



Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: www.riit.com.mx

Prototipo recolector de aguas grises domésticas derivadas de la ducha en vivienda urbana para su reutilización en descargas de inodoros

Domestic greywater harvesting prototype for reusing shower water in toilet flushing in urban housing

Pinto-Quiles, A.^{1*}, Ramos-Salinas, N.M.², Abad-Sánchez, A.R.³

¹ Maestría en Diseño e Innovación; Facultad de Ingeniería; Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ); C.P. 76010, Santiago de Querétaro, Querétaro. (<https://orcid.org/0009-0007-6972-2043>).

² Coordinación de Becas y Movilidad; Facultad de Ingeniería; Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ); C.P. 76010, Santiago de Querétaro, Querétaro. (<https://orcid.org/0000-0002-7837-7794>).

³ Departamento de Procesos y Técnicas de Realización; División de Ciencias y Artes para el Diseño; Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) Campus Azcapotzalco; C.P. 02128, Azcapotzalco, Ciudad de México. (<https://orcid.org/0000-0002-5470-8755>).

apinto.20@alumnos.uaq.mx*; ramosnm@gmail.com; aras@azc.uam.mx

Innovación tecnológica: Estrategias que ayuden a visualizar una perspectiva de la reutilización de aguas grises domésticas, donde su implementación pueda tener más éxito.

Área de aplicación industrial: Tecnologías para el reúso de aguas grises domésticas en el sector de vivienda y desarrollo urbano.

Recibido: 05 agosto 2025

Aceptado: 26 enero 2026

Abstract

The following popular science article presents a case study on the implementation of a functional prototype for the recovery of greywater from showers, with the objective of reusing it for toilet flushing in urban households in the municipality of Querétaro, Qro. The main goal is to assess the technical, economic, and social feasibility of this solution, which aims to promote environmental awareness in areas facing water scarcity or stress. To achieve this, a virtual survey was designed and administered to residents of housing developments in Querétaro to identify their specific water-consumption needs. This information was key to the development of the functional prototype using Gui Bonsiepe's design methodology, which allows each design stage to be evaluated and adjusted through continuous testing and modification. After the prototype was built, tests of water consumption, recovery, and reuse were conducted to evaluate its technical performance and potential acceptance in urban

contexts. The results indicate that the system is feasible for implementation in low-income housing and represents a significant step toward sustainable water management. According to the data obtained, the prototype proved to be a potentially strategic solution for urban planning, with direct local impacts on water sustainability.

Keywords: Reuse of domestic greywater, Toilet flushing, Water management, Sustainability, Water scarcity.

Resumen

El siguiente artículo de divulgación, presenta un estudio de caso sobre la implementación de un prototipo funcional para la recuperación de aguas grises provenientes de la ducha, con el objetivo de reutilizarlas en el suministro de inodoros en viviendas urbanas del municipio de Querétaro, Qro. El objetivo principal es evaluar la viabilidad técnica, económica y social de esta solución, que busca promover la conciencia ambiental en áreas con escasez o estrés hídrico. Para ello, se diseñó una encuesta virtual dirigida a residentes de fraccionamientos de Querétaro, con el fin de conocer sus necesidades de consumo de agua, información que fue clave para la creación del prototipo funcional utilizando la Metodología de Proyección de Gui Bonsiepe; la cual permite evaluar y ajustar cada etapa del diseño a través de pruebas y modificaciones continuas. Tras la fabricación del prototipo, se realizaron pruebas de consumo, recuperación y reutilización de agua para evaluar su desempeño técnico y su posible aceptación en contextos urbanos. Los resultados indicaron que el sistema fue factible de implementar en viviendas de interés social y representó un avance significativo hacia una gestión sostenible del agua. De acuerdo a los datos obtenidos, el prototipo puesto en estudio demostró ser una posible solución estratégica para la planificación urbana, impactando así directamente en la sostenibilidad hídrica a nivel local.

Palabras clave: reúso de aguas grises domésticas, Descargas de los inodoros, Gestión hídrica, Sostenibilidad, Escasez hídrica.

I. Introducción

La investigación responde al problema de escasez de agua en zonas urbanas de Querétaro, proponiendo una solución técnica para recuperar aguas grises de la ducha y reutilizarlas en inodoros. Este estudio profundiza en la revisión de sistemas existentes que, aunque han demostrado ser efectivos en otras regiones, a menudo no se adaptan a las condiciones específicas de las zonas urbanas. El Informe Mundial sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2023, destaca la relevancia del reúso de aguas grises y subraya la necesidad de la cooperación

global para avanzar en el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). No obstante, el documento advierte que, al ritmo actual de progreso, resulta poco probable alcanzar las metas establecidas, especialmente las correspondientes al ODS 6: Agua Limpia y Saneamiento (UNESCO & UN-Water, 2023) [1].

Para comprender los conceptos que involucra el reúso de aguas grises o residuales domésticas, es necesario conocer la definición y clasificación de las mismas, así como sus posibles tratamientos.

1.1. Aguas grises

Se definen aguas grises como «aguas residuales domésticas procedentes de lavabos, bañeras, duchas, lavaplatos, fregaderos y lavadoras, quedando excluidas las de inodoros», es decir; las aguas generadas, normalmente en ámbito doméstico, por actividades tales como el lavado de utensilios y de ropa, así como el baño de las personas. Son aquellas aguas que NO son «negras», es decir; aguas que NO presentan residuos fecales, tampoco las provenientes de procesos industriales o con productos químicos contaminantes (Suárez, Jácome, del Río, Torres, & Ures, 2012) [2]. Existen tres tipos de aguas grises en función de su procedencia y tipo de aportación:

- a) **Aguas grises del tipo 1 o aguas de baja carga:** ducha, bañera y lavabo.
- b) **Aguas grises del tipo 2 o aguas de media carga:** lo anterior, más las procedentes de la lavadora.
- c) **Aguas grises del tipo 3 o aguas de alta carga:** lo anterior, más las procedentes del lavavajillas y el fregadero de cocina, ya que contienen material orgánico.

1.2. Tratamiento de aguas grises

Procesos que permiten rehabilitar las aguas residuales y aguas grises dentro de un ciclo de retorno al ecosistema sin generar un impacto negativo en el mismo, o como recurso hídrico con potencial de reúso. Existen cuatro tipos de tratamiento de aguas residuales dependiendo de las características físicas, químicas y biológicas de estas aguas (CEA C., Tratamiento de Aguas Residuales, 2019) [3]:

- a) **Pretratamiento:** Proceso físico donde se eliminan los residuos de mayor tamaño y partículas pesadas (basura y arenas).
- b) **Tratamiento primario:** Proceso

físicoquímico donde se realizan la remoción de contaminantes mediante la sedimentación física y/o química.

- c) **Tratamiento secundario:** Proceso de reacción biológica donde bacterias (anaerobias o aerobias) degradan la materia orgánica presente en el agua.
- d) **Tratamiento terciario:** Proceso de desinfección y filtrado de agua residual tratada y lista para su reúso, principalmente en riego de áreas verdes, agricultura e industria.

Para el desarrollo de este proyecto se optó por el uso de aguas grises de tipo 1 o de baja carga, las cuales se caracterizan por provenir de actividades domésticas como la ducha y contener principalmente aguas jabonosas. De acuerdo con la clasificación y usos establecidos en la NOM-003-SEMARNAT-1997, vigente al momento de la investigación, este tipo de aguas puede destinarse a actividades que no implican contacto directo con el ser humano ni consumo humano, como es el caso de las descargas de los inodoros. En este contexto, y considerando el uso específico propuesto, no se contempló la aplicación de tratamientos químicos o biológicos adicionales ni la realización de análisis detallados de calidad del agua, ya que la normativa citada establece los límites máximos permisibles de contaminantes para aguas residuales tratadas reutilizadas en servicios al público. El cumplimiento de dicha norma tiene como finalidad minimizar riesgos a la salud pública y al medio ambiente, así como promover el aprovechamiento controlado del recurso hídrico (DOF, 1998) [4].

En épocas recientes, la práctica de aplicar aguas residuales al suelo para eliminación y uso agrícola comenzó en ciudades europeas y más tarde en Estados Unidos. Actualmente,

se están llevando a cabo proyectos de recuperación y reutilización de agua en todo el mundo, utilizando agua reciclada para diversos propósitos, como en actividades domésticas que no requieren agua potable como los inodoros; o incluso el consumo humano después de una serie de tratamientos específicos. También hay que considerar que el concepto de reúso potable no planificado, donde aguas residuales sin tratar se utilizan para el abastecimiento de agua potable, significan desafíos para la salud pública, por ejemplo, casos de recarga no planificada de acuíferos por aguas residuales en Egipto, México, Perú y Tailandia en la época contemporánea (Angelakis, Asano, Bahri, Jiménez, & Tchobanoglous, 2018) [5].

II. Objetivo y Justificación

El objetivo principal de esta investigación es verificar la viabilidad y confiabilidad del reúso de aguas grises generadas de la ducha, mediante un prototipo funcional que ofrece una perspectiva general sobre los retos y oportunidades asociados a la reutilización de aguas grises. Las implicaciones de este estudio aportan tanto a la comunidad académica como para los responsables de la toma de decisiones en materia de planificación urbana y sostenibilidad. La justificación de este estudio radica en el cumplimiento de los lineamientos sanitarios para el reúso seguro de aguas grises o residuales domésticas, propuestos por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2024) [6], teniéndolos como base técnica para el prototipo propuesto; analizando también algunos sistemas existentes que, aunque han demostrado ser efectivos en algunas regiones, a menudo no se adaptan a las condiciones específicas de las comunidades, como lo mencionan algunos autores citados en la Tabla 1 ([11], [17] y [23]). La falta de personalización en el diseño de estos sistemas, es decir, adaptarlos al contexto y necesidades de cada comunidad o región;

puede llevar a su poca adopción y, en consecuencia, a un continuo desperdicio de recursos hídricos. Por lo tanto, es fundamental desarrollar un sistema que no sólo sea técnicamente viable, sino que también sea económicamente accesible y culturalmente apropiado para cada contexto.

III. Metodología / Materiales y Métodos

3.1. Metodología PRISMA

La Metodología PRISMA por sus siglas en inglés (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*), se utilizó como un recurso fundamental para garantizar la transparencia, rigor y trazabilidad en la búsqueda y selección de artículos relacionados con el reúso de aguas grises domésticas dentro del hogar y su nivel de aceptación y aplicabilidad, los cuales fueron empleados en la elaboración del Análisis FODA y CAME. La Declaración PRISMA 2020 propone una guía estructurada que define criterios de inclusión y exclusión, detalla las fuentes de información consultadas, y documenta los procesos de selección y síntesis de los estudios revisados. En este contexto, su aplicación asegura que los artículos utilizados para construir el análisis estratégico (FODA y CAME) provengan de una revisión pertinente, con el fin de sustentar las decisiones con base en evidencia verificable y garantizar la reproducibilidad del proceso de revisión (Page et al., 2021) [7].

3.2. Análisis FODA y Matriz CAME

Una vez seleccionados y analizados los artículos relevantes para el proyecto mediante la Metodología PRISMA, se realiza una matriz CAME (Corregir, Afrontar, Mantener y Explotar), basada en las Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas (FODA) más recurrentes de los casos, con el fin de obtener estrategias que sustenten la investigación y sirvan de parteaguas para la

realización de un diseño hasta llegar a un prototipo funcional (Villao Santos, Venegas Cedeño, Palacios Meléndez, & Rosales Borbor, 2024) [8].

3.3.Caso de estudio

Después de obtener algunas estrategias sintetizadas a partir de los casos de estudio previos, se aplicó el Método de Proyección de Gui Bonsiepe, el cual comienza con la etapa de Estructuración del Problema, que implica identificar y valorar una necesidad, analizar el problema proyectual y definirlo de manera precisa, subdividiéndolo en subproblemas jerarquizados. Luego, se estudian soluciones existentes. En la fase de diseño, se desarrollan y examinan diversas alternativas, seleccionando las mejores para detallar una opción. A continuación, se construye un prototipo inicial, que se evalúa y ajusta según sea necesario. Finalmente, se realiza una segunda versión del prototipo modificado, se valora nuevamente y se preparan los planos técnicos definitivos para su producción (Bonsiepe, 2021) [9].

Para completar este proceso de diseño, se realizó una encuesta piloto específicamente a residentes de Fraccionamientos del municipio de Santiago de Querétaro, Qro., con el objetivo de identificar las necesidades y patrones de consumo de agua potable en el ámbito doméstico urbano. Los resultados obtenidos sirvieron como base para diseñar y manufacturar un prototipo funcional para la recolección y reúso de aguas grises, adaptado

a las condiciones reales del contexto urbano local.

IV. Estado del arte

En la última década (2015 a 2025), diversos estudios han resaltado la reutilización de aguas grises como solución clave ante la escasez hídrica, enfocándose en su aplicación doméstica y destacando beneficios ambientales, económicos y la importancia de la aceptación social y viabilidad técnica.

En el análisis de los casos de estudio, se presentan similitudes en cuanto al mantenimiento mínimo o de bajo costo en los sistemas que se propone implementar en cada caso, estos resultados evidencian la necesidad de establecer políticas públicas claras, incentivos económicos, campañas de sensibilización y estrategias de implementación bien diseñadas, con base en las condiciones sociales, económicas y regulatorias de cada región, a fin de evitar que se transformen en factores limitantes para la adopción de tecnologías de reúso.

A continuación, se presenta una tabla comparativa (Tabla 1) que reúne estudios representativos de distintos países, destacando sus objetivos, resultados y recomendaciones, lo que permitió identificar coincidencias y similitudes, avances logrados y oportunidades de aplicación en otras regiones con condiciones similares, empleando la Inteligencia Artificial como herramienta de apoyo para este rubro.

Tabla 1. Estado del arte en orden cronológico de la reutilización de aguas grises domésticas.

Nombre del estudio	Objetivo general del estudio	Conclusiones del estudio
Assessment Of Domestic Greywater Reuse in Jordan and Its Relationship with Socio-Economic Variables (Ajlouni & Al-Ajlouni, 2015). [10]	Evaluar la reutilización de aguas grises domésticas en Jordania y su relación con variables socioeconómicas.	El ingreso mensual es un factor determinante en la reutilización de aguas grises, lo que destaca su importancia en las estrategias de conservación del agua en contextos de escasez hídrica.
Greywater Reuse System Design and Economic	Diseñar un sistema de reutilización de aguas grises adaptado a las viviendas	El sistema propuesto puede tener un período de recuperación de apenas

Analysis for Residential Buildings in Taiwan (Juan, Chen & Lin, 2016). [11]	residenciales de Taiwán, considerando características arquitectónicas y hábitos de consumo. Además, se evaluó su viabilidad económica mediante un análisis de ciclo de vida, desarrollando escenarios para estimar el tiempo de recuperación de la inversión y los beneficios económicos a largo plazo.	cuatro años, ofreciendo incentivos económicos para su implementación, especialmente en regiones con altos costos de agua o escasez hídrica. Sin embargo, presenta limitaciones relacionadas con los costos de instalación y la dispersión de áreas de uso del agua en los hogares, aspectos que podrían afectar su viabilidad en ciertos contextos residenciales.
Grey water reclamation for urban non-potable reuse - challenges and solutions: a review (James, Ganjian, Surendran, Ifelebuegu, & Kinuthia, 2016). [12]	Analizar los desafíos y soluciones relacionados con la reutilización de aguas grises para usos no potables en entornos urbanos.	La reutilización planificada de aguas grises puede ser una estrategia efectiva para abordar la escasez de agua y los problemas de aguas residuales en áreas urbanas, siempre y cuando se consideren cuidadosamente los aspectos técnicos, ambientales y sociales involucrados.
Treatment of Gray Water for Reusing in Non-potable Purpose to Conserve Water in India (Manna Sahoo, 2018). [13]	Promover el tratamiento y reutilización del agua gris para usos no potables como una medida efectiva de conservación de agua en India.	El tratamiento y reutilización del agua gris pueden contribuir significativamente a la conservación de agua dulce en India, demostrando su potencial para satisfacer una parte importante de la demanda no potable en edificios residenciales.
Feasibility of on-site grey-water reuse for toilet flushing in China (Zhu, Wagner, Cornel, Chen, & Dai, 2018). [14]	Evaluar la viabilidad de la reutilización de aguas grises y promover la reutilización urbana del agua en China, considerando la escasez hídrica y el crecimiento urbano.	A pesar de la tasa actual de reutilización de aguas residuales en China, existe un potencial significativo para promover la reutilización urbana del agua y mejorar las tasas de reutilización mediante sistemas de tratamiento in situ.
Reduction in Fresh Water Consumption by Grey Water Reuse for Flushing and Irrigation: A Case Study of a Multistorey Hotel Building (Jamil, 2019). [15]	Estudiar la viabilidad de reducir el consumo de agua dulce mediante el reúso de aguas grises en un hotel de varios pisos en Arabia Saudita.	La implementación de un sistema de reciclaje de aguas grises en el hotel permitiría un ahorro del 26% de agua dulce, contribuyendo a la sostenibilidad y al ahorro económico en el uso del agua.
Beneficios asociados al uso de ecotecnias en comunidades rurales de Guanajuato, México (Tagle Zamora & Azamar Alonso, 2020). [16]	Identificar las percepciones sociales de los beneficios asociados a la aplicación de ecotecnias en viviendas con carencias de servicios básicos en comunidades rurales del estado de Guanajuato.	La percepción social positiva facilita el sostén y mantenimiento de las ecotecnologías en comunidades rurales de Guanajuato para seguir obteniendo sus múltiples beneficios tangibles e intangibles en la calidad de vida de los habitantes.
The Gap between Willingness and Behavior: The Use of Recycled Water for Toilet Flushing in Beijing, China (Ding, Xiaojun, & Li, 2022). [17]	Analizar los factores que influyen en la brecha entre la disposición y el comportamiento de los residentes urbanos en Beijing, China, para utilizar agua reciclada en las descargas de inodoros.	Aunque existe disposición por parte de los residentes chinos, el uso real es bajo debido a la conveniencia de instalación de los sistemas de agua reciclada, lo que destaca la necesidad de mejorar el acceso, aumentar el conocimiento público y establecer recompensas para promover el uso sostenible del agua reciclada.
Public perceptions and perspectives on alternative sources of water for reuse	El estudio evaluó la disposición al reúso domiciliario de aguas grises en Israel, destacando barreras como	La aceptación del reúso de agua en hogares depende de la percepción de riesgos sanitarios y del conocimiento

generated at the household level (Portman, Vdov, Schuetze, Gilboa, & Friedler, 2022) [18]	riesgos sanitarios y desinformación, para proponer estrategias hacia una gestión hídrica sostenible.	sobre su seguridad, siendo clave la confianza en las instituciones y la educación pública, más que los incentivos económicos, para superar barreras sociales y promover su adopción.
A Critical Review of Recent Progress in Global Water Reuse during 2019–2021 and Perspectives to Overcome Future Water Crisis (Abou-Shady, Siddique & Yu, 2023). [19]	Analiza cómo las sociedades han pasado por períodos de valorización, devaluación y revalorización de las aguas residuales. Identifica 17 barreras (ej. regulación, costo, calidad) y 10 ventajas (ej. sostenibilidad, economía). Analiza aplicaciones en agricultura, recarga de acuíferos, industria y ciudades.	El estudio destaca que, pese a desafíos técnicos y regulatorios, la reutilización de agua alivia la escasez hídrica y reduce la presión sobre acuíferos, subrayando la necesidad de lineamientos globales unificados para su estandarización.
Biological stability of reclaimed greywater reused for flushing household toilets (Ren, Shudong, & Hengfeng, 2023). [20]	Evaluar la estabilidad biológica de aguas grises tratadas para ser reutilizadas en descargas de inodoros domésticos, considerando diferentes tecnologías de tratamiento (UV, cloro, filtración).	Algunos tratamientos, como la cloración, permiten conservar la estabilidad microbiológica durante el almacenamiento. La selección del tratamiento influye en los riesgos sanitarios y en la calidad del agua gris recuperada, siendo crítica para la aceptación del sistema por parte de los usuarios.
A perspective for the acceptance of water reuse: history of the valorization of wastewater throughout the development of society (Pereira-Santos, Araujo de Mendonça-Lima, Midon-Paixão, Pacheco-Jordão, & Pereira-Vieira, 2024). [21]	El estudio analizó la evolución de la percepción social del agua residual para orientar políticas y fomentar su aceptación, promoviendo una gestión hídrica más responsable y sostenible.	El estudio destaca la revalorización actual del agua residual como recurso, impulsada por normativas y sensibilización social, subrayando la necesidad de fortalecer la confianza y conciencia pública para consolidar su aceptación.
Performance of an integrated household greywater treatment system for water optimization and reuse. (Hassan, Alzahrani, Alotaibi & Herlmy, 2024). [22]	El estudio evaluó un sistema de tratamiento de aguas grises con pre-sedimentación y filtros de geotextil y algodón, identificando combinaciones eficientes y de bajo costo para obtener agua reutilizable en riego.	Se lograron remociones de más del 81% en DBO y cerca del 75% en DQO, alcanzando límites permisibles para la reutilización; mostrando costos operativos bajos, facilidad de manejo y mantenimiento, con potencial para reducir significativamente el consumo de agua potable en aplicaciones domésticas residenciales.
Off-grid rainwater and greywater treatment and reuse on household level: Conceptual approach and pilot operation at the KREIS-Haus demonstration case, Switzerland. (Buehler et al., 2025). [23]	Evaluar la viabilidad técnica y económica de un sistema autónomo y fuera de red para el tratamiento y reutilización de aguas pluviales y aguas grises domésticas, implementado en el KREIS-Haus en Suiza. El sistema integra tratamiento biológico, filtración y desinfección; diseño basado en su adaptación a contextos residenciales.	El sistema alcanzó autosuficiencia hídrica y alta eficiencia en la remoción de contaminantes, pero enfrenta desafíos regulatorios, consumo energético y mantenimiento, que requieren optimización y monitoreo remoto.

Elaboración propia, 2024.

V. Análisis CAME

Se realizó un análisis CAME (Corregir, Afrontar, Mantener y Explotar), también por sus siglas en inglés: *Correct, Adapt, Maintain, Explore*; para proponer estrategias que ayuden a cubrir los objetivos generales que se pretenden alcanzar en una empresa, proyecto, implementación tecnológica o producto. Se realiza en primer lugar un análisis FODA para obtener un diagnóstico que arroje los aspectos a considerar. Una vez obtenidas las debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades, se seleccionan cuáles de ellas son más importantes, para posteriormente asociar acciones para

corregirlas, afrontarlas, mantenerlas o explotarlas.

Finalmente, se implementan las acciones necesarias y se realiza un seguimiento de ellas para comprobar que se cumplen nuestros objetivos iniciales (Villao Santos, Venegas Cedeño, Palacios Meléndez, & Rosales Borbor, 2024) [8]. Este análisis fue aplicado a los casos de estudio recopilados de la literatura mediante la Metodología PRISMA.

A continuación, se muestra la Matriz CAME realizada (Tabla 2), con la combinación de los rubros FODA con mayor coocurrencia entre los estudios analizados con respecto a la reutilización de aguas grises domésticas.

Tabla 2. Matriz CAME aplicada a los casos recopilados respecto al reúso de aguas grises.

	Fortalezas	Debilidades
Oportunidades	Estrategia FO (Estrategias Ofensivas): Fomentar la implementación de sistemas de reutilización de aguas grises, apoyándose en la experiencia consolidada en regiones como Berlín para promover soluciones sostenibles; esto puede potenciar la reducción del consumo de agua potable y contribuir a la conservación de recursos hídricos, aprovechando las políticas de agua sostenible y los incentivos gubernamentales existentes para facilitar la adopción de tecnologías innovadoras.	Estrategia DO (Estrategias de Reorientación): Desarrollar programas de financiamiento y subsidios específicos que compensen los altos costos iniciales y el mantenimiento de estos sistemas, facilitando su integración en construcciones nuevas y existentes. Además, promover campañas de educación y sensibilización para reducir las resistencias culturales y mejorar la percepción social, apoyándose en las oportunidades de regulación favorable y crecimiento de la conciencia ambiental.
Amenazas	Estrategia FA (Estrategias Defensivas): Mantener y fortalecer la experiencia práctica y la evidencia de efectividad adquirida en experiencias internacionales, como la de Berlín, mediante la creación de redes de intercambio y buenas prácticas. Al mismo tiempo, reforzar la seguridad y la calidad del agua tratada, estableciendo estándares claros y normativas sanitarias que protejan a los usuarios frente a amenazas como la percepción de riesgos a la salud o contaminación.	Estrategia DA (Estrategias de Supervivencia): Fomentar la investigación para reducir los costos y mejorar la confiabilidad de las tecnologías, minimizando así los riesgos de pérdidas económicas y resistencia cultural que puedan poner en peligro la viabilidad del proyecto; con la certeza de evitar diseños y desarrollos de sistemas que presenten altos costos de inversión y dificultades técnicas sin el respaldo de regulaciones claras y con poca aceptación social, lo que podría conducir a fallas en la implementación.

Elaboración propia, 2025.

VI. Caso de Estudio

6.1 Encuesta

Como aportación al estudio de reutilización de aguas grises en los inodoros, se realizó una encuesta piloto entre el 24 de febrero de 2025 y el 22 de marzo de 2025, donde participaron 30 personas, que representan el 26% del total de residentes de un fraccionamiento en el municipio de Santiago de Querétaro; la encuesta se realizó a través de la plataforma *Google Forms* y tuvo como finalidad conocer los consumos personales de agua en el ámbito doméstico y si se aplicaba algún método de ahorro en su hogar. Para fines estadísticos, se analizaron las preguntas que involucraban la caracterización de los participantes, y se obtuvieron los siguientes hallazgos:

- a) Mayoría de rango de edad: de 26 a 40 años (56.7%)
- b) Mayoría de rango de ingresos: De \$16,000 a \$30,000 mensual (53.3%)
- c) El 43.3% indica que viven de 1 a 2 habitantes en su hogar, mientras

que el 36.7% indica que viven hasta 4 habitantes en su hogar.

- d) El 53.3% paga entre \$300 y \$400 mensuales de agua considerando que todos los encuestados son pertenecientes al rango de pago Doméstico Económico catalogado por la Comisión Estatal de Aguas de Querétaro (CEA); los cuales pagan \$78.94 por cada metro cúbico de agua, precio vigente desde el 1 de febrero de 2025 (CEA, 2025) [24].
- e) La mayoría piensa pagar entre \$5,000 a \$15,000 por el producto (96.7%)

Posteriormente, en relación con las preguntas sobre el consumo individual de agua doméstica, se presentan los resultados obtenidos en la Figura 1; donde el eje X indica los litros consumidos por día, mientras que el eje Y representa a los participantes. Cada barra de color corresponde a las diferentes actividades en las que se utiliza agua potable en el hogar durante un solo día.

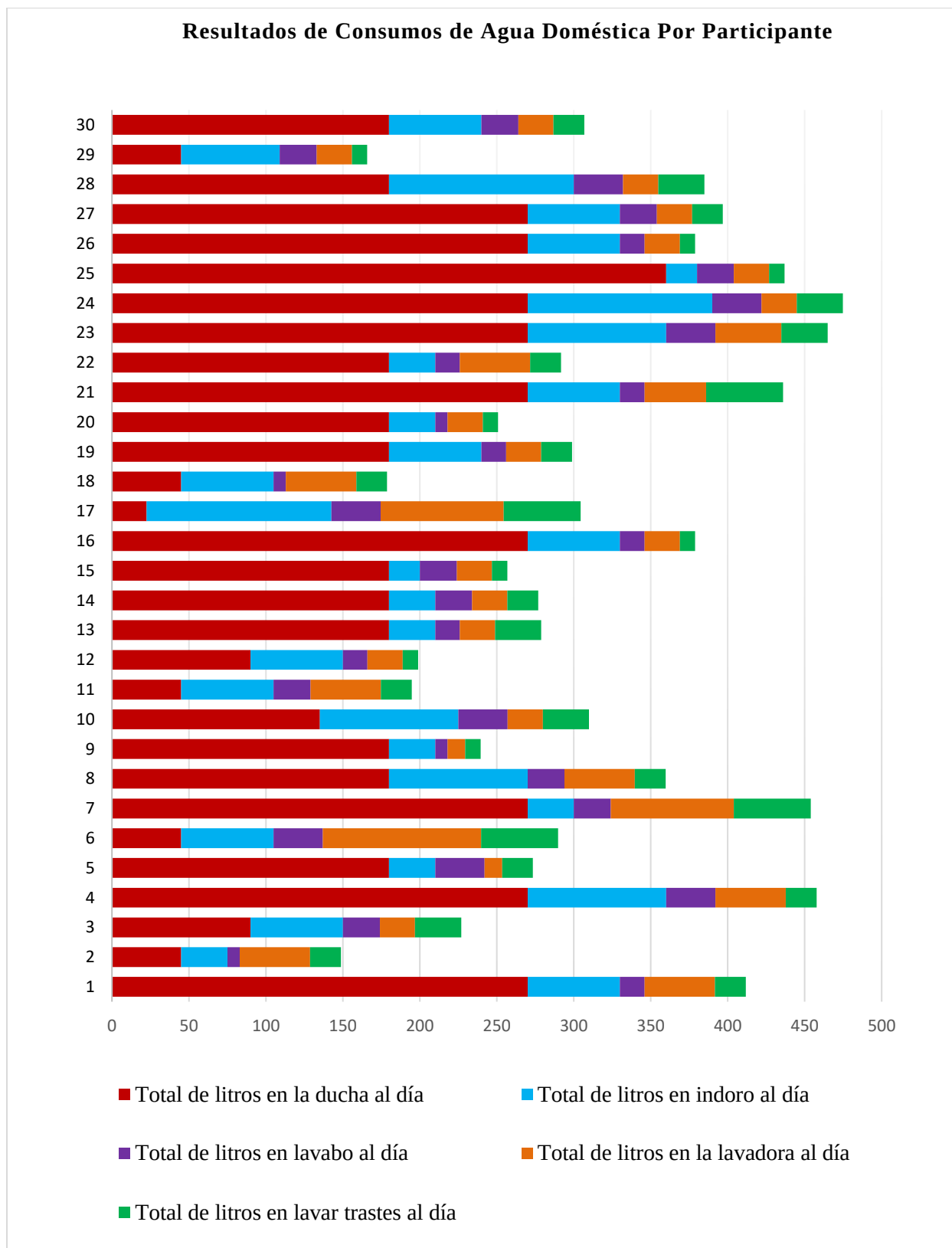


Figura 1. Resultados de encuesta aplicada sobre consumos individuales de agua doméstica.
Elaboración propia, 2025.

6.2 Construcción de Prototipo

A partir del análisis de los resultados, se identificó que la ducha representa la principal fuente de consumo de agua potable en el hogar y, a su vez, una fuente significativa de aguas grises. Considerando su potencial de reutilización, especialmente en las descargas del inodoro (segunda actividad con mayor consumo de agua potable), se procedió al diseño de un dispositivo capaz de recolectar el agua residual generada durante la ducha y redirigirla hacia el tanque del inodoro para su

posterior reutilización. Para la construcción del prototipo funcional, se emplearon componentes comerciales y prefabricados, seleccionados por su disponibilidad y compatibilidad con los requerimientos técnicos del sistema, con el fin de asegurar su correcto funcionamiento en condiciones reales de uso (Figura 2), para posteriormente instalarlo en un ambiente similar al real mediante una estructura de soporte; la cual permitía liberar el agua de la ducha recuperada hacia el tanque del inodoro por gravedad (Figura 3).



Figura 2. Contenedor comercial de 90 L de capacidad con conexiones hidráulicas convencionales.
Elaboración propia, 2025.



Figura 3. Prototipo montado en estructura de madera.
Elaboración propia, 2025.

A continuación, se presenta en la Tabla 3, un desglose de las partes prefabricadas y/o comerciales, así como las piezas que se

fabricaron en impresión 3D y corte láser para la construcción del prototipo funcional.

Tabla 3. Lista de componentes para la construcción del prototipo funcional.

Elaboración propia, 2025. 	NOMBRE	CAPACIDAD - MEDIDAS	MARCA	PRECIO
	Maceta 4" C/Plato Plástico mate Traslucida	9.5 x 11 cm	Edenika	\$ 69 MXN
	Adaptación de coladera en impresión 3D de resina	Ø103 x 125 x 46.7 mm	Elaboración Propia	\$ 2000 MXN
	Discos de Acrílico con corte Láser	Ø109 mm int. x Ø115 mm ext. x 3 y 5 mm espesor	Elaboración Propia	\$ 200 MXN
	Bomba De Agua Ultra Mini Motor Periférica	12V, 5.5m, 20W 65 x 42 x 77 mm	Genérica	\$ 380 MXN
	Pila Plus Alcalina Cuadrada, 9V	9V, 1	Duracell	\$ 166 MXN
	Broche Para Baterías Pila De 9V	Para 9V	Mv Electrónica	\$ 15 MXN
	Interruptor eléctrico de botón y cables	17.5 x 12.3 mm	SCOCCA	\$ 50 MXN
	Batería sellada de ácido-plomo	12V, 1.2 Ah 57 x 99 x 43 mm	Steren	\$ 299 MXN
	Cargador inteligente para baterías selladas de ácido-plomo, con caimanes y zapatas	Alimentación: 100 – 240 V~ 50 – 60 Hz 0.5 A Voltaje de salida 6 V-- - /12 V--- Corriente de salida: 1 A	Steren	\$ 344 MXN
	Terminales PIDG RECPT 16-14 AWG blue	3/16" (4.8 mm) Hembra	DORMAN	\$ 59 MXN
	Manguera Industrial Transparente	Ø1/2" y Ø1/4" x 10 M	Genérica	\$ 385 MXN

	Contenedor con tapa abatible cuadrado	46 cm ancho x 46 cm largo x 89 cm alto para 90 L	TANER	\$ 599 MXN
	Filtro Antisarro (Cristales De Polifosfato)	17.6 x 9.4 x 8.9 cm	COFLEX	\$ 825 MXN
	Carbón Activado Granulado	1 kg	EZBEN	\$ 234 MXN
	Accesorios y conectores hidráulicos	Varios	The Home Depot	\$ 586 MXN
	Madera de pino para Mesa de Soporte	50 mm x 25 cm x 2.44m - 244 x 10.1 cm	Genérica	\$ 530 MXN
			TOTAL:	\$ 7,041 MXN

6.3 Procedimiento de pruebas del prototipo funcional

Al terminar el montaje del prototipo, se procedió a la realización de pruebas de funcionalidad con el objetivo de evaluar su eficiencia y la capacidad de recuperación de agua. Para ello, se empleó una bomba de 12 V alimentada por una pila, encargada de transportar el agua recolectada hacia el contenedor. Las pruebas se diseñaron para simular condiciones reales de uso y permitir la validación del sistema desarrollado.

a) Instalación del prototipo funcional:

Se instaló la bomba en la coladera utilizando conexiones hidráulicas comerciales para conducir el agua recolectada hacia un contenedor con capacidad de 90 litros, destinado al almacenamiento temporal del recurso para su posterior reutilización (Figura 3).

b) **Conexión eléctrica:** Se conectó la bomba al sistema de alimentación mediante una pila y un interruptor para su activación manual.

c) **Inicio del ensayo:** Se llevó a cabo una ducha convencional, registrando el tiempo mediante un cronómetro desde el momento en que se inició el flujo de agua.

d) **Activación del prototipo funcional:** La bomba se encendió manualmente una vez que quedó completamente sumergida en el agua recolectada.

e) **Finalización del registro de tiempo:** Al concluir la ducha, se detuvo el cronómetro para registrar la duración total del baño.

f) **Desactivación del prototipo funcional:** Se apagó la bomba en el momento en que ya no se observó agua acumulada en el piso de la regadera.

g) Medición del volumen recuperado:

Finalmente, se verificó y registró el volumen total de litros recolectados.

Las pruebas se realizaron en un baño convencional dentro de un fraccionamiento de la zona norponiente de Santiago de Querétaro. Se utilizó en principio una pila de 9V para alimentar la bomba, pero al terminar

su carga, se reemplazó por una pila de 12V.

En la siguiente tabla (Tabla 4), se desglosan los resultados de cada réplica considerando el tiempo de llenado de un tanque de inodoro convencional de 10 L, y los litros totales recolectados durante una ducha de 10 minutos.

Tabla 4. Pruebas de funcionalidad realizadas con el prototipo.

FACTORES	Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3	Réplica 4	Réplica 5	Réplica 6
Batería usada	9V	9V	9V	12V	12V	12V
Tiempo de Llenado de tanque de inodoro (min)	06:49	07:22	08:16	02:51	02:42	03:05
Litros recolectados TOTALES	30	25	15	45	55	50

Elaboración propia, 2025.

Los resultados de las pruebas indican que el volumen promedio de agua recolectada, considerando la potencia máxima de la bomba y la pila (12 V), es de 50 L por ducha, suficiente para 5 descargas diarias de un inodoro convencional (cantidad promedio de descargas al día de una persona) y con un excedente disponible para otras actividades que no requieren agua potable, como el riego de jardines.

Para enfrentar de manera efectiva los futuros desafíos de la gestión de los recursos hídricos y la reutilización del agua, se asume que la implementación de un sistema de recuperación de aguas grises de la ducha, representa una estrategia viable para promover el reúso eficiente del agua, fomentar el ahorro doméstico y contribuir a la sostenibilidad ambiental en zonas urbanas; lo que coincide con las conclusiones de los diferentes autores citados ([10], [12], [13], [15] y [18]) que han realizado investigaciones al respecto.

Este prototipo valida su eficacia operativa en

un entorno doméstico, lo que permite realizar mejoras y modificaciones en el diseño para su fabricación e implementación con usuarios reales.

VII. Conclusiones

Este estudio abordó de manera integral la problemática de la escasez de agua en zonas urbanas mediante el diseño, desarrollo y validación de un prototipo funcional para la reutilización de aguas grises domésticas en descargas de inodoros. Los resultados obtenidos permiten concluir que la implementación de este tipo de soluciones representa una alternativa técnicamente viable, económicamente accesible y socialmente aceptable, capaz de fomentar el aprovechamiento sostenible del recurso hídrico en el ámbito doméstico.

El análisis CAME, complementado con el estudio de caso, permitió identificar estrategias orientadas a corregir deficiencias técnicas, afrontar barreras culturales y económicas, mantener los beneficios ambientales y explotar el potencial de

escalabilidad de este tipo de tecnologías. El área de aplicación industrial del producto, tras su optimización, se extiende a la implementación de sistemas de tratamiento y reutilización de aguas grises en viviendas sustentables y desarrollos urbanos inteligentes, con posibilidades de expansión hacia sectores como el hotelero, institucional y residencial, promoviendo prácticas sostenibles y reducción de costos operativos.

El prototipo desarrollado demostró su funcionalidad en condiciones reales, alcanzando una recuperación promedio de 50 litros por ducha, volumen suficiente para abastecer alrededor de cinco descargas diarias del inodoro por persona, reduciendo de forma significativa el uso de agua potable. No obstante, para garantizar su sostenibilidad y replicabilidad a largo plazo, será necesario evaluar su desempeño continuo y su impacto ambiental y económico, a partir de la construcción de un Producto Mínimo Viable (PMV) basado en esta investigación. En concordancia con lo señalado por Van de Walle et al. (2023) [25], quienes subrayan la importancia de los sistemas descentralizados y modulares de reúso como pilares de la resiliencia hídrica urbana, este proyecto demuestra que las soluciones locales, de bajo costo y adaptadas al contexto, pueden integrarse efectivamente en estrategias de gestión hídrica sostenible. Como prospectiva, se plantea el desarrollo de versiones automatizadas y energéticamente eficientes del sistema, alineadas con las tendencias internacionales hacia infraestructuras circulares del agua que fortalezcan la autosuficiencia y la sostenibilidad en entornos urbanos.

VIII. Agradecimientos

A la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI); a la Coordinación de Becas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de

Querétaro y al Posgrado, la Maestría en Diseño e Innovación de dicha institución; instancias que permitieron realizar esta investigación.

IX. Referencias

- [1] UNESCO, & UN-Water. (22-24 de 03 de 2023). Informe Mundial de la ONU sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2023. Obtenido de UNESCO: <https://www.unesco.org/reports/wwdr/2023/es>
- [2] Suárez, J., Jácome, J. A., del Río, H., Torres, D., & Ures, P. (2012). El reciclaje de aguas grises como complemento a las estrategias de gestión sostenible del agua en el medio rural. En J. Suárez, J. A. Jácome, H. del Río, D. Torres, & P. Ures, Cuenca fluvial y desarrollo sostenible. Río Mandeo (págs. 265-284). Galicia, España: Diputación de A Coruña. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/324039859_El_reciclaje_de_aguas_grises_como_complemento_a_las_estrategias_de_gestion_sostenible_del_agua_en_el_medio_rural.
- [3] CEA, C. (08 de 08 de 2019). Tratamiento de Aguas Residuales. Recuperado el 2023, de CEA, Querétaro: <https://www.ceaqueretaro.gob.mx/tratamiento-de-aguas-residuales/>
- [4] DOF. (21 de 09 de 1998). NORMA Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público. Obtenido de Diario Oficial de la Federación: https://diariooficial.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4893449&fecha=21/09/1998#gsc.tab=0
- [5] Angelakis A.N., Asano T., Bahri A., Jiménez B.E. y Tchobanoglous G. (2018)

Reutilización del agua: de la antigüedad a los tiempos modernos y el futuro. *Environ. Sci.* 6:26,

<https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00026>

[6] OMS. (22 de 03 de 2024). Saneamiento. Obtenido de Organización Mundial de la Salud: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/sanitation>

[7] Matthew J. Page, Joanne E. McKenzie, Patrick M. Bossuyt, Isabelle Boutron, Tammy C. Hoffmann, Cynthia D. Mulrow, Larissa Shamseer, Jennifer M. Tetzlaff, Elie A. Akl, Sue E. Brennan, Roger Chou, Julie Glanville, Jeremy M. Grimshaw, Asbjørn Hróbjartsson, Manoj M. Lalu, Tianjing Li, Elizabeth W. Loder, Evan Mayo-Wilson, Steve McDonald, Luke A. McGuinness, Lesley A. Stewart, James Thomas, Andrea C. Tricco, Vivian A. Welch, Penny Whiting, David Moher, Juan José Yepes-Nuñez, Gerard Urrútia, Marta Romero-García, Sergio Alonso-Fernández; Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas, *Revista Española de Cardiología*, Volume 74, Issue 9, 2021, pp 790-799, ISSN 0300-8932, <https://doi.org/10.1016/j.recesp.2021.06.016>.

[8] Villao Santos, F. M., Venegas Cedeño, J. P., Palacios Meléndez, J. G., & Rosales Borbor, F. J. (2024). Optimización de Objetivos Estratégicos en Emprendimientos: Un Enfoque Basado en la Matriz CAME. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(3), 11519-11535. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i3.12696

[9] Bonsiepe, G. (2021). *The Disobedience of Design* (1 ed., Vol. Radical Thinkers in Design). (L. Penin, Ed.) Ebook: Bloomsbury Publishing. <https://doi.org/10.5040/9781350162488>

[10] Ajlouni, E. S., & Al-Ajlouni, K. S. (2015). Assessment of Domestic Greywater

Reuse in Jordan and its Relationship with Socio Economic variables. *International Journal of Civil & Environmental Engineering IJCEE IJENS*, 15(4), 10. (Julio de 2015). Obtenido de: https://www.researchgate.net/publication/333150134_I_J_E_N_S_Assessment_Of_Domestic_Greywater_Reuse_In_Jordan_And_Its_Relationship_With_Socio-Economic_Variables

[11] Juan, Yi-Kai, Chen, Yi & Lin, Jing-Ming. (2016). Greywater Reuse System Design and Economic Analysis for Residential Buildings in Taiwan. *Water*. 8. 546. (Noviembre de 2016). <https://doi.org/10.3390/w8110546>

[12] James, D., Ganjian, E., Surendran, S., Ifelebuegu, A., & Kinuthia, J. (2016). Grey water reclamation for urban non-potable reuse - challenges and solutions a review. *Water and Environment Journal*, 12(6), 406 – 413. (Diciembre de 2016). Obtenido de: https://www.researchgate.net/publication/315705246_Grey_water_reclamation_for_urban_non-potable_reuse_-_challenges_and_solutions_a_review

[13] Manna Sahoo, S. (2018) Treatment of Gray Water for Reusing in Non-potable Purpose to Conserve Water in India. *International Journal of Applied Environmental Sciences*, 13(8), 703-716 (Diciembre de 2018). Obtenido de: https://www.researchgate.net/publication/329466019_Treatment_of_Gray_Water_for_Reusing_in_Non-potable_Purpose_to_Conserve_Water_in_India

[14] Zhu, J., Wagner, M., Cornel, P., Chen, H., & Dai, X. (2018). Feasibility of on-site grey-water reuse for toilet flushing in China. *Journal of Water Reuse and Desalination*, 8(1), 1–13. (01 de Marzo de 2018). <https://doi.org/10.2166/wrd.2016.086>

[15] Jamil, R. (2019). Reduction in Fresh Water Consumption by Grey Water Reuse for Flushing and Irrigation: A Case Study of a Multistorey Hotel Building. Conference: 1st Conference on Sustainability in Civil Engineering. Capital University of Science and Technology, Islamabad, Pakistan 7. (01 de Agosto de 2019). Obtenido de: https://www.researchgate.net/publication/334945446_Reduction_in_Fresh_Water_Consumption_by_Grey_Water_Reuse_for_Flushing_and_Irrigation_A_Case_Study_of_a_Multistorey_Hotel_Building

[16] Tagle Zamora, D., & Azamar Alonso, A. (2020). Beneficios asociados al uso de ecotecnias en comunidades rurales de Guanajuato, México. Revibec: Revista Iberoamericana de Economía Ecológica, 33 (1), 112-132. (Agosto de 2020). Obtenido de: https://www.academia.edu/98813870/Beneficios_asociados_al_uso_de_ecotecnias_en_comunidades_rurales_de_Guanajuato_México

[17] Ding, Y., Xiaojun, L., & Li, L. (2022). The Gap between Willingness and Behavior: The Use of Recycled Water for Toilet Flushing in Beijing, China. Water, 14(8), 15. (15 de Abril de 2022). <https://doi.org/10.3390/w14081287>

[18] Portman, M. E.; Vdov, O.; Schuetze, M.; Gilboa, Y.; Friedler, E. (2022). Public perceptions and perspectives on alternative sources of water for reuse generated at the household level. Water Reuse, (1 de Marzo de 2022). 12 (1): 157–174. <https://doi.org/10.2166/wrd.2022.002>

[19] Abou-Shady, A.; Siddique, M.S.; Yu, W. (2023). A Critical Review of Recent Progress in Global Water Reuse during 2019–2021 and Perspectives to Overcome Future Water Crisis. Environments 2023, 10 (9), 159; <https://doi.org/10.3390/environments10090159>

[20] Ren, X.; Zhang, S.; Miao, H. (2023). Biological stability of reclaimed greywater reused for flushing household toilets, Journal of Cleaner Production, Volume 387, 2023, 135863; <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.135863>

[21] Pereira-Santos, A.S.; Araujo de Mendonça-Lima, M.; Midon-Paixão, M.; Pacheco-Jordão, E.; Pereira-Vieira, J. M. (2024). A perspective for the acceptance of water reuse: history of the valorization of wastewater throughout the development of society. Water Policy 1 April 2024; 26 (4): 336–358; <https://doi.org/10.2166/wp.2024.196>

[22] Hassan, K., Alzahrani, A., Alotaibi, N.M. & Herlmy, M. (2024). Performance of an integrated household greywater treatment system for water optimization and reuse. Appl Water Sci 14, 242 (30 de Octubre de 2024). <https://doi.org/10.1007/s13201-024-02303-2>

[23] Buehler, D.; Barmettler, R.; Schoenborn, A.; Junge, R.; Rousseau, D. P. L. (2025) Off-grid rainwater and greywater treatment and reuse on household level: Conceptual approach and pilot operation at the KREIS-Haus demonstration case, Switzerland. Water Reuse, 1 June 2025; 15 (2): 178–197. <https://doi.org/10.2166/wrd.2025.104>

[24] CEA. (01 de 02 de 2025). TARIFAS METRO A METRO A PARTIR DEL 01 Feb 2025. Recuperado el 2025, de Comisión Estatal de Aguas de Querétaro: <https://www.ceaqueretaro.gob.mx/wp-content/uploads/2025/01/TARIFAS-METRO-A-METRO-A-PARTIR-del-01-feb-2025.pdf>

[25] Arjen Van de Walle, Minseok Kim, Md Kawser Alam, Xiaofei Wang, Di Wu, Smruti

Ranjan Dash, Korneel Rabaey, Jeonghwan Kim, Greywater reuse as a key enabler for improving urban wastewater management, Environmental Science and Ecotechnology, Volume 16, 2023, 100277, ISSN 2666-4984, <https://doi.org/10.1016/j.es.2023.100277>.