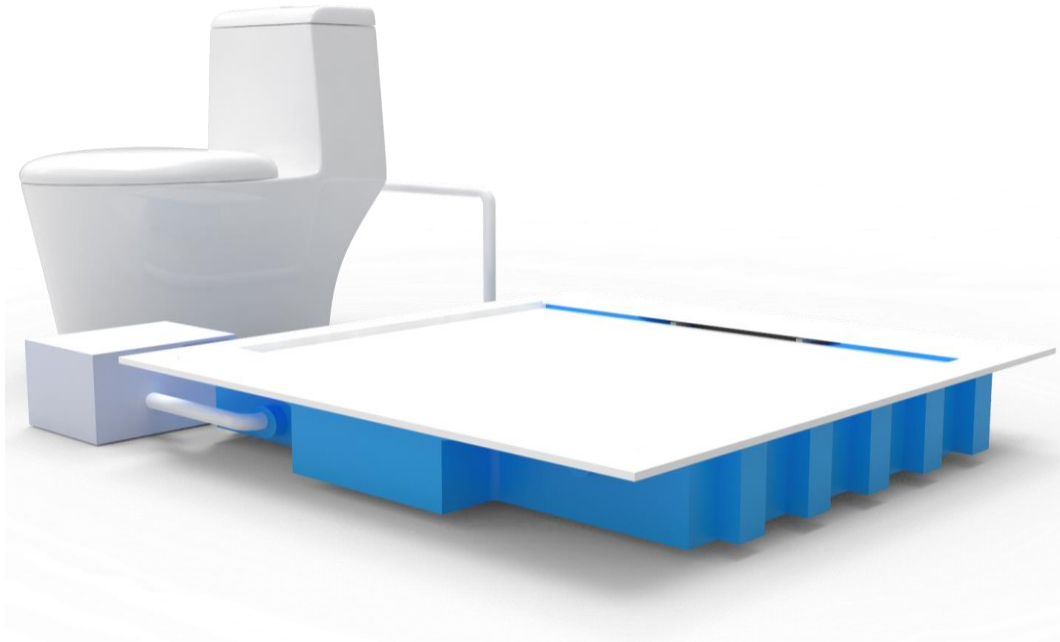


Figura 47: Render de la estructura *SIS-MAAR V2.0 (aqua-ducto)*, Elaboración propia, 2025

Por otro lado, en lo que respecta al módulo de almacenaje V2.0 aqua-ducto. Se implementarán materiales que cumplan con los siguientes requisitos: resistencia química (frente a jabones y detergentes), seguridad física (mediante propiedades antideslizantes) y sostenibilidad (facilidad de reciclaje).

Componente	Función principal	Material propuesto	Justificación	Ventajas
Base Principal (Superficie de contacto)	Seguridad, Estética, Recolección de agua.	Resina con Carga Mineral (Gel Coat Sanitario)	Es el estándar actual para platos de ducha ya que el material tiene las siguientes características: no poroso, antideslizante, fácil de limpiar y estéticamente permite generar variables en color y textura.	Garantiza la durabilidad y minimiza el riesgo de accidentes.
Tina de Almacenamiento (Módulo Contenedor)	Contención de agua gris.	Polietileno de Alta Densidad (HDPE)	Bajo costo, ligero y 100% reciclable, lo que se alinea con los principios del <i>Circular Design</i> ; su proceso de fabricación por moldeo por rotación es ideal para piezas huecas de gran tamaño.	Ofrece excelencia resistencia a la corrosión de los residuos químicos del jabón y del impacto.
Soportes Internos (Acueductos)	Soporte estructural, (Guías de ensamblaje).	Polipropileno (PP)	Material rígido; resistente a la humedad y químicos; altamente reciclable.	Ideal para piezas que requieren rigidez y que estarán sumergidas (aseguran la estabilidad de la Base Principal).
Trampa (Canastillas de Filtrado)	Pre-filtrado de sólidos (cabello, jabón, objetos pequeños), mantenimiento.	Polipropileno (PP) o Nylon	Requiere una malla resistente y fácil de limpiar; el PP es ligero y no se oxida (requisito clave de la versión aqua-ducto).	Ideal para la función de fácil acceso y mantenimiento rápido.
Marco Externo	Sello hermético del módulo, evita el movimiento.	ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno) o PVC	El ABS permite sellado hermético eficiente para prevenir fugas y estabilizar el sistema, sin comprometer su peso ni su resistencia estructural.	Material rígido y duradero.

Tabla 5: Listado de Componentes internos que conforman el módulo de almacenamiento de SIS-MAAR V2.0 (aqua-ducto), Elaboración propia, 2025

La selección de materiales para SIS-MAAR V2.0 ofrece el mejor balance entre desempeño y seguridad. Se prioriza el uso de plásticos de alta tecnología, los cuales representan una alternativa eficaz para garantizar la circularidad del sistema y la máxima durabilidad en un entorno húmedo. La justificación de esta selección se basa en los estándares actuales de la industria para la fabricación de platos de ducha (SoloMamparas, 2025), en los principios de la ingeniería de plásticos — particularmente el uso de HDPE (Polietileno de alta densidad) y PP (Polipropileno) por su idoneidad para el almacenamiento y la reciclabilidad—, así como las prácticas actuales en el diseño de sistemas para el manejo de aguas grises.

La inclinación por el uso de este tipo de materiales puede sentirse como paradójica, ya que promueve el uso de plástico para alcanzar metas de sostenibilidad y beneficio colectivo; sin embargo, su adecuada selección, durabilidad y potencial de reciclaje permiten minimizar los impactos ambientales a largo plazo.

3.5 ESCENARIOS DE IMPLEMENTACIÓN Y ADAPTABILIDAD

SIS-MAAR está diseñado para intervenir directamente en el área de la regadera del hogar, ya que es el punto de mayor generación de aguas grises del baño; el módulo de la tina de almacenamiento se ajusta a las dimensiones mínimas establecidas por el Código de Edificación de Vivienda (CONAVI, 2017), de 80 cm x 80 cm, lo cual garantiza la viabilidad de instalación en viviendas de interés social o en baños de dimensiones reducidas. Sin embargo, de acuerdo al mercado de platos de ducha, se puede considerar el desarrollo de diferentes modelos conforme a las medidas más comunes (90cm x 90cm, 80cm x 100cm, 80cm x 120cm, 90cm x 120cm).

Figura 48: Ejemplo del área de la ducha de un baño



Fuente. Imagen generada con la herramienta de inteligencia artificial ChatGPT 11/06/2025, a partir del prompt: "Analiza las tendencias actuales de interiorismo y genera imagen realista de alta resolución un baño moderno (en específico el área de la ducha) de color blanco, añade acentos en el azulejo de las paredes en color verde y combínalo con algunas plantas ", OpenAI.

El desarrollo de SIS-MAAR V2.0 está dirigido a nuevos desarrollos inmobiliarios; el módulo puede instalarse directamente sobre la losa (previamente preparada) antes del recubrimiento final, con el fin de sustituir la construcción de albañilería tradicional. No obstante, como trabajo futuro se plantea la posibilidad de desarrollar una versión *retrofit* para la renovación de baños existentes, capaz de reemplazar directamente la función de un plato de ducha preexistente, con el objetivo de minimizar las intervenciones estructurales y la generación de escombros, aspecto clave para su adopción en hogares ya habitadas.

3.5.1 TIPOLOGÍA DE VIVIENDAS Y ALCANCE

El diseño de SIS-MAAR V2.0 puede implementarse en múltiples contextos geográficos y viviendas que enfrentan desafíos hídricos:

- **Viviendas Urbanas:** Ideal para departamentos y hogares urbanos donde el espacio es limitado y la instalación de cisternas o sistemas de recuperación de agua de lluvia o gris es inviable; SIS-MAAR se integra al entorno funcional del área del baño sin ocupar espacio adicional.
- **Mercados Internacionales:** Al adoptar la conceptualización del *plato de ducha prefabricado* (accesorio predominante en diferentes mercados internacionales), SIS-MAAR no requiere un cambio cultural drástico en su instalación, sino una actualización funcional en un formato ya conocido, lo que facilita su exportación y adopción en mercados con mayor conciencia hídrica.
- **Zonas de estrés hídrico:** El sistema se convierte en una herramienta tangible de resiliencia hídrica, ya que proporciona un medio automatizado para reducir la dependencia de la red de agua potable en zonas con escasez o con altos costos de servicio.

La implementación de SIS-MAAR garantiza una adaptabilidad universal, al ajustarse a las dimensiones mínimas normativas y permitir su instalación en nuevos desarrollos inmobiliarios, lo que facilita su adopción en viviendas urbanas con espacio limitado y su proyección hacia mercados internacionales, consolidándose como una solución tangible de resiliencia hídrica.

CAPÍTULO 4: IMPACTO

Este capítulo concluye la investigación del *Sistema de Recuperación de Aguas Sanitarias para viviendas Urbanas*; no obstante, como parte de las conclusiones finales, se presenta el impacto de SIS-MAAR V2.0 "aqua-ducto" al cuantificar el rendimiento potencial del sistema en términos de ahorro hídrico y económico, a partir de los resultados obtenidos en las fases previas a través de un ejercicio de simulación de consumo. Asimismo, se establecen las conclusiones generales y se delimitan las futuras líneas de trabajo que permitirán garantizar la escalabilidad y la sostenibilidad del proyecto.

4.1 IMPACTO AMBIENTAL ESTIMADO (AHORRO DE AGUA, REDUCCIÓN DE CONSUMO)

El impacto ambiental de SIS-MAAR radica directamente en su capacidad para reducir la demanda de agua potable en el hogar destinada a usos no esenciales, como la descarga del inodoro, mediante la reutilización de aguas grises provenientes de la ducha. Este enfoque adquiere especial relevancia en el contexto actual; de acuerdo con ONU-Hábitat (2021), México presenta cifras de consumo per cápita notablemente superiores a los estándares internacionales, posicionándose en el quinto lugar a nivel global entre los países con mayor consumo de agua en el mundo.

En relación con el informe final de *Estimación de los factores y funciones de la demanda de agua potable en el sector doméstico en México* (CONAGUA, CIDE, 2012), después del agua destinada para bañarse, la descarga del inodoro constituye la segunda actividad de mayor consumo de agua potable dentro del hogar, representando aproximadamente el **19%** del consumo doméstico total.

Como parte del ejercicio para determinar el consumo de agua con la implementación de SIS-MAAR (con una capacidad de 100 litros para fines prácticos), se considera un perfil familiar compuesto por dos personas (familia sin hijos), a quienes se

denominará Daniel y Camila. Ambos habitan en un departamento y presentan los siguientes hábitos de consumo relacionados con su huella hídrica.

Consumo 1 persona					
Veces	Actividad	Minutos	Consumo L x min	Consumo Total L	Consumo m3
7	Inodoro	N/A	6	42	0.042
1	Ducha	5	12	60	0.06
3	Lavado dental	N/A	2	6	0.006
10	Lavado manos	0.5	3	15	0.015
2	Lavado de trastes	4	3	24	0.024
Consumo al día				147	0.147
Consumo semanal				1029	1.029
Consumo mensual				5370	5.37

4	Lavadora	N/A	60	240	
Variable semanal 1 persona					

Tabla 6: Consumo de agua por persona en relación a las actividades domésticas más comunes, datos de consumo obtenidos de la publicación *Tu huella hídrica*, SEMARNAT.

Los datos presentados en la tabla anterior reflejan los hábitos de consumo de agua en un hogar con uno y dos habitantes (Daniel y Camila), considerando la frecuencia de uso y el volumen consumido por minuto o por cada actividad:

- **Inodoro (7 veces al día):** Con un consumo de 6 litros por descarga, representa un gasto de 42 litros diarios por persona.
- **Ducha (1 vez al día):** Con un flujo aproximado de 12 litros por minuto, una ducha de 5 minutos consume hasta 60 litros diarios.
- **Lavado dental (3 veces al día):** Con un consumo estimado de 2 litros por uso, se obtiene un total de 6 litros diarios.
- **Lavado de manos (10 veces al día, 30 segundos):** Aunque es un uso frecuente pero de corta duración, con un flujo de 3 litros por minuto representa un consumo total de 15 litros diarios.
- **Lavado de trastes (2 veces al día):** Con un flujo de 3 litros por minuto, esta actividad consume aproximadamente 24 litros diarios.
- **Lavadora (4 veces a la semana-variable semanal):** Cada ciclo consume alrededor de 60 litros, lo que suma un total de **240 litros semanales** por hogar, considerando que la lavadora es de uso compartido. Este consumo, al ser semanal, no se incluye en el cálculo diario inicial, pero resulta clave comprender el consumo total de agua a lo largo de la semana o el mes.

Nota: Pueden existir variables de consumo de agua según producto y modelo de cada uno de los electrodomésticos o accesorios utilizados; sin embargo, los datos presentados en la tabla 6 fueron tomados de la publicación *Tu huella hídrica* de la SEMARNAT.

- **Consumo diario:** Una persona consume **147 litros al día**, lo que equivale a 0.147 m³. Para dos personas, el consumo se duplica a 294 litros, es decir, 0.294 m³.
- **Consumo semanal:** Una persona presenta un consumo total de **1,029 litros** (1.029 m³) mientras que dos personas consumen 2,058 litros o 2.058 m³.
- **Consumo mensual:** Una persona consume aproximadamente **5,370 litros** (5.37 m³); por lo tanto, dos personas presentan un consumo mensual proyectado de **10,740 litros** o 10.74 m³. Esta estimación incluye el consumo hídrico correspondiente al uso de la lavadora para un hogar de dos personas.

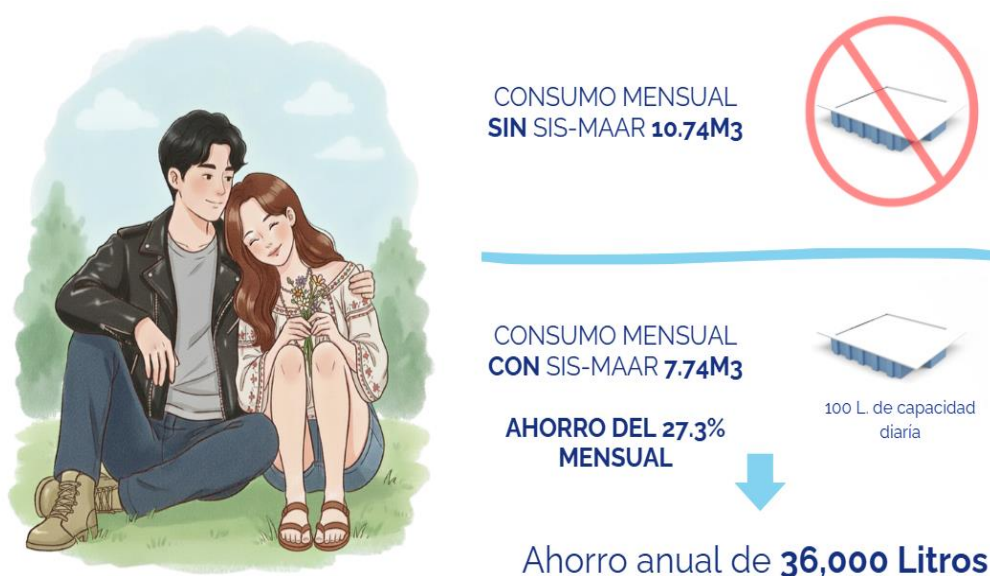


Figura 49: Imagen comparativa en relación al *consumo mensual de agua sin y con la implementación de SIS-MAAR*, Elaboración propia, 2025

De acuerdo con los datos obtenidos sobre el consumo hídrico y al incorporar la variable "SIS-MAAR", con una capacidad de recuperación de 100 litros de agua diarios, se obtiene un volumen de 3,000 litros de agua reciclada al mes destinada al uso del inodoro. En consecuencia, en lugar de presentar un consumo mensual de

10,740 litros de agua, obtendremos un ahorro mensual del 28%, equivalente a un consumo neto de 7,740 litros mensuales.

Si se proyecta esta misma variable a un periodo anual, el sistema permite ahorrar hasta 36,000 litros de agua, equivalentes a 36 m³, lo que representa más de 3 meses de consumo hídrico del hogar.

4.2 IMPACTO ECONÓMICO PARA LOS USUARIOS

El impacto económico de SIS-MAAR se manifiesta a través del ahorro reflejado en el recibo del servicio de agua y en la mitigación de gastos indirectos derivados de la escasez. No obstante, este ahorro depende directamente de la estructura tarifaria local. Por ello, para este ejercicio se toma como referencia la tarifa vigente del SIAPA 2025 para la Zona Metropolitana de Guadalajara, anteriormente vista en el apartado 2.4.2.

Cabe destacar que la medición del consumo en metros cúbicos (m³) resulta fundamental, ya que el SIAPA emplea esta unidad para determinar el cobro del servicio en cada hogar. Al exceder cierto límite se aplican tarifas adicionales, de ahí la relevancia de considerar esta unidad de medida desde el presentado en el apartado anterior.

Tarifa SIAPA 2025						
m3	Litros	Costo	Tarifa base	Tarifa extra	m3 extra	Equivalencia m3 a L
0	0	\$ 85.84	\$ 85.84	0		1000
1	1000	\$ 85.84	\$ 85.84	0		1000
2	2000	\$ 85.84	\$ 85.84	0		1000
3	3000	\$ 85.84	\$ 85.84	0		1000
4	4000	\$ 85.84	\$ 85.84	0		1000
5	5000	\$ 85.84	\$ 85.84	0		1000
6	6000	\$ 106.27	\$ 85.84	20.43	1	1000
10	10000	\$ 187.99	\$ 85.84	20.43	5	1000
11	11000	\$ 210.46	\$ 85.84	20.77	6	1000
14	14000	\$ 272.77	\$ 85.84	20.77	9	1000
15	15000	\$ 353.14	\$ 85.84	26.73	10	1000
21	21000	\$ 513.52	\$ 85.84	26.73	16	1000
22	22000	\$ 542.97	\$ 85.84	26.89	17	1000
59	59000	\$ 1,537.90	\$ 85.84	26.89	54	1000
60	60000	\$ 1,801.29	\$ 85.84	31.19	55	1000
99	99000	\$ 3,017.70	\$ 85.84	31.19	94	1000
100	100000	\$ 3,777.54	\$ 85.84	38.86	95	1000
149	149000	\$ 5,681.68	\$ 85.84	38.86	144	1000
150	150000	\$ 6,129.44	\$ 85.84	41.68	145	1000
250	250000	\$ 10,297.44	\$ 85.84	41.68	245	1000

Tabla 7: Tarifa del SIAPA del año 2025 de acuerdo al consumo por metro cúbico de los usuarios de la Zona Metropolitana de Guadalajara, Elaboración propia

La tarifa base para las viviendas de la Zona Metropolitana de Guadalajara en el año 2025 es de \$85.85 mensuales; sin embargo, esta tarifa varía en función de los niveles de consumo. Es decir, cuando una vivienda registra un consumo mensual entre 6 m³ y 10 m³, se aplica un cargo adicional de \$20.43 por cada metro cúbico excedente, incrementándose de manera gradual conforme aumenta el nivel de consumo.

Retomando los datos del ejercicio anterior y considerando el perfil familiar de Daniel y Camila, bajo el supuesto de que residen en la Zona Metropolitana de Guadalajara, su consumo mensual estimado es de 10,740 litros de agua, equivalente a 10.74 m³. En este escenario, sin la implementación de SIS-MAAR, el monto a pagar mensualmente por el servicio de agua sería de \$187.99, correspondiente a la tarifa base más cinco cargos extras por sobrepasar los 5 m³.



Figura 50: Imagen comparativa en relación al ahorro del *consumo mensual de acuerdo a la implementación de SIS-MAAR*, Elaboración propia, 2025

No obstante, si deciden implementar SIS-MAAR en su hogar, su consumo mensual se reduciría a 7,740 litros de agua, equivalente a 7.74 m³, por lo que el pago mensual sería de \$126.70 (correspondiente a la tarifa base más dos cargos extras por sobrepasar los 5 m³). En consecuencia, con la implementación del *Sistema Modular para el Aprovechamiento de Aguas Residuales*, se obtendría un ahorro neto del 32.6% en el recibo del agua, lo que equivale a \$61.29 mensuales.

De manera anual, este ahorro representa 36,000 litros de agua, lo que, traducido en términos económicos, equivale a \$735.48 anuales. Si bien esta cifra puede parecer modesta en términos absolutos debido al costo del agua, la ventaja económica real del sistema se manifiesta en su viabilidad a largo plazo y en la mitigación de riesgos asociados a la escasez hídrica.

4.3 PROYECCIÓN DEL SISTEMA COMO HERRAMIENTA DE TRANSFORMACIÓN SOCIAL

De acuerdo con los ODS de la Agenda 2030, el desarrollo de SIS-MAAR V2.0 tiene el potencial de trascender como un producto de gestión hídrica para convertirse en una herramienta de transformación social.

- **ODS 6 Agua Limpia y saneamiento:** Este es el objetivo central del proyecto ya que SIS-MAAR se concibe como una herramienta de transformación social enfocada en la democratización del acceso al agua y al saneamiento, mediante **el reciclaje** de las aguas grises con el fin de reducir directamente la demanda de agua potable (Metas 6.4, 6.a y 6.b).
- **ODS 11 Ciudades y comunidades sostenibles:** El sistema contribuye a la resiliencia urbana al centrarse en la eficiencia de la vivienda; de acuerdo con la Meta 11.b, que busca aumentar el número de zonas urbanas que implementan el uso eficiente de los recursos
- **ODS 12 Producción y consumo responsables:** El diseño del producto es clave para la transformación social; de acuerdo con la Meta 12.2, SIS-MAAR mejora la gestión de los recursos al transformar un desecho (agua gris) en un recurso reutilizable.

SIS-MAAR modifica la relación del usuario con el agua, ya que fomenta una conciencia hídrica activa al transformar al residente de un consumidor pasivo en un gestor de su propio recurso, a partir de la visibilidad del ciclo de reciclaje en el hogar. Esta descentralización ofrece una solución asequible y adaptable que fortalece a las comunidades vulnerables frente al desabasto. Finalmente, al integrar principios de durabilidad y circularidad, el sistema promueve una economía circular doméstica orientada a reducir la dependencia del agua potable y la generación de residuos domésticos.

4.4 TRABAJOS FUTUROS

En primera instancia, se busca escalar y certificar SIS-MAAR V2.0, para posteriormente desarrollar una versión *retrofit* e integrar tecnologías inteligentes:

1. **Desarrollo y prototipado 1:1 (versión comercial):** Aunque en SIS-MAAR v1.0 se validaron los principios hidráulicos, de ensamble y de función; la versión 2.0 *aqua-*

ducto se basó en renders y prototipos físicos a escala; por lo cual será necesario construir y validar SIS-MAAR v2.0 *aqua-ducto* en tamaño real, con el objetivo de obtener datos de carga estructural y funcionamiento hidráulico con flujo máximo, así como realizar pruebas de filtración y tratamiento de aguas grises.

2. **Análisis de Ciclo de Vida (ACV):** Realizar un ACV para validar la factibilidad del sistema frente a diferentes sistemas de reciclaje de aguas grises, con el fin de cuantificar el impacto desde la extracción de materia prima hasta el fin de su vida útil, además de validar el desgaste de los componentes bajo condiciones de uso continuo durante períodos mayores a seis meses.
3. **Colaboración regulatoria y estandarización:** Establecer mesas de trabajo con autoridades (CONAGUA, SACMEX) y organismos de normalización (CONAVI) para impulsar el desarrollo de un marco regulatorio que facilite la certificación e integración de sistemas domésticos de reciclaje de aguas grises.
4. **SIS-MAAR v2.1 "aqua-ducto retrofit":** Diseñar una variante que permita su instalación en entornos domésticos que busquen remodelar el área sin la necesidad de derribar la base de ducha anterior, como un desarrollo clave para la expansión del mercado.
5. **Integración de tecnologías inteligentes:** Incorporar sensores para monitorear el consumo, la calidad y el nivel de agua almacenada, mediante el desarrollo de una aplicación móvil para que el usuario tenga la información a la mano, con el fin de mantenerse a la vanguardia y reforzar la retroalimentación positiva y la conciencia hídrica.

CONCLUSIONES

En los primeros capítulos se establece el marco de la crisis hídrica como un problema social relacionado a la sostenibilidad y la gestión inadecuada de los recursos; asimismo, se demuestra que la dependencia exclusiva de la infraestructura centralizada resulta insostenible, por lo que este fenómeno exige un cambio de paradigma. Por otro lado, de acuerdo con el Objetivo 6 de los ODS, se reconoce el acceso al agua como un derecho humano, lo que reafirma el enfoque de buscar soluciones que no solo garanticen el acceso, sino que promuevan la gestión responsable y la reutilización de los recursos hídricos.

La clasificación de aguas y el análisis de los hábitos de consumo de los usuarios, ayudaron a identificar el área de la ducha como la principal fuente de agua gris de uso continuo dentro del hogar; estos datos respaldaron la oportunidad de interceptar el ciclo lineal del agua para proponer un flujo circular que permita reciclar el líquido antes de ser vertido al drenaje.

Por lo tanto, la investigación previa logró servir como antecedente para el desarrollo de un producto que aborda la problemática de la escasez hídrica en entornos urbanos mediante la innovación y la sostenibilidad, desde un enfoque centrado en el usuario; en consecuencia, las conclusiones generales se estructuran a partir de la comprobación de la hipótesis y el cumplimiento de los objetivos planteados.

Mediante la implementación de SIS-MAAR se logró comprobar la hipótesis central, ya que se demostró que, mediante la intervención en el área de la ducha, es posible abastecer el inodoro, lo que permite un ahorro proyectado de casi 100 litros de agua al día en un hogar de dos ocupantes. En consecuencia, esta optimización reduce la demanda de la red pública en un 28% del consumo mensual total del hogar, lo cual confirma que SIS-MAAR funge como una solución de alto impacto para mitigar la presión sobre el abastecimiento de agua.

SIS-MAAR emerge como una herramienta de transformación social, ya que contribuye directamente a las metas del Objetivo 6 de los ODS mencionados a lo largo de la investigación. Asimismo, el diseño trasciende de lo funcional para promover una cultura de conservación del agua, al proponer un ciclo extra del recurso que

transforma al usuario de “consumidor pasivo” a “gestor activo” de su propio recurso, fomentando el sentido de pertenencia y responsabilidad sobre el valor del agua.

Finalmente, la investigación demuestra que SIS-MAAR V2.0 *aqua-ducto*, en su versión más reciente, es la solución necesaria que surge del análisis riguroso del panorama hídrico actual. El sistema no es solo una innovación tecnológica, sino también es una herramienta de innovación social que democratiza la sostenibilidad mediante la transformación de un recurso desechado en un recurso aprovechable (agua gris). El futuro del sistema reside en la validación empírica a través de un prototipo a escala real, el análisis de ciclo de vida y la colaboración regulatoria para asegurar su estandarización y adopción masiva.

ANEXOS:

BIBLIOMETRÍA SOBRE EL APROVECHAMIENTO DEL AGUA EN MOBILIARIO PARA EL HOGAR (2001 - 2024)

Extracto del poster bibliométrico sobre el *aprovechamiento del agua en el mobiliario para el hogar en los últimos 23 años*, cuyo objetivo es identificar, mediante una metodología exploratoria, las investigaciones realizadas entre 2001 y 2024 en las bases de datos Scopus y Query Wos relacionadas con la *innovación y sostenibilidad* aplicadas al *aprovechamiento del agua en el mobiliario del hogar*.

La investigación recopiló un total de 86 artículos, después de unificar y eliminar 20 duplicados de una muestra inicial, y utilizó el software **RStudio** con el paquete **Bibliometrix** para el análisis. Los resultados generales arrojaron que 408 autores investigan estos temas, con un promedio de 20.67 citas por documento, y abordan conceptos clave como agua, aguas residuales (*sewage, wastewater*), sustentabilidad (*sustainable development*), y equipamiento de baño (*bathroom equipment*).

Para consultar el contenido completo, puede escanear el siguiente código Qr, mediante el cual será redirigido al póster de análisis bibliométrico.



Figura 51: Código QR del Póster *Bibliometría sobre el aprovechamiento del agua en mobiliario para el hogar 2001 a 2024*, Elaboración propia, 2024

BIBLIOGRAFÍA

Aldaya, M. M., Chapagain, A. K., Hoekstra, A. Y., & Mekonnen, M. M. (2011). *The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard*. Earthscan.
https://www.waterfootprint.org/resources/TheWaterFootprintAssessmentManual_English.pdf

Almquist, E., M, J., Senior, & Bloch, N. (2016). The elements of value. *Harvard Business Review*, 94(9), 13.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5670042>

Allan, J. A. (1998). Virtual water: A strategic resource—Global solutions to regional deficits. *Ground Water*, 36(4), 545-546. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.1998.tb02825.x>

Asamblea General de las Naciones Unidas. (2010). Resolución 64/292: *El derecho humano al agua y el saneamiento* 28 de julio del 2010 . <https://docs.un.org/es/A/RES/64/292>

Awasthi, A., Gandhi, K., & Rayalu, S. (2021). Greywater treatment technologies: A comprehensive review. *International Journal Of Environmental Science And Technology*. <https://doi.org/10.1007/s13762-023-04940-7>

Banco Mundial. *Recursos de agua dulce internos renovables per cápita (metros cúbicos)*. Grupo Banco Mundial. Recuperado 11 de noviembre de 2026, de <https://datos.bancomundial.org/indicador/ER.H2O.INTR.PC>, datos de AQUASTAT.

Banco Mundial. (2023). *Agua Residual: De Residuo a Recurso*.
<https://www.bancomundial.org/es/topic/water/publication/wastewater-initiative>

Bauman, Z. (2000). *Modernidad líquida*. Fondo de Cultura Económica.

Baytelman, Y., & Cabezas, N. (2024). *La innovación social en el manejo de los recursos hídricos*. En Banco Interamericano de Desarrollo.
<https://publications.iadb.org/es/innovacion-social-en-el-manejo-de-los-recursos-hidricos-transformacion-de-conflictos-y-gobernanza>

- Centro Nacional de Tecnología Química (CNTQ), Hernández, J., Villanueva, S., & Henríquez, M. (2019). *Estudio de Tendencia: tecnologías para el reciclaje de las aguas residuales*. <https://www.redalyc.org/journal/707/70760276011/html/>
- Chaves López, N. (2021). *La valoración del agua desde la diversidad cultural*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. <https://www.gob.mx/imta/articulos/la-valoracion-del-agua-desde-la-diversidad-cultural?idiom=es>
- CONAGUA. (s. f.). *El agua virtual y la huella hídrica [Infografía]*. <https://www.conagua.gob.mx/conagua07/contenido/documentos/infografia%20huella%20hidrica.pdf>
- CONAGUA. (2009). *Programa hídrico Visión 2030 del estado de Jalisco*. <https://transparencia.info.jalisco.gob.mx/sites/default/files/Programa%20H%C3%ADrico%20Visi%C3%B3n%202030%20del%20Estado%20de%20Jalisco.pdf>
SEMARNAT & Comisión Nacional del Agua
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2024, 2 de diciembre). *Conoce el Plan Nacional Hídrico 2024-2030*. <https://www.gob.mx/conagua/articulos/presenta-conagua-plan-nacional-hidrico-384239>
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2025, 13 junio). *¿Qué es el agua virtual?* Gobierno de México. <https://www.gob.mx/conagua/articulos/que-es-el-agua-virtual?idiom=es>
- Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI) & Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU). (2017). *Código de edificación de vivienda* (3.a ed.). <https://www.gob.mx/inafed/documentos/codigo-de-edificacion-de-vivienda-3era-edicion>
- Del Castillo Sandoval, A. B. (2023, 12 de julio). *Un millón con acceso precario al agua en Jalisco*. UDG TV. <https://udgtv.com/noticias/un-millon-con-acceso-precario-al-agua-en-jalisco/45597>
- Diario Oficial de la Federación (DOF)]. (2012, 8 de febrero). *Decreto por el que se adiciona un párrafo sexto al artículo 4o. de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos* .

https://www.scjn.gob.mx/sites/default/files/cpeum/decretos_reformas/2016-12/00130218.pdf

EL COMERCIO. (2022, 20 de diciembre). *Las AMUNAS, canales ancestrales preincas que permiten la infiltración de agua* [Vídeo]. YouTube.

<https://www.youtube.com/watch?v=5W9cDBdOsLg>

Baytelman, Y. F., & Cabezas, N. I. (2024). *Innovación social en el manejo de los recursos hídricos: Transformación de conflictos y gobernanza adaptativa en el diseño de procesos de gestión colaborativa del agua*. Banco Interamericano de Desarrollo. <https://doi.org/10.18235/0005512>

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2008). *Reutilización del Agua: La agricultura y la gestión del agua urbana en una sociedad del reciclado*. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/bc046s>

Fundación Innovación Bankinter (FIBK). (2024, 4 de noviembre). *Reutilización del agua: innovación hacia un futuro hídrico sostenible*. https://www.fundacionbankinter.org/noticias/reutilizacion-del-agua-innovacion-hacia-un-futuro-hidrico-sostenible/?_adin=11551547647

Fundación Aquae. (2021, 3 de febrero). *Impluvium y compluvium en la Antigua Roma*. <https://www.fundacionaquae.org/wiki/la-domus-romana-el-impluvium/>

Gleason Espíndola, J. A. (2021). *México sensible al agua: Un enfoque innovador para la gestión del agua en las ciudades mexicanas* (1.a ed.). Universidad de Guadalajara.

Gleason Espíndola, J. A. G., Gleason Espíndola, M. P. G., & Lozano Martínez, F. J. L. (2005). *Manual de aprovechamiento de agua pluviales en centros urbanos*. Universidad de Guadalajara. <https://www.riudg.udg.mx/handle/20.500.12104/73693>

Global water resources and the role of groundwater in a resilient water future. (2023, 31 enero). *Nature Reviews Earth & Environment*. <https://doi.org/10.1038/s43017-022-00378-6>

- Google. (2026, 8 de enero). *Imagen de manos lavándose con agua limpia cayendo de un tubo, estilo ilustración con fondo blanco* [Imagen generada por IA].
<https://gemini.google.com/>
- Gómez, L., Moreno, M., Vargas, M., & Cedeño, M. (2021). Análisis de la generación de aguas grises en los hogares y evaluación de sistemas de tratamiento. *Revista de Iniciación Científica*, 7. <https://doi.org/10.33412/rev-ric.v7.0.3254>
- Governo do Brasil. (2025, 19 de agosto). *Água para Consumo Humano - Obter apoio emergencial no tratamento e disponibilização de água para consumo humano em situações de desastres*. <https://www.gov.br/pt-br/servicos/obter-apoio-emergencial-no-tratamento-e-disponibilizacao-de-agua-para-consumo-humano-em-situacoes-de-desastres>
- Hoekstra, A. Y. (2003). *Virtual water trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade*.
- Hurtado, R. (2024, 31 de diciembre). *SIAPA aumentará las tarifas para el 2025; esto es lo que pagarás al mes*. Grupo Milenio.
<https://www.milenio.com/politica/comunidad/siapa-aumentara-tarifas-2025-pagaras-mes>
- Instituto de Información Estadística y Geográfica (IIEG). (2021, 22 de marzo). *El agua de Jalisco. STRATEGOS: Revista Digital del Instituto de Información Estadística y Geografía*. <https://iieg.gob.mx/strategos/el-agua-de-jalisco/>
- Instituto de Información Estadística y Geográfica (IIEG). (2024). *Ficha informativa: Precio venta y renta enero 2024: Actualización de la consulta interactiva de los mapas de los precios de venta y renta de vivienda por colonia en el AMG..*
https://iieg.gob.mx/ns/?page_id=11967
- Instituto de Información Estadística y Geográfica IIEG. (2025). *Indicador de confianza del consumidor jalisciense: Mayo 2025*. https://iieg.gob.mx/ns/wp-content/uploads/2025/06/boletin_confianza_consumidor_jalisciense_ICCJ_mayo_2025.pdf

- Instituto Mexicano para la Competitividad (IMCO). (2023a). *Aguas en México: ¿Escasez o mala gestión?* <https://imco.org.mx/wp-content/uploads/2023/02/Situacion-del-agua-en-Mexico-1.pdf>
- Instituto Mexicano para la Competitividad (IMCO). (2023b). Situación del agua en México. <https://imco.org.mx/situacion-del-agua-en-mexico/>
- Instituto Mexicano para la Competitividad (IMCO). (2023c). Cuál es el costo real del agua en México: Regulación y tarifas. https://imco.org.mx/wp-content/uploads/2023/08/Investigacion_Costo-real-del-agua-en-Mexico_31082023-1.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI.) (s. f.). *México: Censo de población y vivienda 2020*. <https://www.inegi.org.mx/rnm/index.php/catalog/632/datafile/F16/V638>
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). (2021, 24 de abril). *Cerrando el ciclo urbano del agua*. <https://www.gob.mx/imta/articulos/cerrando-el-ciclo-urbano-del-agua?idiom=es>
- Isla Urbana. (s. f.). *Sistemas de ciudad*. <https://islaurbana.org/sistemas-de-ciudad/>
- JP Ferretería. (2021, 11 de diciembre). *Recomendaciones bomba presurizadora Truper* [Vídeo]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=4i3bHjzwOOM>
- Koruro. (2024, 30 octubre). El ciclo urbano del agua. <https://koruro.com/ciclo-urbano-del-agua>
- La Cooperación Sur-Sur. (s. f.). *Unidad Móvil de Tratamiento de Agua (UMTA)*. Cooperativa Sul-Sul Trilateral. <https://ssc4c.org.br/es/central-de-conhecimento/buenas-practicas-de-lavado/unidad-movil-de-tratamiento-de-agua-umta>
- La Jornada Maya (s.f.) *Uxmal: La cuatro veces construida*. <https://static.lajornadamaya.mx/uxmal/reloj-de-agua.html>
- Landa, A. (2025, 26 de junio). *¿Cuáles son los tipos de casas en México? Guía esencial para compradores e inversionistas*. Coldwell Banker Mexico.

<https://blog.coldwellbanker.com.mx/cuales-son-los-tipos-de-casas-en-mexico-guia-esencial-para-compradores-e-inversionistas/>

Lara, M. (2025, 11 de abril). *México: Agua que no has de beber: Tendencias sobre el uso y disponibilidad hídrica*. BBVA Research.

<https://www.bbvaresearch.com/publicaciones/mexico-agua-que-no-has-de-beber-tendencias-sobre-el-uso-y-disponibilidad-hidrica/>

Luna-Pabello & Aburto-Castañeda (2014). Sistema de humedales artificiales para el control de la eutroficación del lago del Bosque de San Juan de Aragón. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 17(1), 32-55.

[https://doi.org/10.1016/s1405-888x\(14\)70318-3](https://doi.org/10.1016/s1405-888x(14)70318-3)

Madariaga, F. J. G. (2009). *Plásticos: en el diseño y desarrollo de productos*.

Medina-Rivas, C. M., Rodríguez-Tapia, L., Morales-Novelo, J. A., & Revollo-Fernández, D. A. (2022). Spatial inequality of domestic water consumption in Mexico city. *Water Resources And Economics*, 40, 100210. <https://doi.org/10.1016/j.wre.2022.100210>

Naciones Unidas. (2024, 26 de enero). *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/>

Neufert, E. (2006). *Arte de proyectar en arquitectura* (obra original publicada en 1936). <https://bibliotecavirtual.defensa.gob.es/BVMDefensa/es/consulta/registro.do?id=639827>

Norman, D. (1988). *The psychology of everyday things*.

ONU-Agua. (2023). *Estudios de caso sobre la aceleración del país para el logro del ODS 6 2023: Singapur*. https://www.unwater.org/sites/default/files/2023-11/sdg6-case-study-singapore_spa.pdf

Onu-Habitat. (2021, 22 de marzo). *Comprender las dimensiones del problema del agua*. https://onu-habitat.org/index.php/comprender-las-dimensiones-del-problema-del-agua?fb_comment_id=1919706488040991_2396617700349865

Pacto Mundial. (2025, 15 de abril). *Huella hídrica: qué es y cómo reducirla para hacer frente a la crisis del agua*. <https://www.pactomundial.org/noticia/huella-hidrica-que-es-y-como-reducirla-para-hacer-frente-a-la-crisis-del-agua/#estrategia-para-calculary-reducir-la-huella-hidrica>

Ramírez, M., Blanco. (2024, 3 de julio). *Canaco cuantifica 6 nuevos desarrollos inmobiliarios por mes en la ciudad en los últimos 4 años*. UDG TV. <https://udgtv.com/noticias/canaco-cuantifica-6-nuevos-desarrollos-inmobiliarios-por-mes/230736>

Redacción de Obras. (2024, 11 de noviembre). *Guadalajara se densifica: la vivienda vertical crece 180% en cinco años*. Expansión. <https://obras.expansion.mx/inmobiliario/2024/11/11/en-guadalajara-la-vivienda-crece-en-vertical>

Reyes, H. (2024, 23 de febrero). *Descartan necesidad de tandeos en ZMG este 2024*. Quadratin Jalisco. <https://jalisco.quadratin.com.mx/principal/descartan-necesidad-de-tandeos-en-zmg-este-2024/>

Rodríguez, K. V. (2024, 5 de diciembre). *¿Cuánto cuesta comprar una casa en Guadalajara según el IIEG?* Telediario México. <https://www.telediario.mx/comunidad/comprar-casas-en-guadalajara-cuanto-cuestan>

Saporiti, N., & Robins, E. (2024, 16 de marzo). *Aumentar la reutilización del agua: Por qué tiene sentido reciclar nuestras aguas residuales*. Blogs del Banco Mundial. <https://blogs.worldbank.org/es/voices/aumentar-reutilizacion-del-agua-reciclar-aguas-residuales>

Secretaría de Salud. (2000, 22 de noviembre). *Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, salud ambiental, agua para uso y consumo humano: Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización*. <https://salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/127ssa14.html>

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (s. f.). *Tu huella hídrica*. Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable. En www.semarnat.go.mx. Centro Virtual de Información del Agua.

<https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2011/CD001606.pdf>

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2018). *Informe de la situación del medio ambiente en México 2018*. Sistema Nacional de información (SNIARN). <https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe18/index.html>

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales SEMARNAT & Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2025). *Lineamientos técnicos: Sistema de captación de agua de lluvia a nivel vivienda: V3.4*.
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/976468/Lineamientos_t_cnicos_SCALL_2025.pdf

SoloMamparas. (2025, 24 de febrero). *Gel Coat en el plato de ducha: ¿qué es y qué hace?*. https://www.solomamparas.es/blog/gel-coat-platos-ducha?srsId=AfmBOortbh1hhvoMFwXGy3gJlfi8yNBMmqRV_qG1RcgR5RR1my2STq0y

Technion. (2024). Water solutions for a thirsty world. *American Technion Society*.
<https://ats.org/our-impact/water-scarcity-the-technions-grand-solution-for-israel-and-the-world/>

UNESCO. (2023, 20 de abril). *¿Son las aguas residuales el nuevo ‘oro negro’?*
<https://www.unesco.org/es/articles/son-las-aguas-residuales-el-nuevo-oro-negro>

UNESCO. (2007). *Urban Water cycle Processes and interactions*. International Hydrological Programme.
https://www.ipcc.ch/apps/njlite/ar5wg2/njlite_download2.php?id=8016

UNESCO. (2024). *Agua para la prosperidad y la paz: Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2024*. (ISBN: 978-92-3-300229-6) <https://aneas.com.mx/wp-content/pdf/documentos-internacionales/15-informe-mundial-2024-agua-para-la-paz-y-la-prosperidad.pdf>

United Nations. (s. f.). *Agua*. <https://www.un.org/es/global-issues/water>

Un-Water. (s. f.). *Water Scarcity*. <https://www.unwater.org/water-facts/water-scarcity>

Vallejo. (2024). *Agua, saneamiento e higiene y resiliencia al clima*. UNICEF.

https://www.unicef.org/ecuador/sites/unicef.org.ecuador/files/styles/hero_extended/public/wash.webp?itok=hZR6y428

Vera Sánchez, A. (2023). *¿Qué es la innovación social?* Sistema Nacional de Capacitación y Asistencia Técnica Especializada.
<https://sinca.gob.mx/imagenes/bavera.pdf>

Vidal, M., & Álvarez. (2018). *Tratamiento de aguas residuales en México: problemáticas de salud pública y oportunidad de uso de ecotecnologías sustentables*.
https://www.researchgate.net/publication/343485996_Tratamiento_de_aguas_residuales_en_Mexico_problematicas_de_salud_publica_y_oportunidad_de_uso_de_ecotecnologias_sustentables

Water Footprint Calculator. (2022, 20 de octubre). *The Hidden Water in Everyday Products*. <https://watercalculator.org/footprint/the-hidden-water-in-everyday-products/>

Wood, J. (2024, 15 marzo). *Desalinización: ¿Qué es y cómo puede hacer frente a la escasez de agua?*. World Economic Forum.
<https://es.weforum.org/stories/2024/03/desalinizacion-que-es-y-como-puede-hacer-frente-a-la-escasez-de-agua/>

World Bank Open Data. (s. f.). *World Bank Open Data*.
<https://datos.bancomundial.org/indicador/ER.H2O.INTR.PC?end=2021&start=1961&view=chart>

Yablonski, J. (2022). *Laws of UX*. <https://content-select.com/de/portal/media/view/5f4a4d25-f458-43bb-a3a6-0ee6b0dd2d03>