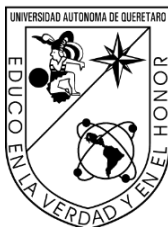


D.I. Alma Pinto Quiles

**Diseño de un sistema de recuperación de
aguas grises domésticas para suministros de inodoros
en vivienda urbana: caso Querétaro.**

Noviembre de 2025



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería

**Diseño de un sistema de recuperación de
aguas grises domésticas para suministros de inodoros
en vivienda urbana: caso Querétaro.**

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de
Maestro en Diseño e Innovación

Presenta

D.I. Alma Pinto Quiles

Dirigido por:

Dra. Norma Maricela Ramos Salinas

Querétaro, Qro., a Noviembre de 2025

La presente obra está bajo la licencia:
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>



CC BY-NC-ND 4.0 DEED

Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

Usted es libre de:

Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

La licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Bajo los siguientes términos:



Atribución — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.



NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).



SinDerivadas — Si [remezcla, transforma o crea a partir](#) del material, no podrá distribuir el material modificado.

No hay restricciones adicionales — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas](#) que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia.

Avisos:

No tiene que cumplir con la licencia para elementos del material en el dominio público o cuando su uso esté permitido por una [excepción o limitación](#) aplicable.

No se dan garantías. La licencia podría no darle todos los permisos que necesita para el uso que tenga previsto. Por ejemplo, otros derechos como [publicidad, privacidad, o derechos morales](#) pueden limitar la forma en que utilice el material.



Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Ingeniería

Maestría en Diseño en Innovación

**Diseño de un sistema de recuperación de
aguas grises domésticas para suministros de inodoros
en vivienda urbana: caso Querétaro.**

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de

Maestro en Diseño e Innovación

Presenta

D.I. Alma Pinto Quiles

Dirigido por:

Dra. Norma Maricela Ramos Salinas

Dra. Norma Maricela Ramos Salinas

Directora

M. en C. Antonio Rodrigo Abad Sánchez

Co-Director

Dra. Magdalena Mendoza Sánchez

Vocal

Dr. José Felipe Peláez Polo

Suplente

Dr. Luis Fernando Maldonado Azpeitia

Suplente

Centro Universitario, Querétaro, Qro.

Noviembre, 2025

México

Dedicatoria

En memoria de mi intrépido hermano Gerardo,
cuya vida nos enseñó a valorar y vivir el presente sin miedos ni remordimientos;
y cuya partida nos demostró que a veces, ciertas oportunidades pasan,
pero siempre hay nuevas formas de avanzar y crecer desde donde estamos.

A mi esposo Galileo, por su apoyo incondicional en cada etapa de este proceso.

Gracias por sostenerme en los momentos más difíciles,
por confiar en mí incluso cuando yo dudaba,
y por aceptar compartir esta experiencia conmigo.

Este logro también es tuyo.

Agradecimientos

A la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (**SECIHTI**) por el financiamiento otorgado a esta investigación a través del CVU 1313990. Agradezco también a la Dra. María de la Luz Pérez Rea, directora de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro, por su respaldo y seguimiento institucional; al M. en I. Jorge Arturo García Pitol, coordinador de la Maestría en Diseño e Innovación, por su acompañamiento durante el desarrollo de este trabajo; así como a las distintas instancias y profesorado de la Universidad Autónoma de Querétaro que hicieron posible la realización de esta investigación y la obtención de sus resultados.

Agradezco profundamente a mi directora de tesis, la Dra. Norma Maricela Ramos Salinas, por su acompañamiento, no sólo académico sino también personal durante todo el proceso, y especialmente por su empatía, disposición y respaldo en los momentos más difíciles. Su guía profesional y comprensión fueron fundamentales para la consolidación de este proyecto.

A mi co-director externo, el M. en C. Antonio Rodrigo Abad Sánchez, por su constante apoyo técnico, sus aportaciones puntuales y su disposición que, a pesar de la distancia, fue siempre cercana, generosa y enriquecedora para esta investigación; pero por encima de todo, agradezco profundamente el haberme brindado su amistad a lo largo de más de doce años.

A mi vocal, la Dra. Magdalena Mendoza Sánchez, su guía y asesoría, presentes desde el propedéutico y reafirmadas tras su incorporación al comité sinodal, han sido clave en el desarrollo de este proyecto, le agradezco su acompañamiento académico y personal, así como su constante disposición y compromiso con este trabajo.

Extiendo también mi agradecimiento a los demás miembros de mi comité sinodal por su tiempo, observaciones y contribuciones a la mejora y fortalecimiento de este trabajo.

Índice General

Índice de Figuras.....	8
Resumen.....	12
Abstract.....	13
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
III. JUSTIFICACIÓN	16
3.1. Impacto de aguas grises en la salud y el ambiente	18
3.2. Beneficios de reúso de aguas grises tratadas.....	19
IV. ANTECEDENTES	20
4.1. Antecedentes históricos.....	20
4.2. Antecedentes tecnológicos en zonas urbanas	21
4.3. Antecedentes contextuales.....	25
4.3.1. Contexto global.....	25
4.3.2. Contexto nacional.....	27
4.3.3. Contexto estatal	30
4.3.4. Contexto municipal	35
4.4. Estado del arte	37
V. OBJETIVOS	47
5.1. Objetivo general	47
5.2. Objetivos específicos	47
VI. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	48
6.1. Marco conceptual	48
6.2. Marco Metodológico	54
6.2.1. Método de Proyección de Gui Bonsiepe.....	54
6.2.2. Herramientas para Metodologías cualitativas.....	56
VII. MATERIALES Y METODOLOGÍA	58
7.1. Estructura metodológica	58
7.2. Actividades de acuerdo a la estructura metodológica	60
A. Etapa de estructura del problema	60
B. Etapa de diseño.....	63
C. Etapa de realización.....	66

VIII.	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	68
8.1.	Resultados de etapa de Estructura del problema	68
8.2.	Resultados de etapa de Diseño	77
8.3.	Resultados de etapa de Realización.....	105
IX.	CONCLUSIONES.....	119
9.1.	Oportunidades de mejora	120
X.	BIBLIOGRAFÍA O REFERENCIAS.....	122
XI.	ANEXOS.....	131
11.1.	Carta de consentimiento informado	131
11.2.	Guía de preguntas para primera encuesta	132
11.3.	Guía de preguntas para segunda encuesta	133
11.4.	Guía de preguntas para tercera encuesta.....	137
11.5.	Constancia de participación en concurso DETONA, 2024.	140
11.6.	Constancia de Alumno Finalista en concurso DETONA, 2024.	141

Índice de Tablas

Tabla 1. Estimación de aguas residuales domésticas generadas en Querétaro. Elaboración propia, 2023. Datos de INEGI (INEGI, 2020).	30
Tabla 2. Disponibilidad de agua residual tratada en Querétaro y la comparativa de crecimiento en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR's) de 2013 a 2021. Elaboración propia, 2023. Datos de Inventario de aguas residuales en México, 2013-2021. (CONAGUA, Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación, 2013), (CONAGUA C. , 2021).	31
Tabla 3. Disponibilidad de agua por acuífero en Querétaro. Elaboración propia, datos de (CONAGUA, AGUAS SUBTERRÁNEAS / Acuíferos, s.f.)	33
Tabla 4. Estructura metodológica adaptada a la investigación con las actividades desarrolladas en cada etapa. Elaboración propia, 2024.	59
Tabla 5. Descripción técnica de productos existentes de reúso de aguas grises domésticas, ya sea de manera directa o indirecta. Elaboración propia, 2024.	74
Tabla 6. Lista de componentes para la construcción del prototipo funcional. Elaboración propia, 2024.	85
Tabla 7. Pruebas de usabilidad realizadas con el prototipo funcional. Elaboración propia, 2024.	89
Tabla 8. Resultados de Prueba 1. Elaboración propia, 2024.	93
Tabla 9. Resultados de Prueba 2. Elaboración propia, 2024.	94
Tabla 10. Resultados de Prueba 3. Elaboración propia, 2024.	95
Tabla 11. Resultados de preguntas abiertas en encuesta aplicada por Google Forms sobre la percepción de los usuarios hacia el producto. Elaboración propia, 2025.	99
Tabla 12. Costos para prototipo piloto de cerámica para el tanque de menor tamaño. Elaboración propia, 2025.	105
Tabla 13. Costos para prototipo piloto de lámina de acero inoxidable para tanque de mayor tamaño. Elaboración propia, 2025.	107
Tabla 14. Costos para prototipo piloto de placa de acrílico para tanque de menor tamaño. Elaboración propia, 2025.	109

Tabla 15. Monitoreo de consumo de agua de la regadera. Elaboración propia, 2025.
..... 114

Tabla 16. Monitoreo de aguas grises recuperadas de la ducha. Elaboración propia, 2025...... 115

Índice de Figuras.

Figura 1. Objetivos de Desarrollo Sostenible que se pretenden abordar (ONU, 2015).	17
Figura 2. Representación de uso de “Hydraloop Concealed” de 150 L. (Hydraloop, 2023)	21
Figura 3. Representación de tratamientos patentados (Hydraloop, 2023).	22
Figura 4. Representación de uso de “Flowloop shower” (Flow Loop: Circular Showers, 2025)	23
Figura 5. Representación de tratamientos de “Flowloop shower” (Flow Loop: Circular Showers, 2025).	24
Figura 6. Porcentaje de uso de agua potable en actividades domésticas en el mundo. Datos de (ONU, 2015). Elaboración propia, 2023.	26
Figura 7. Porcentaje de uso de agua potable en actividades domésticas en México. Datos de (CONAGUA, SEMARNAT, 2015). Elaboración propia, 2023.	28
Figura 8. Aguas residuales y contaminación en México. Datos de (FCEA, 2018). Elaboración propia, 2023.	29
Figura 9. Desglose de consumos de agua. Datos de (OMS & UNICEF, 2021), (CONAGUA, Estadísticas del agua en México, 2018), (CONAGUA, Estadísticas del Agua en México, 2021), (CONAGUA, Disponibilidad Media Anual De Agua En El Acuífero Valle De Querétaro, 2024) Elaboración propia, 2024.	36
Figura 10. Mapa de coocurrencia de artículos relacionados con el reúso de aguas grises en 2025. Datos de Scopus, visualización de VOSviewer, 2025.	46
Figura 11. Diagrama de Venn de la interrelación de las pruebas de funcionalidad y las de usabilidad. Elaboración propia, 2025.	57
Figura 12. Diagrama de preguntas de primera encuesta. Elaboración propia, 2023.	61
Figura 13. Capturas de cuestionario en Google Forms. Elaboración propia, 2025.	62
Figura 14. Capturas de cuestionario en Google Forms. Elaboración propia, 2025.	65
Figura 15. Nivel de Madurez Tecnológica alcanzado (TRL). Datos de (Ayming, 2021).	67

Figura 16. Mapa de fraccionamientos en Santiago de Querétaro (señalados en rojo). Datos de Google Maps, 2025.	68
Figura 17. Resultados de la encuesta aplicada por Google Forms sobre consumos individuales de agua doméstica. Elaboración propia, 2025.....	70
Figura 18. Actividades domésticas que usan agua potable según los encuestados. Captura de resultados de encuesta aplicada por Google Forms, 2025.....	71
Figura 19. Resultados de la encuesta aplicada por Google Forms sobre preferencia de reúso de aguas grises. Elaboración propia, 2025.....	72
Figura 20. Diagrama de subproblemas interrelacionados. Elaboración propia 2024.	73
Figura 21a y 21b. Primer concepto como acercamiento a la solución de diseño. Elaboración propia, 2023.	77
Figura 22a y 22b. Segundo concepto como acercamiento a la solución de diseño. Elaboración propia, 2023.	78
Figura 23. Despiece de segundo concepto como acercamiento a la solución de diseño. Elaboración propia, 2023.	79
Figura 24a y 24b. Tercer concepto como acercamiento a la solución de diseño. Elaboración propia, 2024.	80
Figura 25. Componentes y ensamble de maqueta construida en impresión 3D de extrusión de filamento a Escala 1:3 de la propuesta 3. Elaboración propia, 2024.....	81
Figura 26a y 26b. Cuarto concepto como acercamiento a la solución de diseño. Elaboración propia, 2024.	82
Figura 27. Quinto concepto como acercamiento a la solución de diseño.	83
Figura 28. Sexto concepto y despiece de acercamiento a la solución de diseño. Elaboración propia, 2024.	84
Figura 29. Prototipo funcional con materiales y piezas comerciales y de impresión 3D en resina. Elaboración propia, 2024.	87
Figura 30. Prototipo funcional montado en un baño convencional para realizar pruebas. Elaboración propia, 2024.....	88
Figura 31. Prototipo funcional con filtro con carbón activado granulado.	90
Figura 32. Componentes que integran el sistema de monitoreo. Elaboración propia,	

2024.....	91
Figura 33. Materiales para pruebas. Elaboración propia, CETEVI, 2024.....	93
Figura 34a y 34b. Propuesta de diseño basada en mejoras. Elaboración propia, 2024.	96
Figura 35. Propuestas de tamaños del concepto final. Elaboración propia, 2024.....	97
Figura 36. Resultados de preguntas tipo Likert en encuesta aplicada por Google Forms sobre la percepción de los usuarios hacia el producto. Elaboración propia, 2025.....	98
Figura 37. Diagrama de Pareto con frecuencia de comentarios. Datos de encuesta aplicada por Google Forms sobre la percepción de los usuarios hacia el producto. Elaboración propia, 2025.	100
Figura 38. Plano técnico del contenedor del sistema. Elaboración propia, 2024.	101
Figura 39. Plano técnico de tapa para contenedor del sistema. Elaboración propia, 2024.....	102
Figura 40. Plano técnico de soportes para contenedor del sistema. Elaboración propia, 2024.....	103
Figura 41. Plano técnico de coladera especial del sistema. Elaboración propia, 2024.	104
Figura 42. Prueba de ensamblado en cerámica de contenedor de 90 litros. Elaboración propia, 2025.	106
Figura 43. Reacción de las placas cerámicas ante la deshidratación y contracción. Elaboración propia, 2025.	106
Figura 44. Propuesta de diseño de contenedor de 145 L. en lámina de acero inoxidable. Elaboración propia, 2025.....	108
Figura 45. Prototipo piloto en acrílico traslúcido. Elaboración propia, 2025.	110
Figura 46. Acercamiento a PMV con acabado final e instalado en baño convencional.	111
Figura 47. Sistema de monitoreo adaptado a llave de salida de agua de la regadera. Elaboración propia, 2025.	112
Figura 48. Botón encendido de sistema de bombeo de agua. Elaboración propia, 2025.	

.....	113
Figura 49. Monitoreo de aguas grises de la ducha recuperadas. Datos de prueba de funcionalidad con PMV. Elaboración propia, 2025.....	116
Figura 50. Representación del uso del agua recuperada con el producto. Datos de (CONAGUA, SEMARNAT, 2015). Elaboración propia, 2025.....	119

Resumen

El crecimiento urbano acelerado y la escasez de recursos hídricos en el estado de Querétaro han impulsado la necesidad de proponer soluciones sostenibles para el manejo del agua en entornos domésticos urbanos. En este contexto, las aguas grises representan una fuente valiosa de reúso, particularmente aquellas provenientes de la ducha, debido a su bajo nivel de contaminación. Este trabajo tiene como objetivo diseñar, desarrollar e implementar un sistema de recolección y recuperación de aguas grises que incluya el monitoreo del consumo de agua, adaptado a fraccionamientos urbanos de Querétaro, con el fin de evaluar su viabilidad técnica, económica y social mediante pruebas funcionales y de usabilidad. La metodología empleada se basó en la estructura del Método de Proyección de Gui Bonsiepe, complementada con herramientas cualitativas, e incluyó etapas de investigación documental, desarrollo técnico y validación en campo. Se realizaron análisis de factibilidad, modelado 3D del sistema, prototipado funcional y pruebas de usabilidad con usuarios potenciales, así como simulaciones de ahorro en consumo de agua y costos. Los resultados obtenidos demuestran que el sistema diseñado permite recolectar y reutilizar eficientemente el agua de la ducha para su aprovechamiento en las descargas del inodoro, sin comprometer la comodidad ni la infraestructura de la vivienda. Además, el monitoreo en tiempo real del consumo hídrico fomenta la conciencia ambiental y hábitos de uso responsables por parte del usuario. Finalmente, el análisis costo-beneficio evidencia que, a mediano plazo, la implementación del sistema resulta económicamente viable en viviendas urbanas de interés medio, generando un impacto positivo tanto ambiental como social.

Palabras clave: recuperación de aguas grises, reúso de agua doméstica, consumo responsable de agua, diseño de producto, vivienda urbana, sostenibilidad hídrica

Abstract

The accelerated urban growth and water resource scarcity in the state of Querétaro have driven the need to propose sustainable solutions for water management in urban domestic environments. In this context, greywater represents a valuable source for reuse, particularly that which comes from the shower, due to its low level of contamination. This work aims to design, develop, and implement a greywater collection and reuse system that includes water consumption monitoring, adapted to urban housing developments in Querétaro, in order to evaluate its technical, economic, and social feasibility through functional and usability testing. The methodology used was based on the structure of Gui Bonsiepe's Design Method, complemented by qualitative tools, and included stages of documentary research, technical development, and field validation. Feasibility analyses, 3D modeling of the system, functional prototyping, and usability tests with potential users were conducted, as well as simulations of water and cost savings. The results obtained demonstrate that the designed system allows for efficient collection and reuse of shower water for toilet flushing, without compromising the comfort or infrastructure of the home. Additionally, real-time monitoring of water consumption promotes environmental awareness and responsible usage habits among users. Finally, the cost-benefit analysis shows that, in the medium term, implementing the system is economically viable in mid-income urban homes, with a positive environmental and social impact.

Keywords: greywater recovery, domestic water reuse, responsible water consumption, product design, urban housing, water sustainability

I. INTRODUCCIÓN

La presente tesis aborda el desafío crítico de la escasez de agua, un problema global que se intensifica en regiones semiáridas y áridas que muestran crecimiento demográfico y urbano como lo es la capital del estado de Querétaro. Este contexto evidencia la creciente necesidad de implementar soluciones innovadoras para una gestión sostenible del recurso hídrico. En este sentido, la recuperación de aguas grises, aquellas generadas por actividades domésticas como el baño, se presenta como una estrategia eficaz para reducir el desperdicio de agua potable. La investigación tiene como objetivo general diseñar una solución técnica que permita la recuperación de aguas grises provenientes de la ducha para su reúso en descargas de inodoros, considerando viviendas de bajo poder adquisitivo en las comunidades mencionadas.

La metodología se estructura en tres etapas fundamentales. En la Estructuración del problema, se identifican y valoran las necesidades mediante un estudio etnográfico con encuestas, se analiza y define el problema proyectual, y se examinan soluciones existentes aplicables al contexto local. En la etapa de Diseño, se generan, evalúan y seleccionan alternativas viables, detallando la opción óptima en un prototipo funcional que es sometido a pruebas, ajustes y valoración, culminando con los planos técnicos necesarios para fabricar un Producto Mínimo Viable (PMV). Finalmente, en la etapa de Realización, se elabora un estudio de costos, se adapta el diseño a las condiciones del productor, y se valida el PMV en sitio con usuarios reales. Esta validación incluye la valoración a través de grupos focales, recopilando percepciones y experiencias que orientan futuras mejoras.

El resultado de esta investigación busca contribuir a la gestión eficiente del agua en comunidades vulnerables, promoviendo la adopción de tecnologías sostenibles que impacten positivamente en la calidad de vida y la preservación de los recursos hídricos.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La falta de reutilización de aguas grises domésticas representa un desafío ambiental significativo que obstaculiza una gestión eficiente y sostenible del agua. En zonas urbanas del estado de Querétaro, gran parte del agua utilizada en actividades como la ducha se desecha directamente al drenaje, a pesar de que podría aprovecharse en tareas que no requieren agua potable, como las descargas de los inodoros.

Esta situación es especialmente preocupante considerando el creciente estrés hídrico en la región, agravado por sequías recurrentes y un acelerado crecimiento urbano que incrementa la demanda del recurso. En este contexto, es urgente promover soluciones que permitan la optimización del uso del agua dentro de las viviendas.

Entre los factores que contribuyen a esta problemática destacan:

- El uso intensivo de agua potable en inodoros, a pesar de no requerir agua en condiciones potables para su funcionamiento.
- La falta de aprovechamiento de aguas grises, especialmente las provenientes de la ducha, que tienen un bajo nivel de contaminación.
- La ausencia de sistemas accesibles y funcionales para la recuperación, tratamiento y reutilización de aguas grises en viviendas urbanas.
- La limitada información disponible para los usuarios sobre sus patrones reales de consumo, lo que impide una toma de decisiones informada para un uso más consciente del recurso.
- Falta de conciencia y educación ambiental, lo que tiene como consecuencia la resistencia al cambio de hábitos.

Esta problemática plantea la necesidad de diseñar e implementar soluciones tecnológicas sostenibles, adaptadas al contexto urbano, que faciliten el reúso del agua y fomenten hábitos de consumo responsables en los hogares.

III. JUSTIFICACIÓN

La reutilización de aguas grises es una estrategia que puede reducir el desperdicio de agua potable en actividades que no lo requieren, que además se alinea con el objetivo principal de los Programas Nacionales Estratégicos (PRONACES) [\(CONACYT, 2019\)](#), que es organizar los esfuerzos de investigación para abordar problemáticas nacionales específicas que requieren atención urgente y soluciones integrales. Estos programas buscan investigar las causas de las problemáticas, promoviendo un enfoque multidimensional e interdisciplinario para comprender y resolver los desafíos identificados a nivel nacional; entre ellos, se prioriza abordar temas como: “Transición energética y cambio climático con modelos tecnológicos de bajo consumo de energía aplicados a la ciudad y el campo”, el cual encaja con la investigación del proyecto.

Otras consideraciones del proyecto, son abordar y cumplir con los objetivos del Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación 2021-2024 [\(DOF D. , 2021\)](#); en los que se considera el tema del agua como un recurso fundamental para el bienestar social y como parte de las estrategias para el desarrollo sostenible del país. En particular, los objetivos destacan la importancia de garantizar la disponibilidad del agua, promover la construcción de infraestructuras resilientes, la gestión de los recursos hídricos como parte de los esfuerzos para alcanzar un desarrollo inclusivo y sostenible, el desarrollo económico y la preservación del medio ambiente.

El proyecto de reutilización de aguas grises en el inodoro se alinea con varios Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas (Figura 10). Esto incluye ODS 6 (Agua Limpia y Saneamiento) al promover la gestión sostenible del agua y la conservación del recurso, ODS 11 (Ciudades y Comunidades Sostenibles) al impulsar la sostenibilidad urbana y el uso responsable del agua, ODS 12 (Producción y Consumo Responsables) al fomentar el uso responsable de recursos y la reducción del desperdicio de agua, ODS 13 (Acción por el Clima) y ODS 15 (Vida de Ecosistemas Terrestres) al contribuir a la conservación de ecosistemas terrestres al mantener los caudales de ríos y acuíferos y preservar la biodiversidad [\(ONU, 2015\)](#).



Figura 1. Objetivos de Desarrollo Sostenible que se pretenden abordar [\(ONU, 2015\)](#).

Una de las maneras de reducir el consumo de agua potable de un 35 a un 45% [\(Loza Delgado, 2017\)](#) en zonas urbanas de Santiago de Querétaro, como los fraccionamientos; es reutilizar las aguas grises generadas en las actividades domésticas para destinarlas a las descargas del inodoro mediante una tecnología conveniente, reduciendo así el uso de agua potable en esta actividad que no requiere agua limpia o potable para realizarse.

Las principales razones concretas para realizar el proyecto, aportando a la relevancia social y económica son:

- Conservación del agua potable: Reutilizar aguas grises en las descargas de los inodoros y el riego, reduce la demanda de agua potable para fines NO potables, preservando así este recurso vital para usos más críticos como el consumo humano.
- Mitigación de la escasez de agua: La práctica ayuda a combatir la escasez de agua, especialmente en regiones propensas a la sequía como lo es el estado de Querétaro; y específicamente en zonas en expansión urbana como lo es el municipio de Santiago de Querétaro, liberando así recursos hídricos para otros usos mientras se conserva la calidad del agua.
- Ahorro económico: La reutilización de aguas grises puede resultar en ahorros significativos en el cobro de agua por parte de la Comisión Estatal de Aguas (CEA), lo que beneficia a los propietarios de viviendas urbanas, sobre todo en las que se registran altos costos del agua como “Doméstico Medio” a “Doméstico Alto” [\(CEA, Comisión Estatal de aguas de Querétaro, 2024\)](#)
- Impacto ambiental reducido: Al evitar el uso de agua potable en actividades que NO la requieren, se minimiza la extracción en acuíferos y otros cuerpos de agua utilizados para consumo humano; reduciendo la sobreexplotación sin exceder la recarga natural de los mismos.

- Conciencia ambiental: Fomenta la conciencia sobre la importancia de utilizar el agua de manera más responsable y sostenible, promoviendo una cultura de conservación en la sociedad.
- Cumplimiento normativo: En algunas áreas, la reutilización de aguas grises puede estar sujeta a regulaciones y políticas que requieren su implementación, lo que aumenta su urgencia y necesidad.

3.1. Impacto de aguas grises en la salud y el ambiente

Las aguas grises sin tratamiento han sido utilizadas en la irrigación a pequeña escala, presentando impactos negativos en las propiedades del suelo, asociados principalmente a la dispersión de agregados debido a la acumulación de sodio, y a la modificación de propiedades hidrodinámicas de los suelos ocasionada por la acumulación de surfactantes [\(Murcia Sarmiento, Calderón Montoya, & Díaz Ortiz, 2014\)](#).

Más del 80% de las aguas residuales resultantes de actividades humanas se vierten en los ríos o el mar sin ningún tratamiento, lo que provoca su contaminación [\(ONU, 2015\)](#).

Los surfactantes pueden alterar la permeabilidad o la integridad de la piel provocando irritación cutánea, siendo los aniónicos los más irritantes seguidos por los catiónicos, los no iónicos y los *anfotéricos*, es decir; que pueden reaccionar como ácido o como base. Pueden provocar también irritación ocular y de vías respiratorias. Aparte de los efectos irritativos, no hay evidencia de toxicidad aguda en el hombre [\(Lavoué, Bégin, & Gérin, 2003\)](#).

La reducción de la contaminación del agua requiere una fuerte inversión en infraestructura para el tratamiento de las aguas residuales y representaría un ahorro en cuanto a la atención médica que debe darse al tratamiento de enfermedades diarreicas provocadas por agua y productos agrícolas contaminados. En 2015 murieron en México 3754 personas debido a enfermedades infecciosas intestinales [\(FCEA F. y., 2018\)](#).

De acuerdo con el mensaje lanzado por la Organización Mundial de la Salud, la cantidad de agua utilizada por cada persona del mundo no debería sobrepasar los 100 litros diarios. Con

esta cantidad, una persona debería tener agua suficiente para abastecer todas sus necesidades, ya sean alimenticias, sanitarias, higiénicas, etc. [\(OMS & UNICEF, 2021\)](#).

3.2. Beneficios de reúso de aguas grises tratadas

La primera ventaja asociada al reciclaje de aguas grises es, evidentemente, el ahorro de agua limpia y potable. Es por ello que su uso es realmente pertinente en aquellos lugares que por su geografía tengan problemas de sequías, ya que permite reducir la demanda de agua y, por tanto, tener un mayor control sobre el abastecimiento, además de otras ventajas como [\(Maldonado López, 2021\)](#):

- La reutilización de aguas grises puede conseguir el ahorro de entre un 30% y un 45% de agua potable.
- En el caso del regado de plantas, al aprovechar esos nutrientes extras de los que hablábamos, reduce las cantidades de fertilizantes que comúnmente se usan para la jardinería.
- Disminuir el monto de los recibos de agua y la factura por manejo de aguas residuales.
- Diversificar los suministros de agua municipales y proporcionar una fuente alternativa de agua para diversos usos.
- Reducir las necesidades de energía y químicos usados para tratar las aguas residuales.

Otros autores también nos recomiendan [\(Suárez, Jácome, del Río, Torres, & Ures, 2012\)](#):

- Reducción de consumo de recursos convencionales, de alta calidad, que permite que sean liberados a usos más exigentes, o simplemente dejen de ser extraídos del medio natural.
- Disminución de los costes de tratamiento y de vertido de agua residual.
- El aplazamiento, la reducción, o incluso la supresión, de ampliaciones o nuevas infraestructuras de distribución o de tratamiento de agua de abastecimiento.
- Un ahorro energético al transportar y tratar menores volúmenes de agua.

IV. ANTECEDENTES

Para describir con claridad la situación actual y la evolución del reúso de aguas grises; se deben tomar en cuenta los aspectos históricos y técnicos del tema, así como la investigación y documentación del contexto y las aportaciones de trabajos similares (estado del arte).

4.1. Antecedentes históricos

Desde el comienzo de la Edad del Bronce (aproximadamente 3200-1100 a.C.), diversas civilizaciones, como las de China, Oriente, Egipto, el Valle del Indo, Mesopotamia y Creta, han empleado aguas residuales domésticas para riego y acuicultura. Durante los períodos históricos (aproximadamente 1000 a.C. - 330 d.C.), este aprovechamiento efectivo de las aguas grises demuestra una gestión del agua excepcional en tiempos pre-tecnológicos, como en las Chinampas de México y el uso de aguas residuales en Yemen en el siglo III d.C.

En épocas más recientes, el uso de aguas residuales para la mejora de suelos y el riego agrícola comenzó en ciudades europeas y posteriormente en Estados Unidos. En la actualidad, se desarrollan proyectos de recuperación y reutilización de agua a nivel global, utilizando agua reciclada para múltiples fines, incluyendo aplicaciones de agua no potable, e incluso, para el consumo humano tras pasar por tratamientos avanzados. La evolución del reciclaje de agua desde la antigüedad hasta el presente refleja un proceso de perfeccionamiento de métodos de tratamiento, especialmente a partir de los siglos XIX y XX, impulsado por factores como el crecimiento demográfico, el desarrollo de megaciudades, el cambio climático, los avances tecnológicos y una creciente, aunque aún limitada, conciencia sobre la finitud de los recursos de agua dulce [_\(Angelakis, Asano, Bahri, Jiménez, & Tchobanoglous, 2018\).](#)

4.2. Antecedentes tecnológicos en zonas urbanas

a) Hydraloop:

El fundador holandés de la empresa Hydraloop, Arthur Valkieser; creó el tratador de aguas residuales domésticas basándose en una idea: *"Es absurdo que en pleno siglo XXI la gente siga tirando la cadena de sus inodoros con agua preciosa, ya que cada día escasea más"* (Valkieser, 2017)

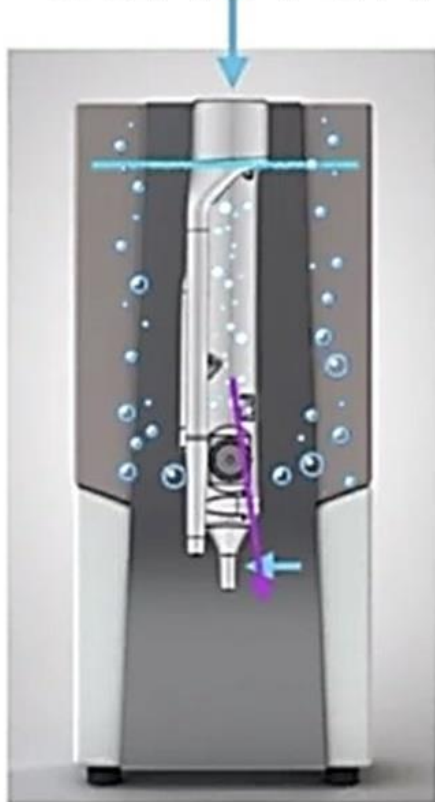


Figura 2. Representación de uso de “Hydraloop Concealed” de 150 L. (Hydraloop, 2023)

Después de instalar uno de los primeros prototipos de un sistema de reciclaje de agua en su propia casa, se invirtió en el reciclaje de agua. El desafío era crear un sistema que redujera drásticamente el uso de agua sin comprometer la comodidad de vida o la higiene personal. En noviembre de 2017, Hydraloop estaba listo para salir al mercado. En tres años instaló cientos de sus innovadores sistemas en países de Europa, Medio Oriente y África y obtuvo reconocimiento internacional por su enfoque sostenible. Su producto de menor tamaño está diseñado para casas pequeñas o departamentos. Se instala en lugar de la caja del inodoro y

tiene una capacidad de 150 L reutilizando las aguas grises de la ducha (Figura 3), seguido de 6 tratamientos de aguas residuales patentados que se muestran en la Figura 4. [\(Hydraloop, 2023\)](#).

CÓMO FUNCIONA HIDRALOOP



- El tanque de tratamiento del procesador está en el medio, detrás de la placa frontal de acero inoxidable.
- Una combinación patentada de 6 tratamientos.
- El agua ingresa al sistema Hydraloop desde la parte superior a través de una conexión de 40 mm.

1. **Sedimentación:** El sedimento se recoge en el fondo del tanque de proceso.
2. **Flotación:** Toda la suciedad flotante, como el jabón y el cabello, queda atrapada y recogida en el tanque central y desechada por el *skimmer* (separador superficial).
3. **Flotación por aire disuelto:** Pequeñas burbujas de aire viajan hacia arriba en el tanque central y recogen sólidos suspendidos y materia orgánica y se eliminan a través del *skimmer*.
4. **Fraccionamiento de espuma:** El jabón, el champú, el acondicionador para el cabello, los sólidos y las materias orgánicas se extraen del agua y se retiran.
5. **MBBR:** Tratamiento biológico mediante biorreactor aeróbico en tanque superior exterior.
6. **Desinfección UV:** El último paso del tratamiento es la desinfección con luz ultravioleta. Cada 4 horas, el agua almacenada se vuelve a desinfectar.

Figura 3. Representación de tratamientos patentados [\(Hydraloop, 2023\)](#).

Datos de Hydraloop. Elaboración propia 2024.

b) Orbytal y Flow Loop:

Sistemas de bombeo y tratamiento de aguas grises de la ducha, reutilizan el agua gris generada de la ducha de manera cíclica (bañarse a hasta 6 veces con la misma agua después de estos tratamientos). Desventajas: no garantiza al 100% la Calidad del agua para su reúso en higiene personal, pues va reduciendo en cada ciclo.

- Orbytal: pensado para usarse en el espacio para que los astronautas reutilizaran el agua gris de la ducha, reduciendo hasta el 70% de consumo de agua potable.
- Flow Loop (Circular Showers): La empresa se formó después de ver el potencial comercial para la ciudad del producto anterior. IKEA se asoció con la empresa para comercializar sus productos en sus tiendas. La ducha LOOP de Flow Loop está diseñada para instalarse en 2 horas en baños existentes sin necesidad de remodelación y promete un ahorro de agua hasta de 80% (Figura 5 y 6).



Figura 4. Representación de uso de “Flowloop shower” [\(Flow Loop: Circular Showers, 2025\)](#)

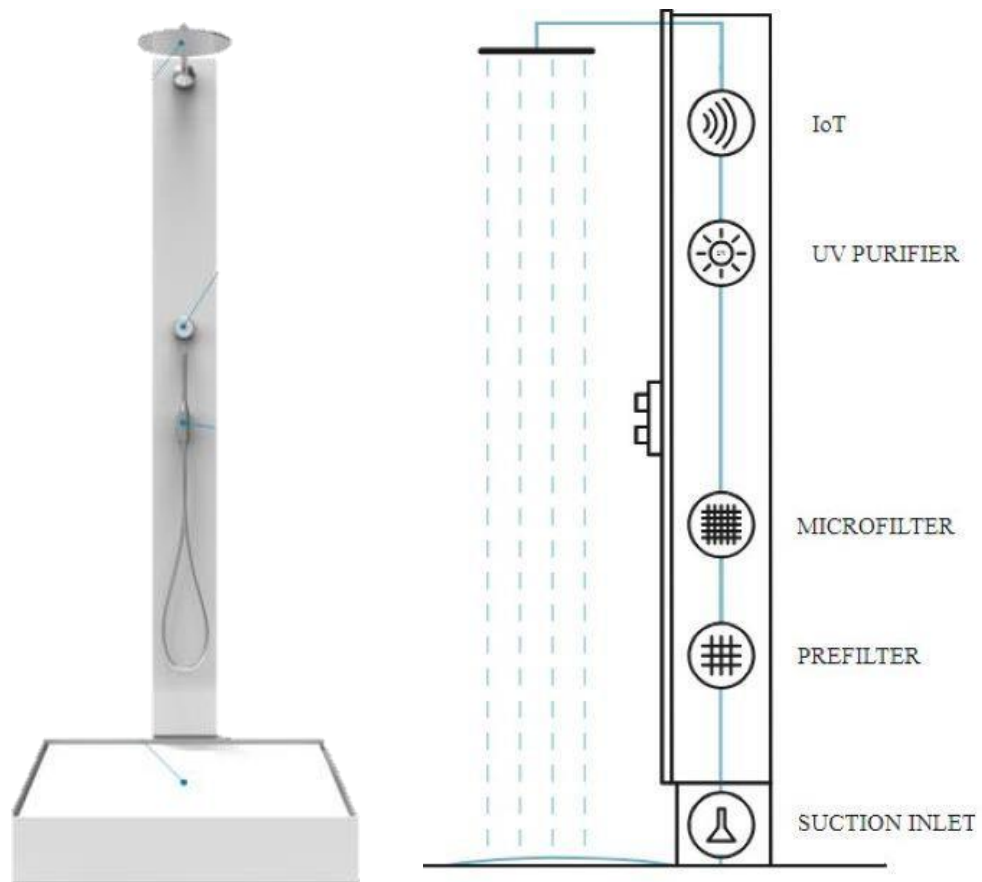


Figura 5. Representación de tratamientos de “Flowloop shower” [\(Flow Loop: Circular Showers, 2025\)](#)

4.3. Antecedentes contextuales

En esta sección, se aborda la temática desde una perspectiva global, nacional, estatal y municipal. Se presenta una descripción general de la realidad actual, contextualizando el fenómeno en sus diferentes dimensiones. Además, se analizan las consecuencias actuales y futuras resultantes de la ausencia de soluciones al problema de la gestión de los recursos hídricos.

4.3.1. Contexto global

A nivel mundial, la industria utiliza 22% de agua potable, 8% del consumo doméstico y 70% de la agricultura, según datos de la ONU; adicional a la utilización del agua que hace la industria, se acompaña de la contaminación que se genera a los cuerpos acuíferos debido a la descarga de aguas residuales sin tratamiento [\(OMS & UNICEF, 2021\)](#). Según la Agenda 2030 [\(ONU, 2015\)](#); se reconoce que:

- 3 de cada 10 personas carecen de acceso a servicios de agua potable seguros y 6 de cada 10 carecen de acceso a instalaciones de saneamiento gestionadas de forma segura.
- La escasez de agua afecta a más del 40% de la población mundial y se prevé que este porcentaje aumente. Más de 1700 millones de personas viven actualmente en cuencas fluviales en las que el consumo de agua supera la recarga.
- Aproximadamente el 70% de todas las aguas extraídas de los ríos, lagos y acuíferos en el mundo, se utilizan para el riego en la agricultura.

Según el informe del Programa Conjunto OMS/UNICEF de Monitoreo del Abastecimiento del Agua, el Saneamiento y la Higiene 2000-2020; señala que antes de 2030, habrá desabasto de agua potable y altos costos por extracción y distribución [\(OMS & UNICEF, 2021\)](#).

- Solo un 81% de la población mundial tendrá acceso a agua potable salubre en su hogar, un bien del que no podrán disfrutar 1.600 millones de personas.
- Solo un 67% dispondrá de servicios de saneamiento adecuados, a diferencia de 2.800 millones de personas.
- Los servicios de saneamiento gestionados de manera segura llegaron a un 62% de la población urbana mundial, pero solo a un 44% de la población rural.
- Solo un 78% contará con instalaciones básicas para lavarse las manos, lo que significa que 1.900 millones de personas no tendrán acceso a ellas.

Consumo de agua per cápita diario en el mundo

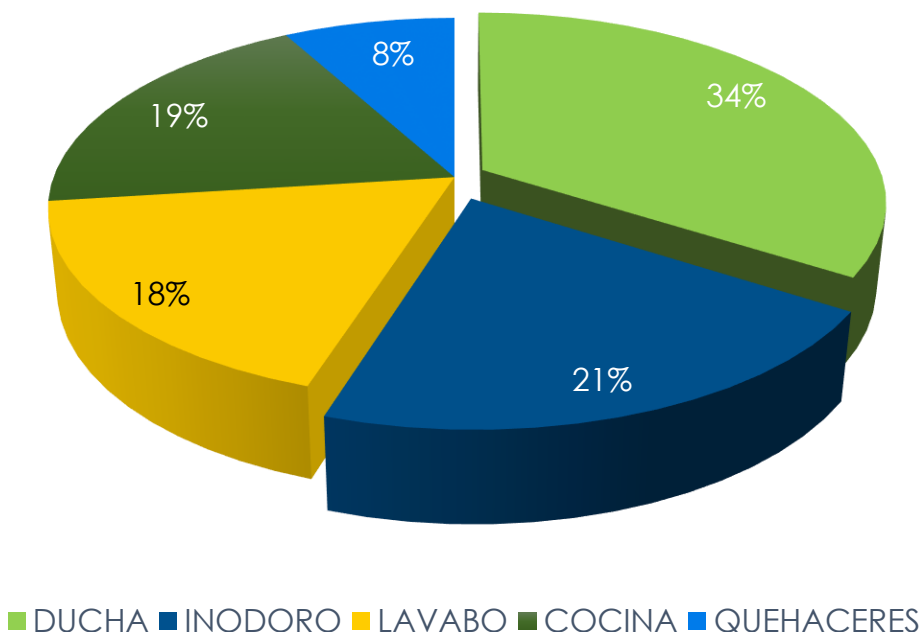


Figura 6. Porcentaje de uso de agua potable en actividades domésticas en el mundo.

Datos de [\(ONU, 2015\)](#). Elaboración propia, 2023.

4.3.2. Contexto nacional

En el documento "Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024", se mencionan algunas estrategias específicas relevantes para el proyecto con respecto a la gestión del agua [_\(DOF, Diario Oficial de La Federación, 2019\)](#).

- Garantizar el derecho humano al agua y saneamiento: Se busca garantizar el acceso equitativo al agua potable y al saneamiento básico para toda la población, priorizando a las comunidades más vulnerables y marginadas.
- Promover la cultura del agua: Se propone fomentar una cultura de cuidado y uso eficiente del agua, así como la participación ciudadana en la gestión sostenible de los recursos hídricos. Esto mediante la implementación de programas educativos y campañas de sensibilización sobre la importancia del cuidado del agua y el uso eficiente de este recurso, tanto en escuelas como en la sociedad en general. Además de capacitar a la población en el uso eficiente del agua, promoviendo buenas prácticas de conservación y reutilización del recurso, tanto a nivel doméstico como en actividades productivas.

Además de las medidas mencionadas anteriormente, el Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024 también contempla otras acciones relevantes en relación con el tema del agua [_\(DOF, Diario Oficial de La Federación, 2019\)](#):

- Preservación de ecosistemas acuáticos: Se establece la importancia de preservar los ecosistemas acuáticos, como ríos, arroyos y lagunas, mediante acciones de reforestación, saneamiento de cuerpos de agua y protección de la flora y fauna asociada a estos ecosistemas.
- Tratamiento de aguas negras y gestión de desechos: Se promueve la generalización de prácticas de tratamiento de aguas residuales y el manejo adecuado de desechos, con el objetivo de reducir la contaminación de fuentes de agua y garantizar su calidad para consumo humano y uso en actividades productivas.

- **Conciencia ambiental:** Se busca expandir en la sociedad la conciencia ambiental y la convicción del cuidado del entorno, promoviendo la responsabilidad individual y colectiva en la protección de los recursos hídricos y en la adopción de prácticas sostenibles en su uso.

En México, el uso del agua se distribuye en diversas actividades humanas: el 76% del agua disponible se destina a la agricultura, el 14% al abastecimiento público, el 5% a las termoeléctricas y otro 5% a la industria. El consumo directo de agua para beber o para higiene personal representa únicamente el 4% del uso total de agua, mientras que los productos y servicios adquiridos representan el 96% restante del consumo humano [\(CONAGUA, Estadísticas del agua en México, 2018\)](#).

En términos de uso doméstico, este representa un 10% del agua dulce en México, frente a un promedio mundial del 8%. Sin considerar el riego de jardines, los porcentajes de uso de agua en una vivienda típica se dividen en proporciones específicas, como se observa en la Figura 7: [\(CONAGUA, SEMARNAT, 2015\)](#):

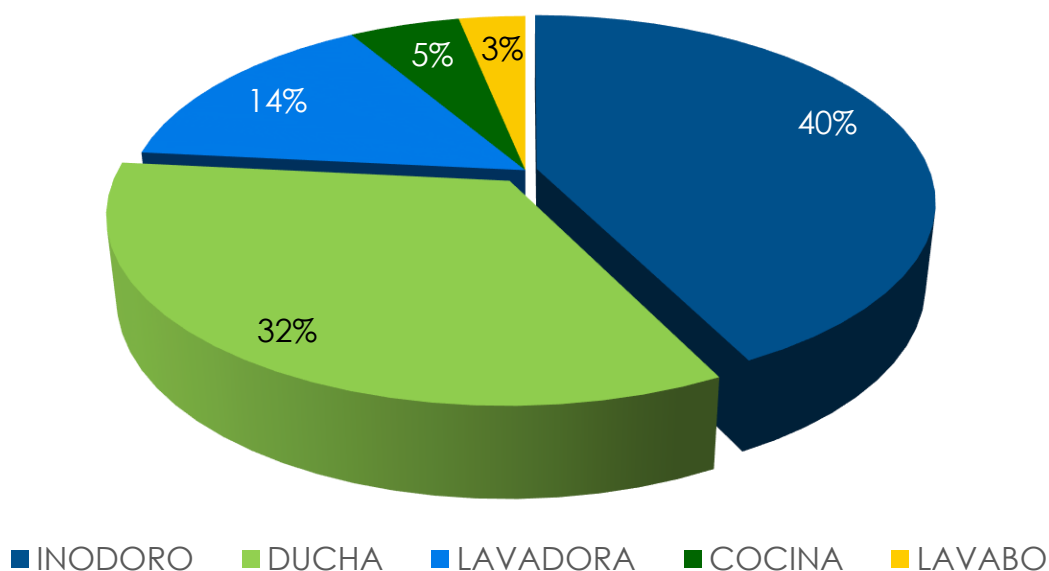


Figura 7. Porcentaje de uso de agua potable en actividades domésticas en México.
Datos de [\(CONAGUA, SEMARNAT, 2015\)](#). Elaboración propia, 2023.

Así mismo, las descargas de aguas residuales se clasifican en municipales (abastecimiento público urbano y rural) y no municipales (otros usos como industria autoabastecida). Según cifras oficiales, se trata el 52.7% de los 229.1 m³/s aguas municipales que se generan, y el 32.8% de las aguas no municipales, teniendo en cuenta que, de esas aguas tratadas solo se reutilizaron el 88.4% en diferentes etapas y procesos; el resto de las aguas residuales no tratadas, terminan en mares, ríos y otros vertederos [\(FCEA, 2018\)](#), como se muestra en la siguiente figura (Figura 8):

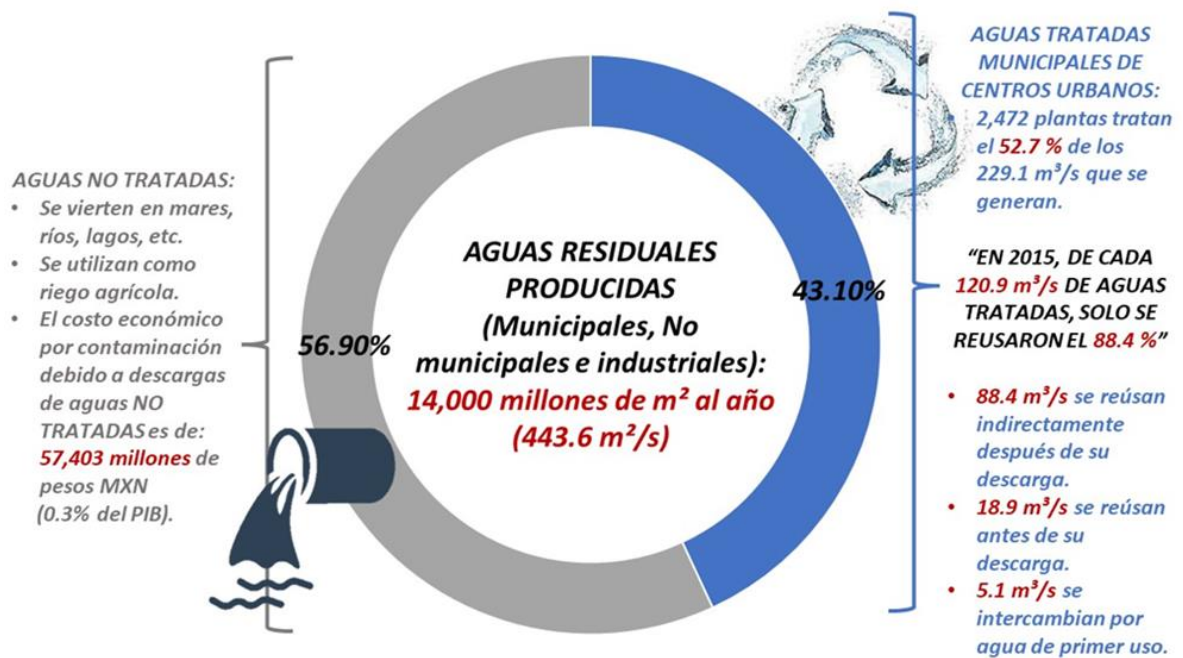


Figura 8. Aguas residuales y contaminación en México. Datos de [\(FCEA, 2018\)](#).

Elaboración propia, 2023.

Según las proyecciones, en 2030 habrá 9.2 mil millones de metros cúbicos de aguas residuales en México que, de ser tratadas y reusadas, reducirían en un 40% la demanda de agua potable; además se calcula que en el año 2015; el costo económico de la contaminación causada por aguas residuales no tratadas fue de 57,403 millones de pesos mexicanos, equivalentes al 0.3% del producto interno bruto [\(FCEA, 2018\)](#).

4.3.3. Contexto estatal

Para dimensionar la problemática en Querétaro, es posible estimar la generación de aguas residuales domésticas considerando la densidad poblacional de cada municipio (Tabla 1). En promedio, los habitantes de Querétaro consumen aproximadamente 170 litros de agua al día [\(CEA C. , Mi Rutina en litros de agua, 2019\)](#). Sin embargo, de estas aguas residuales generadas, solo el 38.7% recibe tratamiento [\(CONAGUA C. , 2021\)](#).

Tabla 1. Estimación de aguas residuales domésticas generadas en Querétaro.

Elaboración propia, 2023. Datos de INEGI [\(INEGI, 2020\)](#).

MUNICIPIO	Población	Aguas Residuales (L/día)
Amealco de Bonfil	66,841	11,362,970
Arroyo Seco	13,142	2,234,140
Cadereyta de Montes	69,075	11,742,750
Colón	67,121	11,410,570
Corregidora	212,567	36,136,390
El Marqués	231,668	39,383,560
Ezequiel Montes	45,141	7,673,970
Huimilpan	36,808	6,257,360
Jalpan de Serra	27,343	4,648,310
Landa de Matamoros	18,794	3,194,980
Pedro Escobedo	77,404	13,158,680
Peñamiller	19,141	3,253,970
Pinal de Amoles	27,365	4,652,050
San Joaquín	8,359	1,421,030
San Juan del Río	297,804	50,626,680
Santiago de Querétaro	1,049,777	178,462,090
Tequisquiapan	72,201	12,274,170
Tolimán	27,916	4,745,720
TOTAL	2,368,467	402,639,390

En relación al reúso del agua tratada, solo el municipio de Querétaro reusa el 98.65% de lo reportado [\(Sandoval Yoval & Godínez Mena, 2015\)](#). A continuación, se muestran en la Tabla 2 una comparativa entre la disponibilidad de aguas residuales tratadas en el estado de Querétaro por municipio desde 2013 hasta 2021:

Tabla 2. Disponibilidad de agua residual tratada en Querétaro y la comparativa de crecimiento en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR's) de 2013 a 2021. Elaboración propia, 2023. Datos de Inventario de aguas residuales en México, 2013-2021. (CONAGUA, Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación, 2013), (CONAGUA C. , 2021).

MUNICIPIO	No. de PTAR's (2013)	Caudal Tratado (L/s-2013)	No. de PTAR's (2021)	Caudal Tratado (L/s-2021)	Crecimiento (%)
Amealco de Bonfil	2	17.5	2	26.9	53.7
Arroyo Seco	2	4.0	2	2.0	-50.0
Cadereyta de Montes	2	10.7	2	14.7	37.4
Colón	1	0.7	4	19.9	610.7
Corregidora	4	364.0	4	367.7	1.0
El Marqués	2	14.4	3	33.2	53.7
Ezequiel Montes	0	0	0	0	0
Huimilpan	6	7.8	6	18.5	137.2
Jalpan de Serra	2	17.6	3	11.6	-56.1
Landa de M.	3	1.9	9	5.9	3.5
Pedro Escobedo	1	7.1	1	8.3	16.9
Peñamiller	0	0	0	0	0
Pinal de Amoles	1	4.0	4	3.7	-76.9
San Joaquín	1	3.0	1	3.2	6.7
San Juan del Río	10	396.1	10	242.4	-38.8
Santiago de Querétaro	8	785.5	8	798.7	1.7
Tequisquiapan	0	0	2	47.7	285.0
Tolimán	2	6.0	2	7.9	31.7
TOTAL	47	1640.3	63	1612.3	-26.7

Dentro del Plan Estatal de Desarrollo de Querétaro 2021-2027, se consideran diversas estrategias específicas relacionadas con la gestión del agua, las cuales pretenden (CEPACIQ, 2021):

- Implementar políticas públicas eficientes y eficaces para lograr una distribución equitativa del agua y sancionar el uso irresponsable del recurso hídrico.

- Fortalecer las acciones que garanticen a las familias queretanas el acceso al agua potable y su saneamiento, trabajando en conjunto con las autoridades de los 18 municipios del estado.
- Ejecutar acciones para la reducción de fugas de agua y diseñar estrategias para incrementar la cobertura del servicio de agua a corto, mediano y largo plazo.
- Promover la cultura del cuidado y uso del agua en los diferentes sectores de la sociedad.
- Realizar acciones que incrementen la capacidad de tratamiento de aguas residuales y fomentar el reúso del agua.

Este último punto, que se inserta precisamente en el proyecto, se pretende abordar mediante la promoción de la cultura del reúso del agua y su intercambio por agua de primer uso, incentivando prácticas sostenibles en el manejo del recurso hídrico, que incluyen ([CEPACIQ, 2021](#)):

Implementación de políticas públicas que fomenten el uso responsable del agua y la adopción de prácticas de reúso en diferentes sectores de la sociedad.

- Desarrollo de programas de concientización y educación ambiental para sensibilizar a la población sobre la importancia del reúso del agua y sus beneficios para el medio ambiente.
- Ampliación de capacidades institucionales mediante un marco normativo innovador y tecnologías de información de vanguardia para instaurar una nueva cultura a favor del cuidado del agua.
- Implementación de tecnologías innovadoras para el tratamiento y reutilización de aguas residuales, con el fin de aprovechar de manera eficiente este recurso en diferentes sectores como la agricultura, la industria o el riego de áreas verdes.
- Desarrollo de programas de capacitación y asesoramiento para promover prácticas de reúso del agua en el sector agrícola, industrial y doméstico, fomentando el uso responsable y sostenible del recurso hídrico.

- Establecimiento de incentivos económicos y fiscales para impulsar la implementación de sistemas de reúso del agua en empresas, instituciones y hogares, como parte de una estrategia integral de gestión hídrica.

No obstante, en 2022 el estado de Querétaro fue declarado como la sexta entidad a nivel nacional en términos de estrés hídrico y se ubicó entre las cuatro regiones con mayor vulnerabilidad hidrológica. Este diagnóstico fue realizado por la organización civil Bajo Tierra Museo del Agua en colaboración con el Área de Estudios Socio-territoriales y la Facultad de Ciencias Políticas de la UAQ, atribuyéndolo a la crisis de escasez de agua causada por factores como la contaminación, la sobreexplotación, la rápida urbanización y el acaparamiento de recursos, según datos del Periódico [\(Animal Político, 2023\)](#). Además, Querétaro se encuentra entre las diez entidades más afectadas por incendios relacionados con la sequía, registrando condiciones de sequía severa en 15 de sus 18 municipios [\(MSM, 2024\)](#). A esto se suma que, de los 11 acuíferos en el estado, siete están sobreexplotados, y Querétaro es uno de los tres estados con las tarifas más elevadas por servicios de agua potable y drenaje [\(CONAGUA, AGUAS SUBTERRÁNEAS / Acuíferos, s.f.\)](#). En la siguiente tabla (Tabla 3) se muestra la extracción y disponibilidad de agua de los acuíferos del estado, cifradas en hectómetros cúbicos anuales (hm³/año):

Tabla 3. Disponibilidad de agua por acuífero en Querétaro. Elaboración propia, datos de [\(CONAGUA, AGUAS SUBTERRÁNEAS / Acuíferos, s.f.\)](#)

ACUÍFERO	Recarga Media Anual	Descarga Natural Comprometida	Extracción de Aguas Subterráneas	Disponibilidad Media Anual de Agua Subterránea
Valle de Querétaro	70	4	131.556761	-65.55671
Valle de Amazcala	34	2.8	53.361829	-22.16189
Valle de San Juan del Río	277,9	0	334.792701	-56.89271
Valle de Buenavista	9.5	0.1	23.277392	-13.87732
Valle de	108.1	2.6	110.649624	-5.149624

Tequisquiapan				
Valle de Cadereyta	4.1	0	3.658996	0.441004
Tolimán	8.4	2.9	10.43647	-4.93647
Valle de Huimilpan	20	2	22.535103	-4.535103
Valle de Amealco	22,5	0,8	19.050742	2.649258
Moctezuma	50	6.5	0.316354	43.18366
Tampaón - Zona de Sierra	49	13.6	2.939338	32.46062

En el estado de Querétaro, el 63% del agua se destina a la actividad agrícola, el 30% al uso público urbano, el 6% al uso industrial y el 1% a la generación de energía eléctrica. De este recurso, el 32% proviene de fuentes superficiales, mientras que el 68% restante se extrae de fuentes subterráneas. Sin embargo, el estado de Querétaro tiene una disponibilidad media de agua de 360 litros por persona al día, lo que es inferior a la media nacional de 550 litros por persona al día. [_\(CONAGUA, Estadísticas del Agua en México, 2021\).](#)

Uno de los mayores desafíos en Querétaro es el tratamiento de aguas residuales; se estima que apenas se tratan 0.7 L/s por cada 100 habitantes, situando al estado en la posición 22 a nivel nacional en desempeño de tratamiento de aguas [_\(CONAGUA, Estadísticas del Agua en México, 2021\).](#) Hasta 2021, Querétaro cuenta con 63 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) activas, con una capacidad instalada de 2,371.5 L/s, de los cuales solo se tratan efectivamente 1,612.0 L/s (68%) [_\(CONAGUA C. , 2021\).](#) Este problema se ve agravado por el acelerado crecimiento poblacional del estado, que registró una tasa media anual de 2.8%, la segunda más alta entre los censos de 2010 y 2020, con Santiago de Querétaro como el municipio más poblado [_\(INEGI, 2020\).](#)

4.3.4. Contexto municipal

El Acuífero del Valle de Querétaro, que abastece a los asentamientos principales del municipio de Santiago de Querétaro; cubre una superficie de 491 km y tiene 239 aprovechamientos de agua activos: 75 corresponden al uso agrícola y abrevadero (31%), 113 pozos se utilizan para uso público-urbano (48%) y 51 para el uso industrial (21%) (CONAGUA, Disponibilidad Media Anual De Agua En El Acuífero Valle De Querétaro, 2024). Existen dos principales factores que inciden en la sobreexplotación del acuífero: el crecimiento poblacional y el crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB) generado por la industria instalada; lo que coloca al municipio de Santiago de Querétaro en uno de los 106 municipios con alto riesgo de sequía en todo el país, de acuerdo con el documento Estadísticas de Agua en México 2021 (CONAGUA, Estadísticas del Agua en México, 2021). Santiago de Querétaro es el municipio con más generación de aguas residuales en Querétaro: 3,512 L/s, y con más disponibilidad de aguas residuales tratadas sin reusar en Querétaro: 17,399,696 m³/año (Sandoval Yoval & Godínez Mena, 2015), sin embargo; se presentó una reducción de PTAR's activas en el municipio: 22 en 2012, 8 en 2013 y 8 hasta 2021 (CONAGUA C. , 2021).

Santiago de Querétaro es el 2do municipio con más volumen de extracción de agua, con respecto a la recarga media anual: 129.724840 hm³/año. El 1ero es San Juan del Río, pero el 78% de su extracción es para uso agrícola (CONAGUA, AGUAS SUBTERRÁNEAS / Acuíferos, s.f.) Es el municipio con más población en el estado de Querétaro: 1,049,777 habitantes (INEGI, 2020) y con el mayor número de fraccionamientos en todo el estado: 387 fraccionamientos, 114 asentamientos y 2,714 condominios, un total de 3,215 (Ruiz, 2019) y va en aumento según datos de la inmobiliaria “AVANTIS Alta Arquitectura”; donde cataloga a Querétaro para 2025, como el estado con mayor potencial de Desarrollo e Inversión Residencial (AVANTIS, 2024).

En la siguiente figura (Figura 9), se muestra el desglose de consumo de agua en sus diferentes perspectivas y dimensiones:

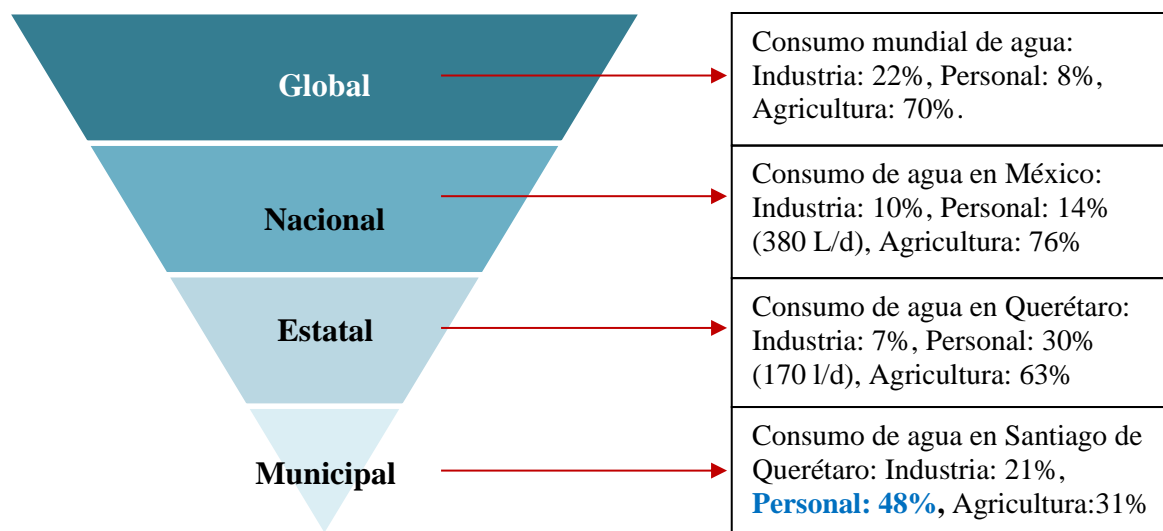


Figura 9. Desglose de consumos de agua. Datos de *(OMS & UNICEF, 2021), (CONAGUA, Estadísticas del agua en México, 2018), (CONAGUA, Estadísticas del Agua en México, 2021), (CONAGUA, Disponibilidad Media Anual De Agua En El Acuífero Valle De Querétaro, 2024)* **Elaboración propia, 2024.**

4.4. Estado del arte

Los estudios encontrados de algunos casos que abordan y examinan la reutilización de aguas grises en diversos contextos, destacan la eficacia y beneficios de esta práctica, por ejemplo:

a) Caso Malasia

Artículo: “Tratamiento de aguas grises para uso en inodoros”

El estudio aborda el tratamiento de aguas grises para su uso en el enjuague de inodoros, con el objetivo de reducir el consumo de agua potable. Se destaca la importancia de implementar un sistema de reciclaje de aguas grises en *Universiti Teknologi Petronas* para hacer frente al aumento de la demanda de agua debido al crecimiento de la población estudiantil. A través de un estudio económico y experimental, se propone un sistema de reciclaje de aguas grises que demuestra ser efectivo en la reducción del consumo de agua potable y en el ahorro económico. Los resultados muestran que el tratamiento de aguas grises para el enjuague de inodoros es factible y beneficioso tanto en términos de sostenibilidad ambiental como económica [\(Abd. Razi, 2004\)](#).

b) Caso Sudáfrica

“Reutilización de aguas grises para la caja de inodoros en edificios urbanos de alta densidad en Sudáfrica: un estudio piloto”

El estudio examina la viabilidad de utilizar sistemas de reutilización de aguas grises para el desagüe de inodoros en edificios urbanos de alta densidad en Sudáfrica, con el objetivo de abordar la escasez de recursos hídricos de calidad en comunidades sudafricanas. A través de un estudio piloto en la Universidad de Witwatersrand y la Universidad de Johannesburgo, se evaluaron las percepciones de los usuarios potenciales, se implementaron sistemas piloto y se realizó un análisis económico. Los hallazgos destacan la preferencia por el desagüe de inodoros con aguas grises, aunque surgieron preocupaciones sobre la higiene y el

mantenimiento de los sistemas. Se recomienda educar a la comunidad sobre los beneficios de la reutilización del agua y abordar las percepciones y desafíos identificados para promover la sostenibilidad de estos sistemas en el futuro [\(Ilemobade, Olanrewaju, & Griffioen, 2013\)](#).

c) Casos Arabia Saudi

Artículo: “Reducción del consumo de agua dulce mediante la reutilización de aguas grises para lavado e irrigación: un estudio de caso de un edificio hotelero de varias plantas”

El artículo presenta un estudio sobre la reducción del consumo de agua dulce a través del reúso de aguas grises para el saneamiento e irrigación en un hotel de varios pisos en Arabia Saudita. El objetivo principal del proyecto es evaluar la viabilidad de implementar un sistema de reciclaje de aguas grises para promover la sostenibilidad y la conservación del agua en un entorno con recursos hídricos limitados. Los resultados muestran que la instalación de una planta de tratamiento de aguas grises permitiría al edificio ahorrar un 26% de agua dulce, lo que no solo contribuiría al ahorro económico, sino también a la reducción del impacto ambiental. Además, se destaca la importancia de aplicar técnicas de conservación del agua tanto en nuevas construcciones como en edificaciones existentes para fomentar la sostenibilidad en el sector de la construcción en Arabia Saudita [\(Jamil, 2019\)](#).

Artículo: “Ahorro de agua potable mediante la reutilización de aguas grises en la ciudad de Al Ain”

El estudio aborda la importancia de la reutilización de aguas grises para el ahorro de agua potable en la ciudad de Al Ain, Emiratos Árabes Unidos, una región árida con escasez de agua dulce. El estudio se centra en la viabilidad de implementar sistemas descentralizados de recolección y reutilización de aguas grises a nivel doméstico para usos NO potables como el riego de jardines y el llenado de inodoros. A través de encuestas y análisis de frecuencia de uso del agua, se encontró que más del 70% de los encuestados en Al Ain están dispuestos a

reutilizar aguas grises para el riego, mientras que aproximadamente el 10% considera viable su uso tanto en el riego como en el llenado de inodoros. Estos resultados sugieren que la implementación de sistemas de reutilización de aguas grises a nivel doméstico podría ser una solución efectiva para el ahorro de agua potable en la ciudad [_\(Chowdhury, Elshorbagy, Ghanma, & EL-AShkar, 2015\).](#)

d) Casos Australia

Artículo: “Visión y percepción de la comunidad sobre el uso de agua reciclada para la lavandería doméstica: un estudio de caso en Australia”

El estudio analiza la percepción de la comunidad australiana sobre el uso de agua reciclada en lavadoras, con el objetivo de identificar las preocupaciones y condiciones necesarias para aumentar la confianza en esta práctica. A través de encuestas en diferentes áreas, se clasificaron a los encuestados en tres categorías: no usuarios, usuarios potenciales y usuarios actuales de agua reciclada. Los resultados revelaron que la aceptación del agua reciclada para lavadoras variaba según la familiaridad con el sistema de doble reticulación y la disposición a adoptar prácticas sostenibles. Este estudio proporciona información valiosa para los responsables de decisiones que buscan promover el uso de agua reciclada en hogares australianos [_\(Mainali, y otros, 2013\).](#)

Artículo: “Experiencia comunitaria y percepciones sobre la reutilización del agua”

El documento analiza la experiencia y percepciones de residentes en áreas con sistemas de agua reciclada en Florida y Australia, centrándose en los beneficios y costos de la reutilización residencial del agua. Los autores mencionan que los residentes valoran el agua reciclada por su contribución a la conservación del agua y los ahorros económicos, especialmente al ser una alternativa más económica al agua potable. Se resalta la importancia de proporcionar información de calidad a los usuarios para aumentar su aceptación y manejo del agua reciclada. Los resultados muestran que, a pesar de reconocer los beneficios de la

reutilización del agua, existen preocupaciones sobre los costos iniciales y los riesgos asociados, lo que resalta la necesidad de una comunicación efectiva y continua para promover su uso [\(Marks, Cromar, Fallowfield, & Oemcke, 2003\)](#).

e) Caso Berlín

Artículo: “Sistemas de reutilización de aguas grises para la descarga de inodoros en edificios de varios pisos: más de diez años de experiencia en Berlín”

El artículo presenta un estudio sobre sistemas de reutilización de aguas grises para el enjuague de inodoros en edificios de varios pisos en Berlín, con el objetivo de analizar la viabilidad y eficacia de dichos sistemas. Se destaca una experiencia de más de diez años en la implementación de estos sistemas, mostrando resultados positivos en términos de ahorro de agua potable y reducción de la carga sobre las aguas residuales. Se mencionan aspectos como la calidad del agua reutilizada, el mantenimiento de los sistemas y la aceptación por parte de los usuarios, resaltando la importancia de considerar factores técnicos, económicos y sociales en la implementación de estas soluciones sostenibles [\(Nolde, 2000\)](#).

f) Casos China

Artículo: “La brecha entre la voluntad y el comportamiento: el uso de agua reciclada para la descarga de inodoros en Beijing, China”

El estudio investigó la brecha entre la disposición y el comportamiento de los residentes urbanos en Beijing, China, para utilizar agua reciclada en el enjuague de inodoros. Se encontró que la disposición era significativamente mayor que el uso real, y factores como la conveniencia de instalar instalaciones de agua reciclada influían en la disposición y el comportamiento. Se sugirió mejorar el acceso a estas instalaciones, aumentar el conocimiento público sobre el agua reciclada y establecer un mecanismo de recompensas atractivo para fomentar el uso. Estos hallazgos destacan la importancia de abordar las

barreras prácticas y cognitivas para promover un comportamiento sostenible en el uso del agua reciclada en entornos urbanos [\(Ding, Xiaojun, & Li, 2022\)](#).

Artículo: “Viabilidad de la reutilización in situ de aguas grises para la descarga de inodoros en China”

Se abordó la viabilidad de la reutilización de aguas grises en China, destacando la necesidad de promover la reutilización urbana del agua en un contexto de escasez hídrica y crecimiento urbano. Se analizan experiencias exitosas de reutilización de agua en Beijing, California y Japón, resaltando la importancia de implementar sistemas de tratamiento en el lugar para fomentar la reutilización. Se concluye que, a pesar de los desafíos como el precio no competitivo del agua regenerada y la baja supervisión, existe un potencial significativo para mejorar las tasas de reutilización de aguas residuales en China mediante la introducción de más sistemas de reutilización urbana [\(Zhu, Wagner, Cornel, Chen, & Dai, 2018\)](#).

g) Caso Estados Unidos De América

Artículo: “Desarrollo de un sistema de tratamiento rentable y energéticamente eficiente para la reutilización de aguas grises para descarga de inodoros a escala multirresidencial”

El estudio aborda el desarrollo de un sistema de tratamiento de aguas grises rentable y eficiente en energía para reutilización en el enjuague de inodoros a escala residencial múltiple. El objetivo principal era determinar la secuencia más adecuada de enfoques de filtración y desinfección para tratar las aguas grises, asegurando una alta eficacia de desinfección con un mínimo de consumibles, consumo de energía, mantenimiento y costos del sistema. Se realizó un estudio piloto en Aspen Hall, Colorado; evaluando diferentes filtros y desinfectantes, lo que resultó en un sistema demostrativo económico y de bajo mantenimiento. Los resultados sugieren que la reutilización de aguas grises a escala residencial múltiple puede ser económicamente beneficiosa, con periodos de recuperación

cortos y un potencial significativo de ahorro de costos a lo largo de la vida del proyecto, lo que podría impulsar una adopción generalizada de esta práctica [\(Hodgson, 2012\)](#).

h) Casos India

Artículo: “Reutilización de aguas grises: una solución sostenible para la crisis del agua en Dhaka, Bangladesh”

El estudio aborda la problemática de la escasez de agua en Dhaka, Bangladesh, debido al rápido crecimiento poblacional y la urbanización descontrolada. Se propone la reutilización de aguas grises como una solución atractiva para minimizar el déficit entre la demanda y la oferta de agua en la ciudad. Se caracterizó el agua gris de diversas fuentes y se implementó un sistema de tratamiento a escala de laboratorio para el agua gris de una mezquita. El objetivo principal es proponer sistemas de tratamiento de aguas grises eficientes, económicos y sostenibles para hogares y mezquitas, con el fin de utilizar el agua tratada para fines NO potables como riego, descarga de inodoros, lavado de autos y control de polvo, así como para recargar los acuíferos [\(Khatun & Amin, 2011\)](#).

Artículo: “Tratamiento de aguas grises para reutilización con fines no potables para conservar agua en la India”

El estudio aborda la problemática de la escasez de agua en la India y la necesidad de conservar este recurso vital. Se centra en el tratamiento y reutilización del agua gris como una medida efectiva para la conservación del agua. Se analiza el consumo de agua doméstica, la generación de agua gris y la producción de agua tratada, demostrando que el agua tratada de la fuente de agua gris clara en edificios residenciales puede satisfacer hasta el 35% de la demanda doméstica que no requiere agua potable, mientras que el agua gris mixta puede proporcionar un excedente del 20-25% para recarga de acuíferos u otros usos no potables. Estos resultados muestran el potencial de ahorro de agua dulce a través del reciclaje y reutilización del agua gris tratada, destacando su importancia en la conservación de recursos

hídricos en la India [_\(Manna Sahoo, 2018\).](#)

i) Caso Jordania

Artículo: “Evaluación de la reutilización de aguas grises domésticas en Jordania y su relación con variables socioeconómicas”

El estudio se propuso evaluar la frecuencia y tipos de reutilización de aguas grises, así como identificar factores que influyen en esta práctica. Se encontró que solo una pequeña proporción de la población encuestada reutilizaba aguas grises, principalmente para lavandería. Además, se estableció una relación significativa entre el ingreso mensual y el tipo de reutilización de aguas grises, destacando la importancia de considerar factores económicos en las estrategias de conservación del agua en contextos de escasez hídrica [_\(Ajlouni & Al-Ajlouni, 2015\).](#)

j) Caso Reino Unido

Artículo: “Recuperación de aguas grises para la reutilización urbana que no potable: desafíos y soluciones: una revisión”

El estudio analiza la reutilización de aguas grises para usos no potables en entornos urbanos, destacando la importancia de gestionar de manera sostenible los problemas de agua y aguas residuales. Se enfoca en la caracterización del agua gris, los métodos de tratamiento efectivos y los desafíos asociados con la aceptación pública y la calidad del agua tratada. Los resultados muestran que la reutilización planificada de aguas grises puede ser una opción viable para mitigar la escasez de agua y los problemas de aguas residuales en áreas urbanas, siempre y cuando se aborden adecuadamente los aspectos técnicos, ambientales y sociales involucrados [\(James, Ganjian, Surendran, Ifelebuegu, & Kinuthia, 2016\).](#)

k) Caso Siria

Artículo: “Potencial ahorro de agua dulce mediante el uso de aguas grises en la descarga de inodoros en Siria”

El estudio se enfoca en evaluar el potencial de ahorro de agua potable mediante el uso de aguas grises para el enjuague de inodoros en la ciudad siria de Sweida. Se propone el uso de un humedal artificial y un biofiltro comercial para tratar las aguas grises, lo que podría ahorrar aproximadamente un 35% del agua potable. Se realizaron entrevistas para evaluar la aceptación social, el consumo de agua y el porcentaje de diferentes usos de agua en interiores. Los resultados muestran que la introducción de humedales artificiales para hacer más eficiente el uso de aguas grises parece ser una alternativa viable para ahorrar agua potable en Siria, con un período de recuperación de la inversión de 7 a 52 años en el sistema de bloques ([Mourad, Berndtsson, & Berndtsson, 2011](#)).

l) Caso México

Artículo: “Beneficios asociados al uso de ecotecnias en comunidades rurales de Guanajuato, México”

El estudio analiza la implementación de ecotecnias en comunidades rurales de Guanajuato, destacando su impacto en la calidad de vida de las personas. Se enfoca en promover un desarrollo alternativo basado en la sostenibilidad y la equidad social, a través de la adopción de tecnologías ecológicas que satisfacen necesidades básicas de forma respetuosa con el ambiente. Se resalta la importancia de la adopción social de las ecotecnias y se identifican beneficios significativos en economía, salud, relaciones personales y ambiente. A pesar de los desafíos identificados, se recomienda continuar ampliando los programas ecotecnológicos con un enfoque en la implementación cuidadosa y el seguimiento para fomentar una transición hacia sociedades más sostenibles y equitativas [_\(Tagle Zamora & Azamar Alonso, 2020\)](#).

m) Caso Londres

Artículo: “Evitando la descarga, creando nuevos recursos: analizando futuros de saneamiento alternativo en Londres”

El estudio analiza la viabilidad de implementar alternativas al sistema de inodoros con descarga en Londres para abordar la conservación del agua, la recuperación de nutrientes y la contaminación del agua. A través de entrevistas, discusiones grupales y diarios fotográficos, se exploraron nuevas prácticas de gestión de aguas residuales, como la retención de orina y heces, y se evaluó la disposición de la población a adoptar estos cambios. Los resultados sugieren que existe interés y disposición por parte de los actores humanos para modificar sus hábitos de uso del agua, lo que podría conducir a una evolución positiva en la gestión del ciclo del agua urbano en el futuro [\(Teh, 2015\)](#).

En conjunto, estos estudios destacan la viabilidad técnica y económica de la reutilización de aguas grises en diversos contextos, subrayando la importancia de factores sociales, económicos y de educación comunitaria para su implementación y aceptación exitosa.

Además, como complemento al estado del arte, se realizó una búsqueda más reciente de artículos que abordaran la reutilización de aguas grises (específicamente del año 2025), a través de la plataforma *Scopus*, donde se utilizaron palabras clave como: *toilet flushing*, *domestic greywater reuse*, *water flow monitoring*, etc. Los resultados se representaron en un mapa de coincidencias que muestran las relaciones de coocurrencia entre estos elementos, donde los nodos cercanos indican una mayor frecuencia de aparición conjunta. (Figura 10):

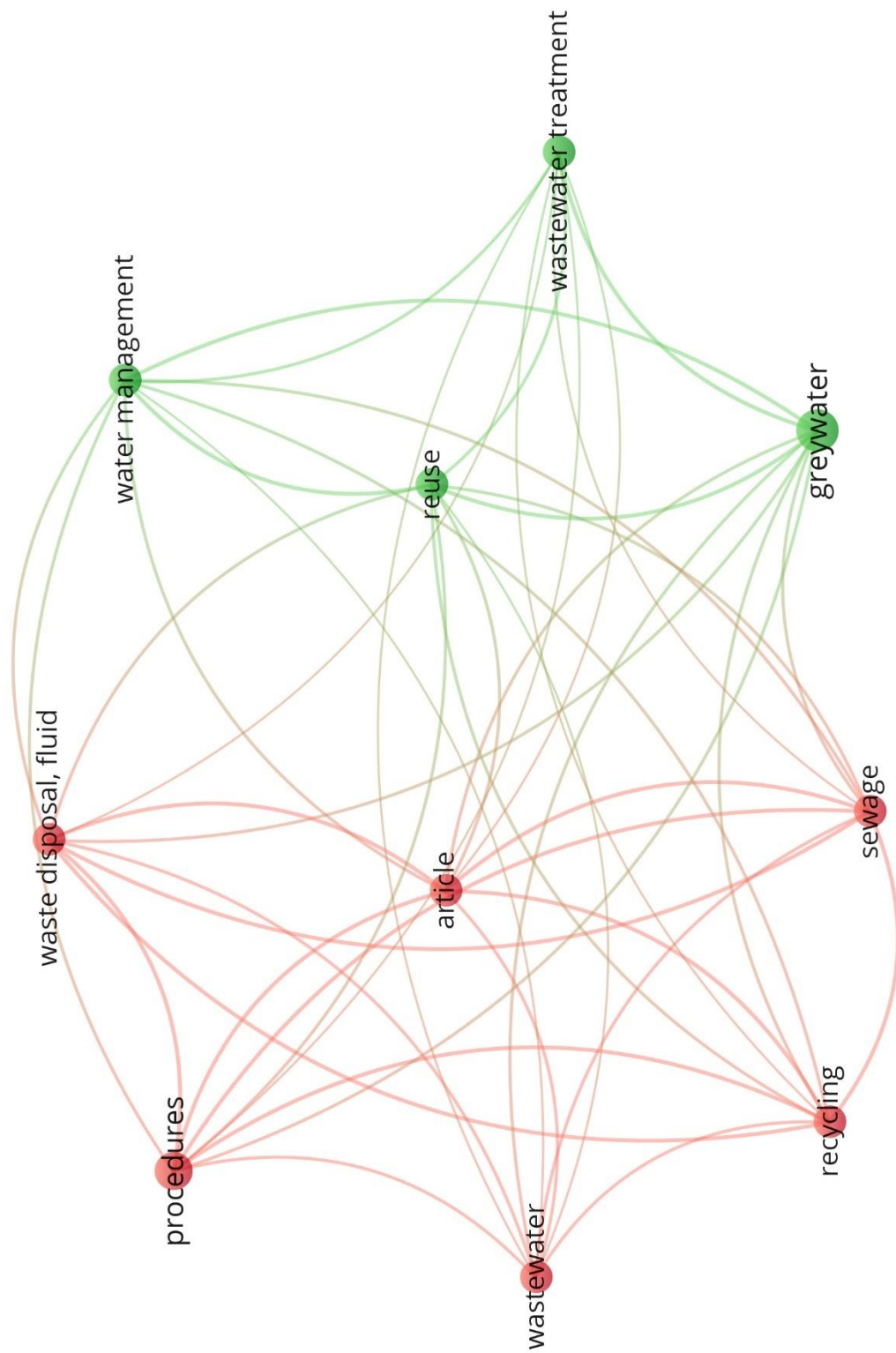


Figura 10. Mapa de coocurrencia de artículos relacionados con el reúso de aguas grises en 2025. Datos de *Scopus*, visualización de *VOSviewer*, 2025.

V. OBJETIVOS

5.1. Objetivo general

Diseñar e implementar un sistema de recuperación de aguas grises domésticas adaptado a viviendas urbanas de Querétaro, con el fin de evaluar su viabilidad mediante pruebas funcionales y de usabilidad.

5.2. Objetivos específicos

- Identificar las necesidades y consumos específicos de agua potable a nivel doméstico de las zonas urbanas de Querétaro; para hacer una comparativa con la literatura existente.
- Diseñar y prototipar una solución técnica para la recuperación de aguas grises, adaptada a las necesidades y características de las viviendas urbanas de Querétaro, con el fin de realizar pruebas de funcionalidad.
- Revisar los sistemas de monitoreo de consumo de agua existentes, con el fin de integrarlo al sistema a desarrollar para recolectar datos locales y generar estadísticas para la gestión de los recursos disponibles.
- Desarrollar, implementar y evaluar un acercamiento al Producto Mínimo Viable (PMV) para la recuperación de aguas grises; comprobando su viabilidad técnica, económica y social mediante pruebas de usabilidad en un entorno similar al real.

VI. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

6.1. Marco conceptual

Definición y descripción de cada uno de los conceptos y/o variables involucradas en la investigación.

Aguas residuales:

Son las provenientes de actividades domésticas, industriales, comerciales, agrícolas, pecuarias o de cualquier otra actividad que, por el uso de que han sido objeto, contienen materia orgánica y otras sustancias químicas que alteran su calidad original. Existen dos tipos de aguas residuales [\(SEDEMA, s.f.\)](#):

- Aguas crudas: Son las aguas residuales sin tratamiento.
- Aguas residuales tratadas: Son aquellas que mediante procesos o combinados de tipo físicos, químicos, biológicos u otros, se han adecuado para hacerlas aptas para su reúso en servicios al público.

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. Existen varios tipos de aguas grises en función de su procedencia y tipo de aportación [\(Suárez, Jácome, del Río, Torres, & Ures, 2012\)](#):

- Aguas grises del tipo 1 o aguas de baja carga: ducha, bañera y lavabo.
- Aguas grises del tipo 2 o aguas de media carga: lo anterior, más las procedentes de la lavadora.

- Aguas grises del tipo 3 o aguas de alta carga: lo anterior, más las procedentes del lavavajillas y el fregadero de cocina.

Las aguas grises contienen una variedad de sólidos, incluyendo partículas de comida y animales crudos, así como suelo, pelo y fibras de la lavandería, lo que provoca turbidez en el agua. Además, contienen elementos y compuestos relacionados con las actividades diarias del hogar, como nitratos, fosfatos y agentes tensoactivos utilizados en la limpieza doméstica. También se encuentran presentes sodio, calcio, magnesio, sales de potasio, aceites, grasas y nutrientes derivados de las actividades cotidianas, lo que influye en su potencial de reutilización. Además, estas aguas contienen una variedad de sustancias químicas, como aluminio, arsénico, plomo, hierro, y muchos otros [\(Loza Delgado, 2017\)](#).

Actividades que NO requieren agua potable:

Las actividades que no requieren agua potable de alta calidad y a las que se destinan las aguas grises reutilizadas, incluyen una variedad de usos. Algunas de estas actividades son [\(Angelakis, Asano, Bahri, Jiménez, & Tchobanoglous, 2018\)](#):

- Riego de Jardines y Áreas Verdes: El agua gris tratada se utiliza para regar plantas, césped y jardines, contribuyendo a la irrigación de espacios verdes de manera sostenible.
- Descarga de Inodoros: El agua gris tratada se emplea para la descarga de inodoros en edificios residenciales, comerciales o institucionales, reduciendo así la demanda de agua potable para este fin.
- Lavado de Vehículos: Se utiliza agua gris tratada para el lavado de vehículos, tanto en entornos domésticos como comerciales, disminuyendo el consumo de agua potable en esta actividad.
- Sistemas de Enfriamiento: En algunos casos, el agua gris tratada se emplea en sistemas de enfriamiento de equipos o maquinaria, contribuyendo a la eficiencia en el uso del agua en procesos industriales.
- Recarga de Acuíferos: En ciertos contextos, las aguas grises tratadas se infiltran en el suelo para recargar acuíferos subterráneos, lo que puede contribuir a la recarga de reservas de agua subterránea.

Estas actividades que no requieren agua potable, representan formas efectivas de reutilizar las aguas grises tratadas, brindando beneficios tanto en términos de conservación de agua potable como en la reducción de la carga de aguas residuales en el medio ambiente.

Reúso:

El reúso de aguas grises se refiere al aprovechamiento y tratamiento de aguas residuales domésticas generadas en actividades no contaminantes, como lavado de ropa, duchas y lavamanos, para usos no potables como riego de jardines, descarga de inodoros, entre otros. Este enfoque de reúso busca reducir la demanda de agua potable y minimizar la descarga de aguas residuales al medio ambiente, promoviendo así la conservación y el uso eficiente del recurso hídrico [\(Angelakis, Asano, Bahri, Jiménez, & Tchobanoglous, 2018\)](#):

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 4 tipos de tratamiento de aguas residuales dependiendo de las características físicas, químicas y biológicas de estas aguas [\(CEA C. , Tratamiento de Aguas Residuales, 2019\)](#):

- Pretratamiento: Proceso físico donde se eliminan los residuos de mayor tamaño y partículas pesadas (basura y arenas)
- Tratamiento primario: Proceso físico-químico donde se realizan la remoción de contaminantes mediante la sedimentación física y/o química.
- Tratamiento secundario: Proceso de reacción biológica donde bacterias (anaerobias o aerobias) degradan la materia orgánica presente en el agua.
- 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.

Tratamiento de aguas grises para uso doméstico:

El ser humano es el principal causante de la contaminación del agua. Más del 80% de las

aguas residuales resultantes de la actividad humana, ya sea industrial o urbana; se vierten en los ríos, lagos, acuíferos o en el mar sin ningún tipo de tratamiento previo, lo que provoca su contaminación [\(OMS & UNICEF, 2021\)](#).

- Los sistemas naturales tales como filtración lenta en arena y humedales artificiales, son alternativas de bajo costo, fáciles de operar, eficientes y robustos en comparación con los sistemas de tratamiento convencional [\(Murcia Sarmiento, Calderón Montoya, & Díaz Ortiz, 2014\)](#).
- La filtración por cribas de desbaste proporciona una retención y separación de los cuerpos voluminosos flotantes y en suspensión [\(Loza Delgado, 2017\)](#).
- Las soluciones químicas, tales como la coagulación y el intercambio iónico seguidos de una etapa de filtración por membrana pueden aplicarse para el tratamiento de aguas grises de baja carga orgánica, cumpliendo con los requisitos de reutilización de agua urbana no potable sin restricciones [\(Loza Delgado, 2017\)](#).
- Los procesos de depuración biológicos son menos agresivos con el medio ambiente que los físico-químicos. Procesos como el Reactor Anaeróbico biológico – Filtro percolador) o SBR (Reactor secuencial) garantizan una reducción de la DBO a menos de 10 mg/l, lo cual cumple con el estándar más estricto de reutilización no restringida [\(Loza Delgado, 2017\)](#).

Diseño de producto:

El diseño industrial es un proceso estratégico orientado a resolver problemas, fomentar la innovación y lograr el éxito comercial, contribuyendo así a una mejor calidad de vida mediante la creación de productos, sistemas, servicios y experiencias innovadoras. Los diseñadores industriales, al trabajar en el desarrollo de conceptos para productos manufacturados, fusionan elementos de arte, negocios e ingeniería. Este enfoque holístico da lugar a la creación de productos cotidianos, como automóviles, electrodomésticos y accesorios, que impactan la vida diaria de las personas.

Según Dieter Rams, uno de los mayores exponentes del Diseño Industrial; el diseño ofrece posibilidades inagotables de innovación gracias al desarrollo tecnológico. Destaca que un

buen diseño debe proporcionar utilidad a cada producto, lo que a su vez le otorga estética, ya que el diseño bien ejecutado nunca carece de belleza. Además, Rams enfatiza que un buen diseño debe ser comprensible, expresando claramente su función de manera intuitiva para cada usuario. También señala que debe ser discreto, evitando que la identidad del producto se confunda con un mero objeto decorativo [\(Brandemia, 2024\)](#).

Producto:

Un producto desde el punto de vista económico y de negocios, ya sea tangible o intangible; es un bien que cubre una demanda y tiene un precio de venta que la demanda debe pagar. Su elaboración implica costos, como mano de obra y materia prima. El proceso productivo es una fase esencial en su desarrollo, y su objetivo principal es obtener un beneficio económico a través de la venta. Puede ser homogéneo cuando se fabrica en masa, y existen dos terminaciones posibles: como producto terminado, listo para su consumo, o como producto intermedio, que requiere un segundo proceso industrial antes de su consumo [\(CEUPE, s.f.\)](#).

Sistema:

Conjunto ordenado de componentes relacionados entre sí, ya se trate de elementos materiales o conceptuales, dotado de una estructura, una composición y un entorno particulares [\(RAE, 2001\)](#).

Ecotecnias o ecotecnologías:

Las ecotecnias son esfuerzos socio-técnicos prácticos mediante los cuales se intentan mejorar las capacidades de aprovechamiento y producción de los recursos naturales empleados por la sociedad. Las ecotecnias son tecnologías alternativas o innovaciones tecnológicas diseñadas para preservar y restablecer el equilibrio entre el medio ambiente y la actividad humana, contribuyendo a formar una cultura ambiental que se refleje en los hábitos de vida [\(Tagle Zamora & Azamar Alonso, 2020\)](#).

Sostenibilidad:

Capacidad de satisfacer las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades. La sostenibilidad se relaciona con la gestión adecuada de los recursos naturales, la promoción de la resiliencia ambiental y el bienestar social, equilibrando entre el desarrollo humano y la conservación del entorno garantizando un futuro viable para las próximas generaciones [_\(Tagle Zamora & Azamar Alonso, 2020\)](#).

Monitoreo:

La monitorización en tiempo real consiste en la entrega continua de datos sobre sistemas, procesos o eventos, permitiendo detectar y reaccionar rápidamente ante anomalías, problemas de rendimiento y eventos críticos y enviar alertas rápidamente al personal o sistemas automatizados. En el contexto de Tecnologías de la Información (TI), recopila información de hardware, redes, seguridad, entornos virtualizados y aplicaciones, incluyendo las basadas en la nube, y la presenta en interfaces de software para que el personal analice el rendimiento del sistema y solucione problemas de forma eficiente. Este tipo de monitoreo mejora la capacidad de toma de decisiones mediante un flujo constante de datos actualizados. A largo plazo, el seguimiento de estos datos permite predecir tendencias de desempeño. El proceso funciona seleccionando dispositivos específicos para monitoreo, recopilando y analizando datos en tiempo real, representados en formatos como gráficos de líneas, barras o porcentajes, organizados según las prioridades y preferencias del administrador [_\(Barney, 2023\)](#).

6.2. Marco Metodológico

En este proyecto, se planteó fusionar la Metodología de Diseño de Gui Bonsiepe con enfoques metodológicos centrados en la inclusión social de tecnologías apropiadas para viviendas urbanas. La combinación de estas metodologías se fundamenta en la búsqueda de un enfoque integral que no solo considere los principios del diseño, sino que también tenga en cuenta las especificidades y necesidades de la zona. La metodología de Bonsiepe proporciona una estructura sólida para el diseño, mientras que los enfoques cualitativos garantizan que las soluciones propuestas sean culturalmente sensibles y socialmente inclusivas. Esta combinación tiene como objetivo lograr un equilibrio entre la funcionalidad del diseño y su impacto positivo en las viviendas urbanas, promoviendo la adopción y sostenibilidad de las tecnologías propuestas. Para ello, es necesario describir las metodologías por separado para seleccionar los puntos más relevantes para el proyecto y su aplicación.

6.2.1. Método de Proyección de Gui Bonsiepe

Esta metodología se considera debido a la complejidad del proyecto, que permite el desglosamiento y división del problema en subproblemas de manera planeada y organizada; enumerando las actividades para el desarrollo del diseño, en términos de producto como en términos de proceso. Bonsiepe utiliza el concepto "desarrollar" como "diseñar", en donde todo conocimiento adquirido en el proceso viene de resolver problemas y subproblemas.

A continuación, se desglosan y describen las etapas y subetapas que propone Gui Bonsiepe en su método de proyección [\(Bonsiepe, 1978\)](#):

A. Estructura del problema:

- 1.1. Localización de una necesidad
- 1.2. Valoración de la necesidad
- 1.3. Análisis del problema proyectual con respecto a su justificación
- 1.4. Definición del problema proyectual en términos generales
- 1.5. Precisión del problema proyectual

- 1.6. Subdivisión del problema en subproblemas
- 1.7. Jerarquización de subproblemas
- 1.8. Análisis de soluciones existentes

B. Diseño:

- 2.1. Desarrollo de alternativas o ideas básicas
- 2.2. Examen de alternativas
- 2.3. Selección de mejores alternativas
- 2.4. Detallar alternativa seleccionada
- 2.5. Construcción del prototipo
- 2.6. Evaluación del prototipo
- 2.7. Introducir modificaciones eventuales
- 2.8. Construcción de prototipo modificado
- 2.9. Valoración de prototipo modificado
- 2.10. Preparación de planos técnicos definitivos para la producción

C. Realización:

- 3.1. Fabricación preserie
- 3.2. Elaboración de estudio de costos
- 3.3. Adaptación del diseño a las condiciones específicas del productor
- 3.4. Producción en serie
- 3.5. Valoración del producto después de un tiempo determinado de uso
- 3.6. Introducción de modificaciones eventuales con base en la valoración

Esta metodología está diseñada para implementarse en la industria, sobre todo en la manufactura y producción de objetos de consumo ([ver concepto “producto”, sección 5.1](#)).

El Método de Bonsiepe, sigue teniendo vigencia para el desarrollo de productos de uso común fabricados en serie, a pesar de haber sido propuesto en los años 70's; ya que nos permite tener un orden analizando los puntos clave durante el proceso de diseño, sintetizando la información y planificando las actividades; enumerándolas de manera secuencial.

6.2.2. Herramientas para Metodologías cualitativas

La investigación cualitativa utiliza una variedad de instrumentos que son fundamentales para lograr una investigación efectiva. Existen varias herramientas que forman parte del método cualitativo, entre ellas:

a) Investigación etnográfica:

La investigación etnográfica es un método cualitativo que consiste en la observación detallada y la descripción de situaciones, eventos, interacciones y comportamientos en un entorno social específico. Se centra en comprender las experiencias, actitudes, creencias y pensamientos de los participantes tal como son expresados por ellos mismos. Este enfoque permite obtener una comprensión profunda de las dinámicas sociales y culturales teniendo al investigador como participante activo en la comunidad; conviviendo, haciendo pruebas e investigación dentro del contexto de estudio. Las características principales de la investigación etnográfica son las siguientes [\(Murillo & Martínez, 2010\)](#):

- Observación detallada: Se enfoca en la observación minuciosa de situaciones, eventos y comportamientos en un entorno social específico.
- Descripción exhaustiva: Busca describir de manera detallada las interacciones, experiencias y contextos culturales de los participantes.
- Comprensión profunda: Tiene como objetivo comprender las perspectivas, creencias y significados que los participantes atribuyen a sus acciones y al mundo que les rodea.
- Enfoque cualitativo: Se basa en datos cualitativos, como observaciones, entrevistas y análisis de documentos, para explorar fenómenos sociales desde una perspectiva holística.
- Contextualización cultural: Considera el contexto cultural en el que se desarrollan las interacciones sociales, reconociendo la influencia de las normas, valores y creencias en el comportamiento de los individuos.
- Flexibilidad metodológica: Se adapta a las particularidades del entorno estudiado, permitiendo ajustes en el proceso de investigación según las necesidades y dinámicas del campo.

b) Protocolo de ensayo:

El protocolo de ensayo se emplea como una herramienta para definir el diseño del proceso de pruebas y los parámetros de medición, de acuerdo con los resultados que se desean obtener. Para este procedimiento, se llevaron a cabo 2 tipos de pruebas (Figura 10):

- **Pruebas de funcionalidad:** Determinan las especificaciones del producto de manera independiente al usuario final, centrándose en su correcto desempeño técnico.
- **Pruebas de usabilidad:** Evalúan la interacción del usuario con el producto, considerando su percepción y la claridad con la que se entiende su uso.

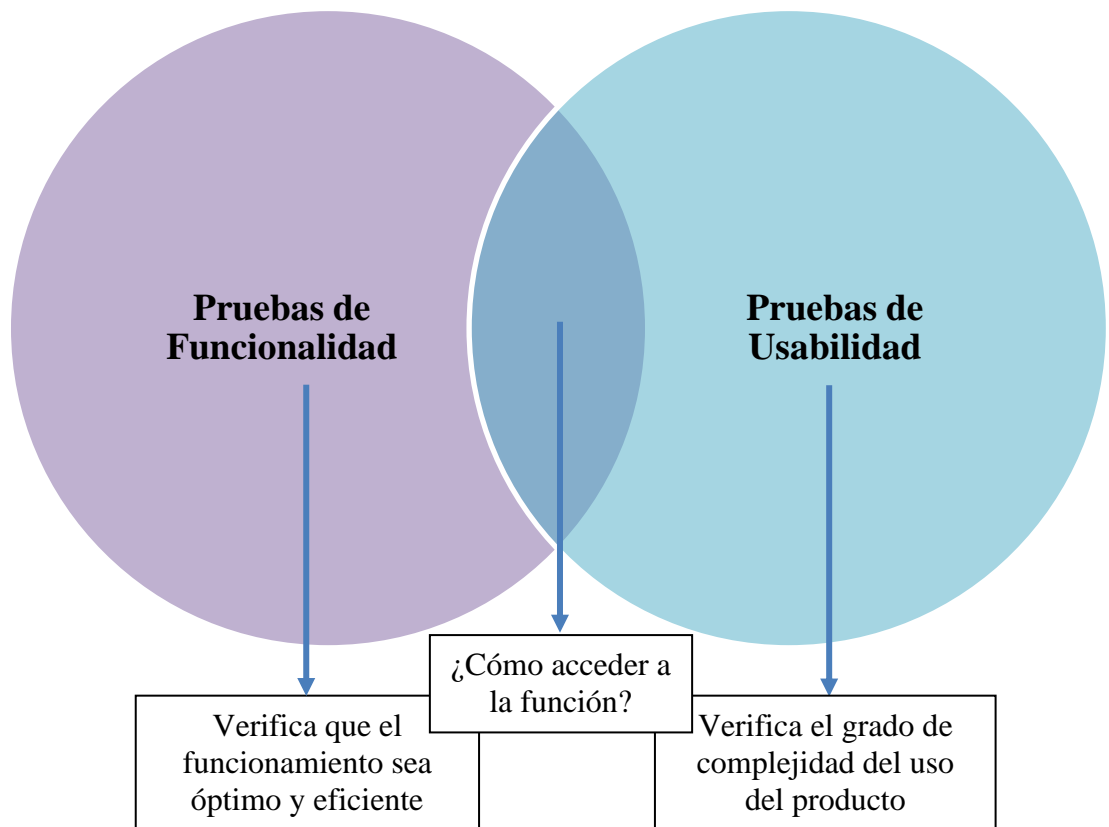


Figura 11. Diagrama de Venn de la interrelación de las pruebas de funcionalidad y las de usabilidad. Elaboración propia, 2025.

VII. MATERIALES Y METODOLOGÍA

7.1. Estructura metodológica

Para abordar las metodologías antes mencionadas dentro de un mismo esquema de investigación [\(Bonsiepe, 1978\)](#)., se planteó la siguiente estructura metodológica (Tabla 4) con la que se realizó la investigación:

- A. En la etapa de **Estructura del problema**, se identificó una necesidad específica mediante una investigación inicial, seguida de su valoración a través de un estudio etnográfico con encuestas dirigidas a habitantes de Fraccionamientos del municipio Querétaro. Se definió y precisó el problema proyectual dividiéndolo en subproblemas interrelacionados para facilitar su resolución. Finalmente, se realizó un análisis de soluciones existentes, evaluando productos aplicables al contexto identificado.
- B. En la etapa de **Diseño**, se generaron múltiples alternativas, las cuales fueron evaluadas para seleccionar la más viable. La opción elegida fue detallada y materializada en un prototipo funcional, que se sometió a pruebas para evaluar su desempeño. Con base en los resultados, se introdujeron modificaciones y se valoró el diseño ajustado considerando su funcionalidad, impacto y viabilidad técnica a través de encuestas de percepción del diseño. Como resultado, se elaboraron los planos técnicos necesarios para la fabricación del Producto Mínimo Viable (PMV).
- C. En la etapa de **Realización**, se elaboró un estudio de costos del PMV, asegurando su viabilidad económica, y se adaptó el diseño a las condiciones del productor. Posteriormente, se fabricó el PMV considerando los resultados previos y las adaptaciones realizadas. Su desempeño fue validado en un entorno similar al real para verificar su funcionalidad, para posteriormente realizar pruebas de usabilidad con usuarios potenciales. Finalmente, los resultados obtenidos fueron documentados y se elaboraron conclusiones para orientar futuras mejoras y desarrollos.

Tabla 4. Estructura metodológica adaptada a la investigación con las actividades desarrolladas en cada etapa. Elaboración propia, 2024.

A. ESTRUCTURA DEL PROBLEMA	B. DISEÑO	C. REALIZACIÓN
A.1. Localización de una necesidad	B.1. Desarrollo de propuestas o conceptos de diseño	C.1. Elaboración de estudio de costos del PMV
A.2. Valoración de la necesidad	B.2. Evaluación de propuestas	C.2. Adaptación del diseño a las condiciones específicas del productor y/o proveedor
A.2.a Estudio etnográfico: Evaluar el nivel de pertinencia del proyecto y el enfoque (encuestas de consumos y métodos de ahorro)	B.3. Selección de propuesta definitiva	C.3. Fabricación del PMV basado en resultados de etapa anterior, costos y adaptaciones.
A.3. Análisis de la problemática con respecto a su justificación	B.4. Construcción del prototipo funcional	C.4. Validación en ambiente similar al real (Pruebas de funcionalidad con el PMV)
A.4. Definición del problema proyectual en términos generales	B.5. Instalación y Evaluación del prototipo a través de Pruebas de Funcionalidad	C.5. Valoración del PMV después de un tiempo determinado de uso a través de Pruebas de Usabilidad
A.5. Precisión del problema proyectual	B.6. Introducir modificaciones eventuales con base a resultados de pruebas	
A.6. Subdivisión del problema en subproblemas y su interrelación	B.7. Valoración de diseño modificado (Encuestas de percepción)	
A.7. Análisis de soluciones existentes	B.8. Preparación de planos técnicos para la fabricación de Producto Mínimo Viable	

7.2. Actividades de acuerdo a la estructura metodológica

En este apartado se definen las actividades puntuales vinculadas a las fases y subfases de acuerdo al modelo metodológico seleccionado y al nivel de detalle respecto a los alcances de la investigación:

A. Etapa de estructura del problema

A.1. Localización de una necesidad: Encontrar un escenario en el que haya discordancia en la población o entorno, y que sea el contexto para el cual se diseñará el producto.

Para diseñar elementos que permitan identificar valores del producto que puedan incrementar el éxito de adopción y consumo de los usuarios, es necesario fortalecer la comprensión y estudio sobre la deseabilidad. En este sentido, las etiquetas de sostenibilidad proporcionadas por los minoristas y los fabricantes pueden influir de manera significativa en las percepciones de los consumidores y en sus decisiones de compra. Cho & Berry proponen dentro de su estudio, como las etiquetas de escala de sostenibilidad ayudan a los consumidores a determinar el rendimiento de los productos. Al adoptar estrategias de marketing ecológico y comunicar de manera efectiva los atributos de sostenibilidad de sus productos, las empresas pueden influir positivamente en la percepción de los consumidores y fomentar un comportamiento de compra más consciente y sostenible [\(Cho & Berry, 2019\)](#).

A.2. Valoración de la necesidad: Comparar la necesidad con otras, respecto de su compatibilidad y prioridad.

A.2.1. Estudio etnográfico: Para conocer las necesidades reales e incertidumbres de los posibles usuarios, se llevaron a cabo una encuesta piloto a 6 participantes habitantes de Fraccionamientos en Santiago de Querétaro, para identificar los consumos específicos de agua doméstica (Anexo 4). Las encuestas fueron realizadas en el Municipio de Santiago de Querétaro, en el Fraccionamiento Puerta Navarra; el día 7 de septiembre de 2023, fue entregada físicamente en papel y la realización del ejercicio fue presencial.


En la Figura 12, se especifican las preguntas planteadas a los 6 participantes:

ENCUESTA DE CONSUMO DE AGUA DOMÉSTICA EN EL INODORO				
1. ¿Cuántas personas habitan en su hogar? <ul style="list-style-type: none"> • De 1 a 2 <input type="radio"/> • De 3 a 5 <input type="radio"/> • Más de 5 <input type="radio"/> 	2. ¿Con cuántos baños con inodoro cuenta en su hogar?? <ul style="list-style-type: none"> • 1 <input type="radio"/> • 2 <input type="radio"/> • 3 <input type="radio"/> • Más de 3 <input type="radio"/> 	3. ¿De cuántos litros de agua es su inodoro?? <ul style="list-style-type: none"> • Menos de 5 L <input type="radio"/> • De 6 a 9 L (estándar) <input type="radio"/> • Más de 9 L <input type="radio"/> 	4. ¿Cuántas veces jala la palanca del inodoro al día cada persona en su hogar? <ul style="list-style-type: none"> • 1 <input type="radio"/> • 2 <input type="radio"/> • 3 <input type="radio"/> • 4 <input type="radio"/> • 5 <input type="radio"/> • Más de 5 <input type="radio"/> 	TOTAL DIARIO <p>Se multiplican las veces que van al baño X el número de personas X los litros que usa el inodoro</p>
ENCUESTA DE CONSUMO DE AGUA DOMÉSTICA EN OTRAS ACTIVIDADES				
5. ¿Cuántas veces se baña a la semana? <ul style="list-style-type: none"> • De 3 a 4 <input type="radio"/> • De 5 a 7 <input type="radio"/> • Más de 7 <input type="radio"/> TOTAL DE LITROS SEMANALES:	6. ¿Qué tipo de lavadora (s) tiene? <ul style="list-style-type: none"> • Lavadora de carga superior <input type="radio"/> • Lavadora de carga frontal <input type="radio"/> 	7. ¿De qué capacidad es su lavadora en kilos de ropa? <ul style="list-style-type: none"> • Menos de 8K <input type="radio"/> • De 8 a 12K (estándar) <input type="radio"/> • Más de 12K <input type="radio"/> 	8. ¿Cuántas veces a la semana usa su lavadora? <ul style="list-style-type: none"> • De 1 a 2 <input type="radio"/> • De 3 a 5 <input type="radio"/> • Más de 5 <input type="radio"/> 	TOTAL SEMANAL <p>Se multiplican las veces que se usa la lavadora X los litros que usa la lavadora en cada carga</p>
ENCUESTA DE VALORACIÓN A LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA ECOTECNIA				
9. ¿Le gustaría ahorrar agua potable en el inodoro de su hogar? <ul style="list-style-type: none"> • a) Sí <input type="radio"/> • b) No <input type="radio"/> ¿Por qué?	10. ¿Usaría una dispositivo en su baño para reúso de aguas grises en las descargas del inodoro? <ul style="list-style-type: none"> • a) Sí <input type="radio"/> • b) No <input type="radio"/> ¿Por qué?	11. ¿Su baño cuenta con espacio para instalar este dispositivo? <ul style="list-style-type: none"> • a) Sí <input type="radio"/> • b) No <input type="radio"/> 	12. ¿Dónde preferiría instalar este dispositivo en su baño? <ul style="list-style-type: none"> • Debajo de lavamanos <input type="radio"/> • Arriba del tanque del inodoro <input type="radio"/> • Otro <input type="radio"/> ¿Dónde?	13. ¿Si estuviera a la venta este dispositivo, lo compraría? <ul style="list-style-type: none"> • a) Sí <input type="radio"/> • b) No <input type="radio"/> ¿Por qué?


Figura 12. Diagrama de preguntas de primera encuesta. Elaboración propia, 2023.

Posteriormente se ampliaron las preguntas y el modo de responder la encuesta fue a través de la plataforma *Google Forms*, donde participaron **40 encuestados** habitantes de Fraccionamientos (Anexo 5). Esta segunda encuesta se realizó entre el 28 de febrero de 2025 al 22 de septiembre de 2025. En la Figura 13, se muestra una parte de la encuesta realizada a través de esta plataforma:


5. ¿Cuántos litros de agua utiliza tu inodoro en cada descarga? *



☐ Inodoro convencional (10 a 15 litros por descarga)



☐ Inodoro con desdificador dual (6 a 9 litros por descarga)



☐ Inodoro ahorrador (3 a 5 litros por descarga)

☐ Otro: _____

6. ¿Cuántas veces al día utilizas el lavabo para lavarte las manos y/o los dientes? *

☐ De 1 a 2 veces al día

☐ De 3 a 4 veces al día

☐ De 5 a 6 veces al día

☐ 7 o más veces al día

7. ¿Cuántas cargas de ropa lavas a la semana? *


☐ De 1 a 2 cargas de ropa a la semana

☐ De 3 a 4 cargas de ropa a la semana


☐ 7 cargas de ropa a la semana

☐ Más de 7 cargas de ropa a la semana


8. ¿En qué tipo de aparato lavas cada carga de ropa? *



☐ Lavadora de carga superior



☐ Lavadora de carga frontal



☐ Lavadero con jicara o manguera

☐ Otro: _____

13. ¿En qué actividad reutilizarías el agua recolectada de las actividades anteriores? *

☐ Descargas de los inodoros

☐ Quehaceres del hogar

☐ Riego de plantas y jardines

☐ Lavar tu automóvil

☐ Otro: _____

14. ¿Cuántos habitantes viven contigo en tu hogar? (incluidas mascotas) *

☐ Vivo solo

☐ 1 a 2 habitantes además de mí

☐ 3 a 4 habitantes además de mí

☐ 5 o más habitantes además de mí

15. ¿En qué rango de ingresos te encuentras? *

☐ De \$8,500 a \$15,000 mensual

☐ De \$16,000 a \$30,000 mensual

☐ De \$31,000 a \$50,000 mensual

☐ Más de \$50,000 mensual

☐ No tengo ingresos

16. ¿Cuánto estarías dispuesto a pagar por un producto que te permita reutilizar aguas grises, con el fin de ahorrar agua potable en tu hogar? *

☐ De \$5,000 a \$15,000

☐ De \$20,000 a \$30,000

☐ De \$40,000 a \$50,000

☐ Más de \$50,000

Muchas gracias por tu participación.




Figura 13. Capturas de cuestionario en *Google Forms*. Elaboración propia, 2025.

A.3. Análisis de la problemática con respecto a su justificación: Puede ocurrir que un problema proyectual no sea justificado. Comparando la función del producto a diseñar con la percepción de los usuarios, se descubren eventuales enfoques erróneos.

A.4. Definición del problema proyectual en términos generales: Con base en antecedentes recopilados, se definen el problema y el objetivo general del proyecto.

A.5. Precisión del problema proyectual: Se establecen los requerimientos específicos del producto y sus subsistemas. Se formulan las restricciones controlables y no controlables por el diseñador. En este caso, existen diseños de experimentos en el que se intenta lograr que un proceso o producto tenga el desempeño deseado sin que le afecten las fuentes de variación no controladas (variables de ruido), mediante la elección de factores que sí se pueden controlar.

A.6. Subdivisión del problema en subproblemas y su interrelación: Establecer una matriz de interacción entre subsistemas y analizar su dependencia mutua.

A.7. Análisis de soluciones existentes: Comparar soluciones según sus ventajas y desventajas. Establecer una tipología de soluciones existentes. Evaluarlas según una lista de criterios, por ejemplo: complejidad, costos, fabricación, seguridad, precisión, factibilidad, técnica, fiabilidad, etc.

B. Etapa de diseño

B.1. Desarrollo de propuestas o conceptos de diseño: Usar algunas técnicas que impulsan la creatividad como "*brainstorming*", sinéctica, análisis morfológico, etc. Visualización de estas ideas por medio de dibujos, esquemas, maquetas, modelos (es decir, códigos cualitativos y no discursivos).

B.2. Evaluación de propuestas: Someter cada propuesta a criterios de factibilidad técnica, funcional, económica y formal, cotejar ventajas y desventajas. Para este fin se elaboran modelos provisionales que simulan los detalles del producto en cuestión.

B.3. Selección propuesta definitiva: Realizar cambios de acuerdo a las observaciones y asignar valores de calificación a una lista de parámetros, por ejemplo, complejidad, seguridad, fiabilidad, coherencia formal, rango de costos, normas, simplicidad de fabricación, duración. Elegir la o las alternativas con el más alto puntaje.

B.4. Construcción del prototipo funcional: Dimensionar piezas, determinar procesos de fabricación y materiales, tolerancias, acabados, etc., para la fabricación del prototipo funcional con materiales que permitan realizar pruebas de funcionamiento y desempeño, aunque no sean los materiales reales o finales. Observación del comportamiento del prototipo funcional como sistema total.

B.5. Instalación y Evaluación del prototipo (Pruebas de Funcionalidad)

- **Paso 1:** Instalar el sistema 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.
- **Paso 2:** Conectar Bomba a pila e interruptor.
- **Paso 3:** Tomar ducha normal.
- **Paso 4:** Tomar tiempo con cronómetro en el momento en el que se inicie la ducha.
- **Paso 5:** Encender manualmente la bomba una vez que quede completamente sumergida en el agua recolectada.
- **Paso 6:** Detener el cronómetro en cuanto se termine la ducha.
- **Paso 7:** Apagar la bomba en el momento en que ya no se observe agua acumulada en el piso de la regadera.
- **Paso 7:** Verificar el volumen de agua gris recolectada (Litros).

B.6. Introducir modificaciones eventuales: Con base en el test del prototipo funcional, rediseñar o afinar los detalles necesarios (que resultaron deficientes).

B.7. Valoración del diseño modificado: Evaluar si el nuevo diseño cumple con los requerimientos mínimos solicitados y que cubre todas las deficiencias antes encontradas. Analizar cómo el diseño se podría insertar en el mercado debido a sus ventajas y beneficios. Se valora el diseño ajustado considerando su funcionalidad, viabilidad técnica y su potencial impacto en el usuario y el entorno. Para esta tarea se realizó una encuesta de manera virtual a través de la Plataforma *Google Forms*, en donde se mostró un video sin audio con una animación 3D que describe la forma y el funcionamiento del PMV, con el fin de conocer la percepción de los usuarios con respecto al uso y el diseño. Esta encuesta se llevó a cabo entre el 1 de abril de 2025 al 22 de septiembre de 2025, en la cual participaron **42 usuarios potenciales**, habitantes de Fraccionamientos. La encuesta se diseñó basada en las pruebas de Likert, donde se asigna una calificación del 1 al 5 a cada pregunta. En la Figura 14, se muestra una parte de la encuesta realizada a través de esta plataforma:

1. ¿Qué tan complejo fue entender cómo funciona el producto? *

1 - Muy complejo
2 - Relativamente complejo
3 - Regular
4 - Relativamente fácil
5 - Muy fácil

1 2 3 4 5

☆ ☆ ☆ ☆ ☆

3. ¿Qué tan cómodo te parece que es utilizar el sistema durante la ducha? *

1 - Muy incómodo
2 - Relativamente incómodo
3 - Regular
4 - Relativamente cómodo
5 - Muy cómodo

1 2 3 4 5

☆ ☆ ☆ ☆ ☆

2. ¿Qué tan limpio te parece que es utilizar el producto? *

1 - Muy sucio
2 - Relativamente sucio
3 - Regular
4 - Relativamente limpio
5 - Muy limpio

1 2 3 4 5

☆ ☆ ☆ ☆ ☆

4. ¿Qué tan cómodo te parece que es utilizar el inodoro con el tanque especial? *

1 - Muy incómodo
2 - Relativamente incómodo
3 - Regular
4 - Relativamente cómodo
5 - Muy cómodo

1 2 3 4 5

☆ ☆ ☆ ☆ ☆

Figura 14. Capturas de cuestionario en *Google Forms*. Elaboración propia, 2025.

B.8. Preparación de planos técnicos definitivos para la fabricación de Producto

Mínimo Viable (PMV): El Producto Mínimo Viable (PMV) se define como aquel producto que tiene las mínimas características necesarias para aprender la máxima información posible sobre los usuarios y su experiencia de uso. Su objetivo es obtener conocimiento validado sobre el mercado, requiriendo el intercambio de algún recurso escaso por parte del cliente (como tiempo, dinero o atención) con el mínimo esfuerzo posible por parte de la organización. El PMV no es un producto final en sí mismo, sino un experimento que permite avanzar en la definición del modelo de negocio y validar hipótesis sobre el cliente y el producto [\(Touza, 2017\)](#). Para fines de producción del PMV, es necesario contar con planos bidimensionales y/o tridimensionales para aquellas piezas que no existan en el mercado y sea necesario fabricarlas; los planos deben ser comprensibles y legibles para los proveedores.

C. Etapa de realización

C.1. Elaboración de estudio de costos del Producto Mínimo Viable (PMV): El estudio debe incluir los costos directos e indirectos de los materiales, la mano de obra, la maquinaria necesaria y otros insumos, así como los costos operativos a lo largo del ciclo de vida del sistema. El objetivo de este análisis es asegurar la viabilidad económica del proyecto, permitiendo su escalabilidad y la posible adopción por parte de diferentes tipos de productores.

C.2. Adaptación del diseño a las condiciones específicas del productor y/o proveedor:

El diseño del PMV debe ser flexible y adaptado a las necesidades y condiciones particulares del productor, lo que implica realizar modificaciones en función de los recursos disponibles, las características del entorno y las expectativas del usuario final; garantizando que el PMV sea eficiente, sostenible y adecuado para el contexto de cada productor.

C.3. Fabricación del PMV basado en resultados de etapa anterior, costos y

adaptaciones: Con base en los resultados obtenidos en el estudio de costos y las adaptaciones necesarias para cada productor, se procede a la fabricación del PMV. Este proceso incluirá

la selección de materiales y la integración de tecnologías que optimicen el uso de los recursos.

C.4. Validación en ambiente similar al real: Una vez fabricado e instalado el PMV, se realizaron pruebas de funcionalidad para evaluar su desempeño en condiciones reales de operación. Esta etapa implica el monitoreo del sistema de recolección y reutilización de aguas grises en un entorno relevante, la cual incluye tanto aspectos técnicos, como el rendimiento del sistema de recolección y reúso de aguas grises; lo que coincide con el Nivel 6 de madurez tecnológica (Figura 15).



Figura 15. Nivel de Madurez Tecnológica alcanzado (TRL). Datos de [\(Ayming, 2021\)](#).

C.5. Valoración del PMV después de un tiempo determinado de uso: Como parte del proceso de valoración, se llevaron a cabo pruebas de usabilidad en un entorno simulado que replicaba condiciones reales de uso. Estas pruebas no fueron realizadas con usuarios externos, sino por la propia investigadora, quien ejecutó las actividades para evaluar de manera cualitativa la experiencia de uso del PMV. A través de estas pruebas, se recabaron observaciones detalladas sobre la facilidad de uso, los beneficios percibidos, posibles inconvenientes y oportunidades de mejora. La información obtenida resultó fundamental para identificar ajustes necesarios en el diseño y obtener una primera aproximación al impacto social que podría tener la tecnología propuesta en contextos domésticos urbanos.

A.2. Valoración de la necesidad:

En la encuesta realizada a través de la plataforma *Google Forms*, entre el 24 de febrero de 2025 al 22 de septiembre de 2025; donde participaron **40 personas** residentes de Fraccionamientos en el municipio de Santiago de Querétaro, se analizaron las preguntas que involucraban la caracterización de los usuarios, y se obtuvieron los siguientes hallazgos:

- Mayoría de rango de edad: **de 26 a 40 años (45%)**
- Mayoría de rango de ingresos: **De \$16,000 a \$30,000 mensual (47.5%)**
- El **50%** indica que viven de 1 a 2 habitantes en su hogar, mientras que el **37.5%** indica que viven hasta 4 habitantes en su hogar.
- El **57.5%** 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 [\(CEA, 2025\)](#), y que tiene aumento de \$3.17 con respecto al precio del agua del año anterior, de \$75.77 por cada metro cúbico de agua [_\(CEA, Comisión Estatal de aguas de Querétaro, 2024\)._](#)
- La mayoría piensa pagar entre **\$5,000 a \$15,000** por el producto **(95%)**

Posteriormente, en relación con las preguntas sobre el consumo individual de agua doméstica, se presentan los resultados obtenidos en la Figura 17. En el eje X se indican los litros consumidos por día, mientras que en el eje Y se 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.

Resultados de consumos de agua doméstica de cada participante por día

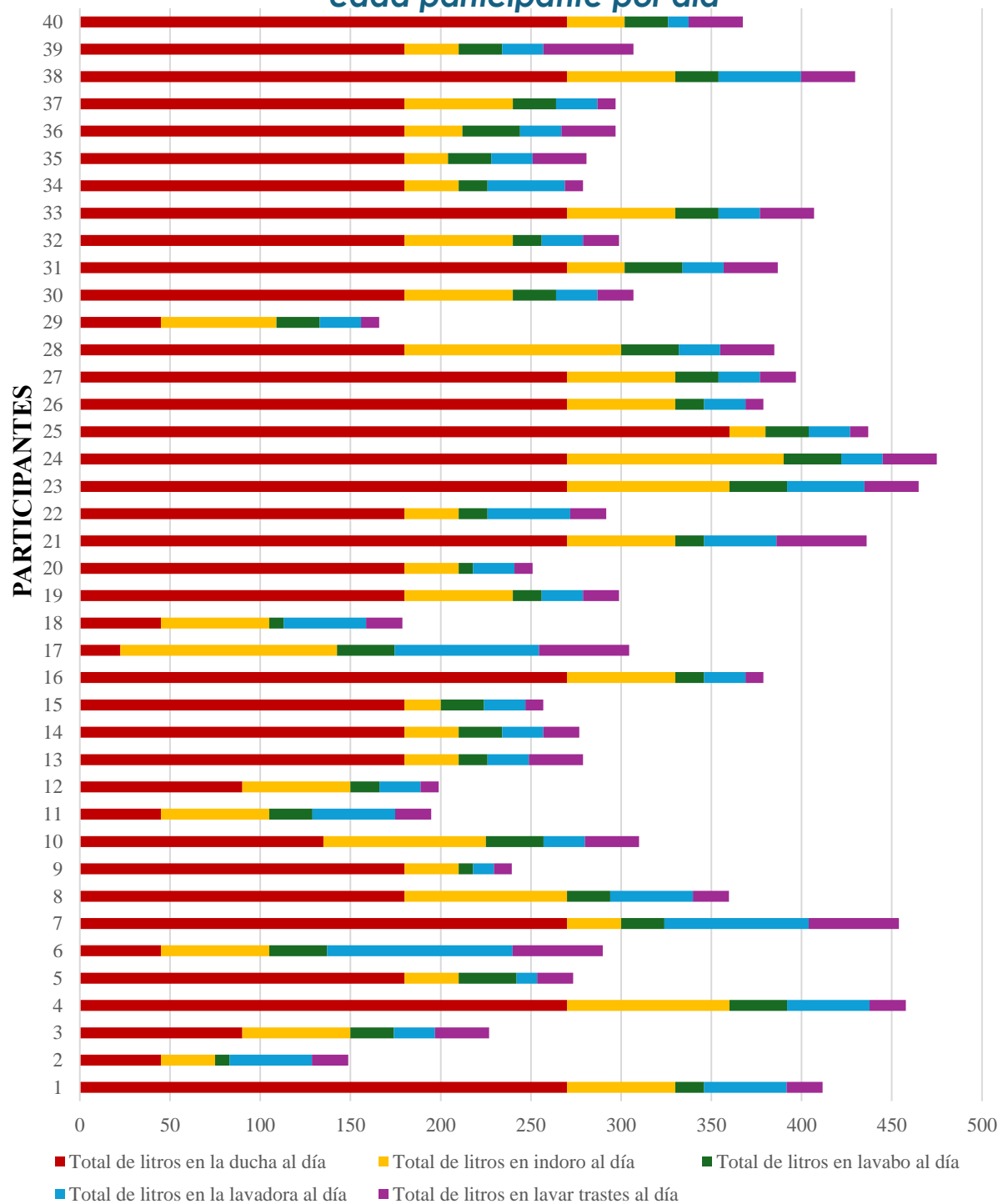


Figura 17. Resultados de la encuesta aplicada por *Google Forms* sobre consumos individuales de agua doméstica. Elaboración propia, 2025.

Con estos resultados podemos comprobar que la ducha representa la principal fuente de consumo de agua potable en el ámbito doméstico, así como el punto donde se genera la mayor cantidad de aguas grises. En segundo lugar, se encuentran las descargas del inodoro, las cuales también implican un alto consumo de agua potable, a pesar de no requerir agua limpia para su funcionamiento, lo que permite considerar el aprovechamiento de aguas grises en este uso.

Finalmente, se analizaron las preguntas con respecto al conocimiento de los usuarios sobre su percepción hacia el reúso de aguas grises y métodos de ahorro de agua; y estos fueron los resultados. En la Figura 18 se muestran las actividades que deben usar agua limpia según los participantes, lo que revela un posible conocimiento de las actividades domésticas que no necesitan agua potable y el posible reúso de aguas grises.

Actividades que deben usar agua limpia según los participantes

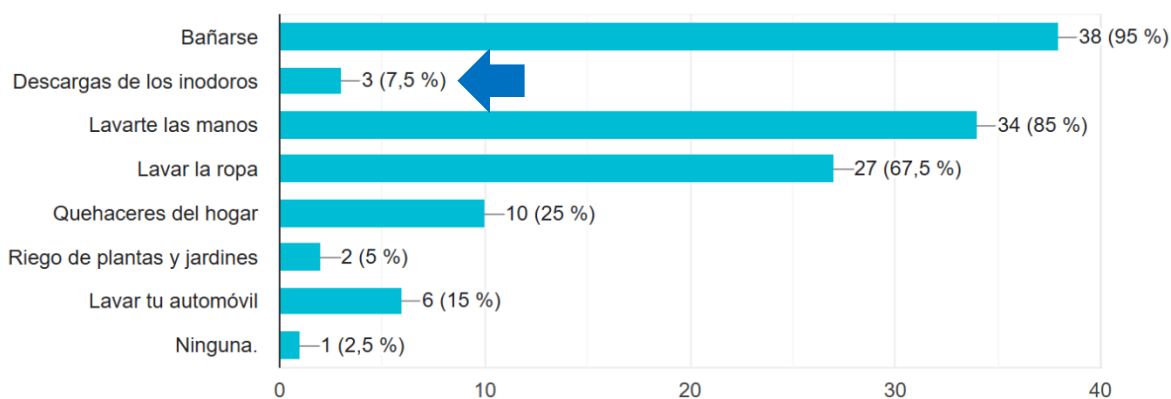


Figura 18. Actividades domésticas que usan agua potable según los encuestados.
Captura de resultados de encuesta aplicada por Google Forms, 2025.

Por otro lado, en la Figura 19 se desglosan los porcentajes de las actividades domésticas en las cuales los usuarios estarían dispuestos a reutilizar las aguas grises domésticas generadas.

Preferencia de los usuarios respecto al reúso de aguas grises

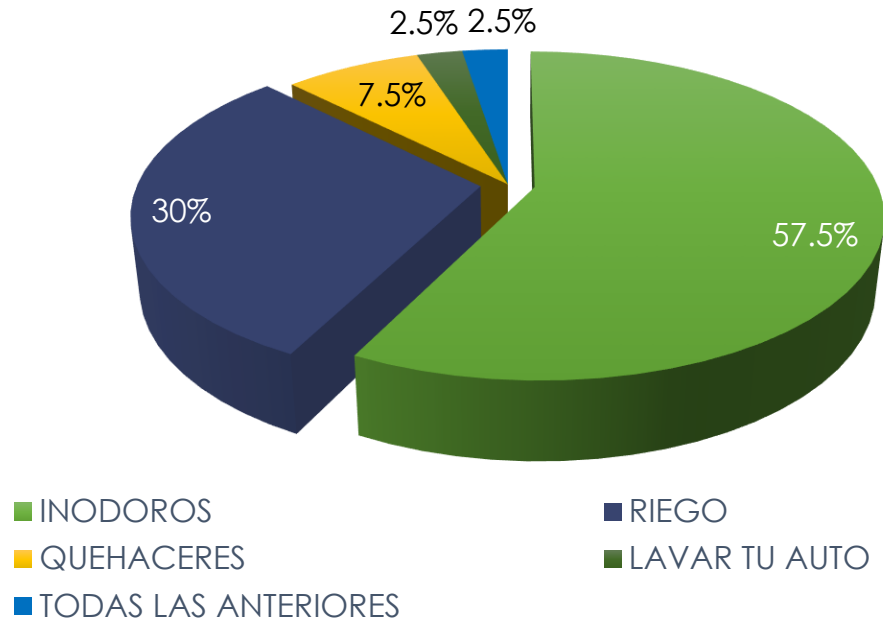


Figura 19. Resultados de la encuesta aplicada por *Google Forms* sobre preferencia de reúso de aguas grises. Elaboración propia, 2025.

A.3. Análisis de la problemática con respecto a su justificación:

Los resultados obtenidos revelaron que el **57.5%** de los encuestados mostró preferencia por el reúso de aguas grises en las descargas de inodoros, lo que presenta una ventaja competitiva para lograr el objetivo del proyecto.

A.4. Definición del problema proyectual en términos generales:

a) Problema proyectual:

“El inodoro es el segundo lugar en uso de agua potable (el cuál no la necesita), mientras que la ducha es la principal fuente de aguas grises (que no son aprovechadas)”.

A.5. Precisión del problema proyectual:

Con base en la premisa del problema proyectual y en concordancia con el objetivo general

del proyecto; se plantea diseñar, desarrollar e implementar un sistema de recolección y reúso de aguas grises provenientes de las principales fuentes de generación de aguas grises susceptibles al aprovechamiento en las descargas de los inodoros, las cuales representan la segunda actividad con mayor consumo de agua potable, a pesar de no requerir agua limpia. El propósito es evaluar la viabilidad técnica, económica y social del sistema, así como comprobar su impacto en la reducción del consumo de agua potable doméstica y en el cambio de hábitos de los usuarios.

A.6. Subdivisión del problema en subproblemas y su interrelación:

A partir del planteamiento del problema y sus causas, se elaboró un mapa conceptual (Figura 20), en el que se describe y organiza el problema general. En este esquema se representa de manera clara y sintetizada la problemática específica de reutilizar aguas grises en el inodoro y sus posibles relaciones en términos de beneficios y conciencia ambiental (siguiente página):

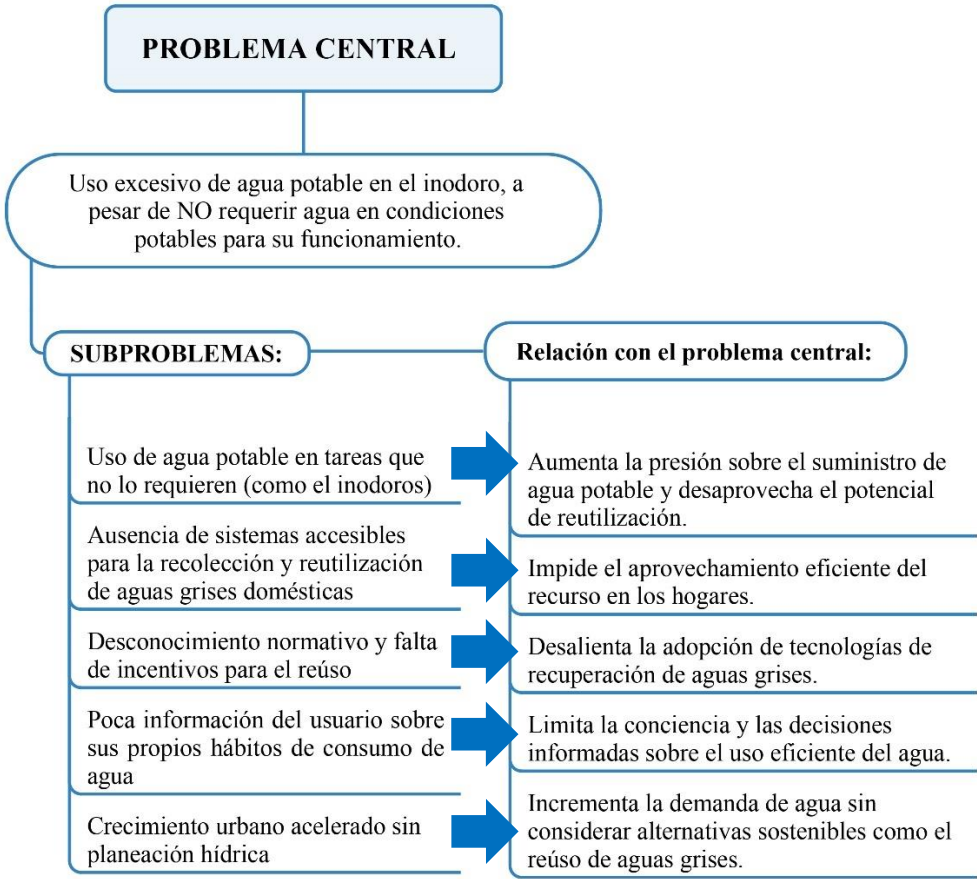
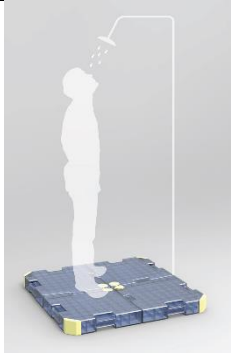



Figura 20. Diagrama de subproblemas interrelacionados. Elaboración propia 2024.

A.7. Análisis de soluciones existentes:

Desde una perspectiva pragmática, existen soluciones de diseño existentes en el mercado que pretenden abordar el problema de reúso de aguas grises, tanto en espacios reducidos como en exteriores. Así mismo, encontramos en el mercado internacional diferentes productos que abordan esta problemática de manera directa o indirecta, los cuales se pueden adaptar a exteriores o interiores dependiendo del contexto al que se introduzca. En la siguiente tabla (Tabla 5) se describen algunos productos donde se consideran datos relevantes como capacidad y medidas del producto (características técnicas), precio a la venta, cómo se usa y dónde se reúsa el agua recolectada, si es el caso:

Tabla 5. Descripción técnica de productos existentes de reúso de aguas grises domésticas, ya sea de manera directa o indirecta. Elaboración propia, 2024.

IMAGEN	NOMBRE	CAPACIDAD Y MEDIDAS	PRECIO	USABILIDAD
	GRIS - Igen Design, Colombia (Igen, 2015)	40 L 30 X 30 X 10 cm	US\$ 50 + IVA (pre estimación)	Módulos móviles, acarreo, carga de peso para reúso en inodoro, etc.
	Agua Well, Brasil (Experimenta, 2016)	6 L 40 x 34 x 10 cm y pesa 500 gr	MX\$ 170 (solo en Brasil)	Recipiente plegable, acarreo, carga de peso para reúso en inodoro, etc.

	Ecoguardián, Colombia (Ecoguardian, 2015)	80 L Soporta 200 kg encima 71.5 X 71.5 X 23 cm	US\$ 450 + IVA	Bomba automática hermética hacia la caja del inodoro, indicadores de llenado
	OneConcept Ecowash- Pico (Electronic- star, 2024)	3.5 kg de ropa (7.7 libras) 14 x 17 pulgadas (ØxT)	125 euros	Mini lavadora de carga superior para 3.5 kg de ropa, función de centrifugado, 380 W, ahorro de energía/agua con temporizador.
	Minilavadora Yirego- Drumi (Yirego, 2020)	8 L 41,66 x 40,13 x 49,53 cm; 8,5 kg de peso	CAD \$129	Mini lavadora portable que no usa electricidad, se impulsa con un pedal que genera el movimiento de centrifugado en una esfera que se encuentra dentro de la carcasa, lo que le permite el uso en exteriores.
	Mini Lavadora Plegable Portátil Para Ropa Interior (Mercado libre, 2024)	1.5 kg de ropa, 6.5 L de agua De 30 cm de alto X 22 x 22 cm (desplegada) a 12 cm de altura plegada	MX \$640	Cubeta plegable, de carga superior que puede lavar hasta 1.5 kg de ropa por ciclo, y utiliza un motor de 135 W, con temporizador.

	Lavadora y secadora Eeva (Ecoinventos, 2023)	3 a 3,5 kg de ropa con 10 L de agua 1,07 m de alto X 0,61 m de ancho	Prototipo en busca de fondos para su producción y venta (<i>start-up Indiegogo</i>)	Pantalla táctil LCD, aplicación para smartphone calcula agua, energía y emisiones de carbono ahorrados comparado con una lavadora/secadora normal.
	Lavadora manual con manivela, Haofy (Amazon, 2024)	2 kg de ropa 27 cm de alto X 40 cm de diámetro	MX \$2131	Lavadora Manual portátil no eléctrica, lavadora de mano con manivela, adecuada para dormitorio, apartamento, Camping, lavandería, ropa de bebé.
	Greywater – shower box, Ulublu, Australia	7 L 27.5 x 20 x 14 cm	AU\$ 106.95 (solo en Australia)	Se adapta a mangueras con tamaños de puerto de 3/4" - 1-1/2", con rejilla para residuos sólidos. Dirige esas aguas al riego de jardines
	Europump Auto Grey Water Drain Well 24 V, Oscultati	47.5 L por minuto 33 x 21.5 x 11 cm	US \$52.83 + US \$40.00 de envío	Pozo colector de aguas grises con bomba automática, Equipado con filtro extraíble para descargas en los inodoros

8.2. Resultados de etapa de Diseño

B.1. Desarrollo de alternativas o ideas básicas:

Propuesta 1:

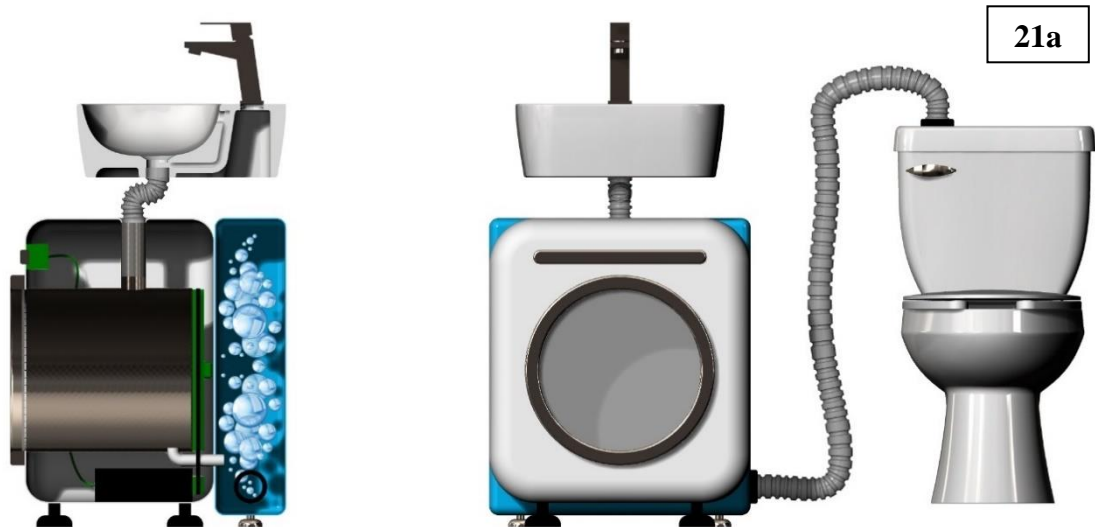


Figura 21a y 21b. Primer concepto como acercamiento a la solución de diseño.

Elaboración propia, 2023.



Descripción:

Microlavadora de carga frontal con componentes eléctricos y mecánicos que se adapta al espacio debajo del lavamanos del baño, incluye un tanque de tratamiento primario que abastece la caja del inodoro con aguas grises tratadas del lavado de ropa para descargas.

Propuesta 2:

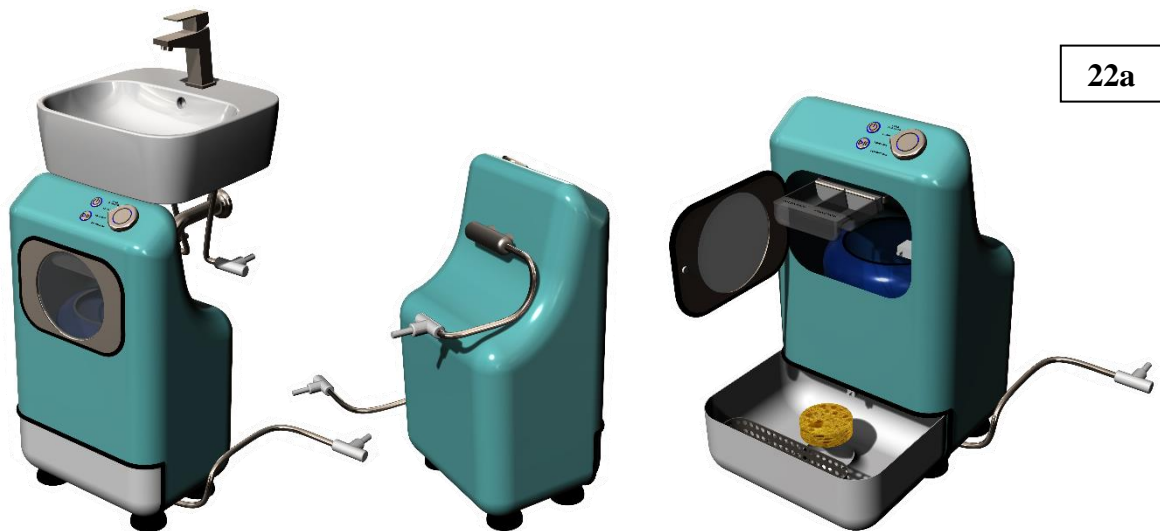


Figura 22a y 22b. Segundo concepto como acercamiento a la solución de diseño.

Elaboración propia, 2023.



Descripción:

Microlavadora de carga frontal con componentes eléctricos y mecánicos que se adapta al espacio debajo del lavamanos del baño y arriba del tanque del inodoro, incluye un cajón inferior de tratamiento primario que abastece la caja del inodoro con aguas grises tratadas del lavado de ropa para descargas.

22b

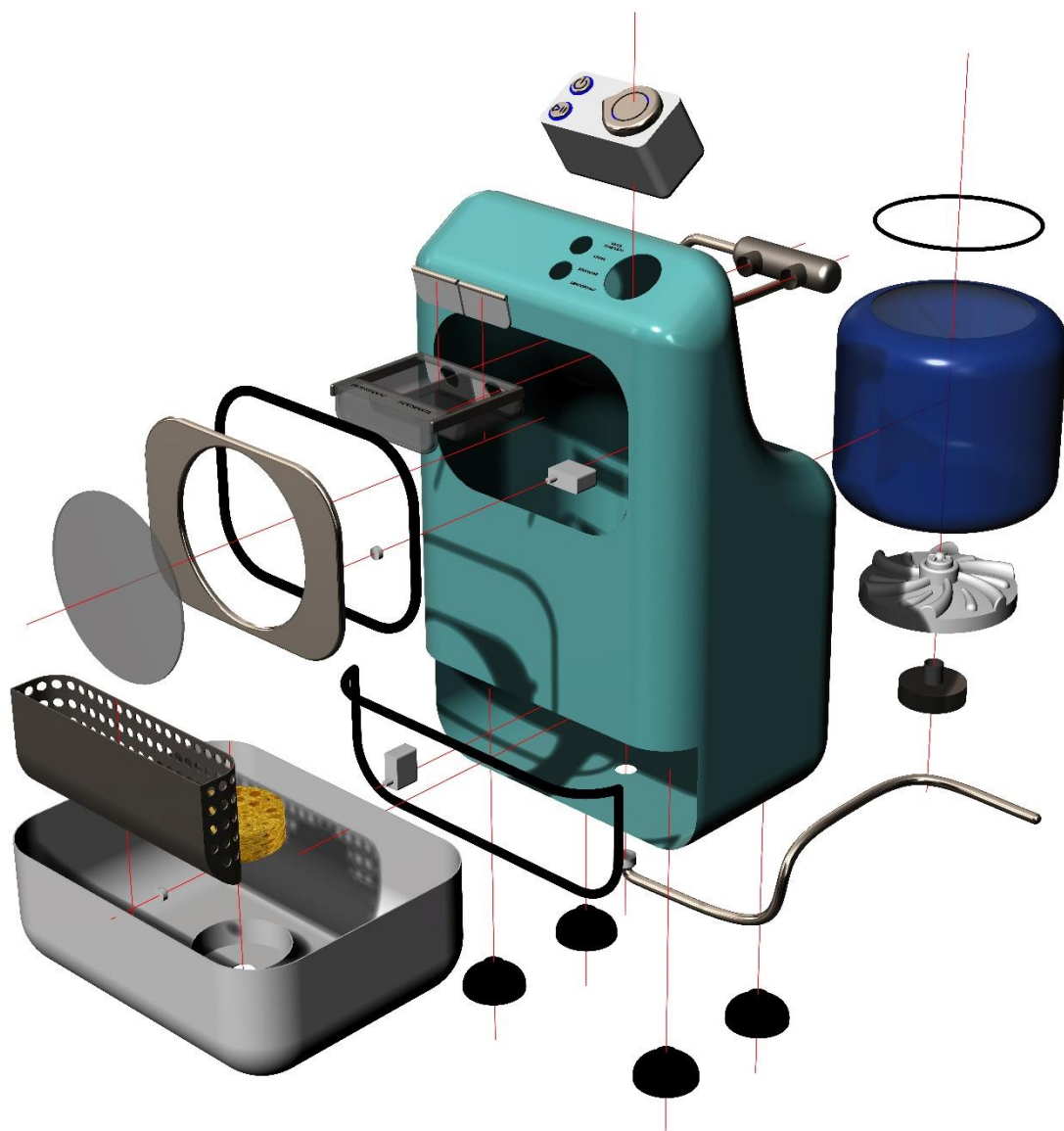


Figura 23. Despiece de segundo concepto como acercamiento a la solución de diseño.

Elaboración propia, 2023.

Propuesta 3:

24a



Figura 24a y 24b. Tercer concepto como acercamiento a la solución de diseño.

Elaboración propia, 2024.



24b

Descripción:

Microlavadora manual de carga superior con mecanismo de manivela que se adapta a un inodoro comercial de dos piezas sustituyendo el tanque, incluye un filtro de tratamiento primario que abastece al inodoro con aguas grises filtradas del lavado de ropa para descargas.

- No necesita electricidad.
- Menor cantidad de componentes.
- Fácil instalación y uso.

B.2. Examen de alternativas: Para esta actividad se realizaron prototipos a escala (Figura 25), para simular el funcionamiento y el manejo del producto por parte de los usuarios, con el fin de conocer las posibles áreas de oportunidad de mejora.



Figura 25. Componentes y ensamble de maqueta construida en impresión 3D de extrusión de filamento a Escala 1:3 de la propuesta 3. Elaboración propia, 2024.

Discusión de examen de alternativas:

- De acuerdo con las encuestas aplicadas en el Fraccionamiento Puerta Navarra en Querétaro, y las aplicadas a través de la aplicación de *Google Forms*; **el lavado de ropa no presenta un problema grave de generación de aguas grises y el espacio limitado en el cuarto de baño impide su implementación**, por lo que es conveniente realizar propuestas que capten y almacenen aguas grises generadas en otras actividades domésticas y redirigirlas al abastecimiento de las descargas del inodoro.
- Es necesario minimizar esfuerzos y componentes para dirigir las aguas grises al tanque del inodoro de manera directa, y así reducir costos.
- Considerar que NO se pueden recolectar todo el tiempo las aguas grises, por lo que se debe activar algún mecanismo de paso de aguas grises a la coladera.
- Considerar facilidad de limpieza y mantenimiento.

Propuesta 4:



Figura 26a y 26b. Cuarto concepto como acercamiento a la solución de diseño.

Elaboración propia, 2024.



Descripción:

Propuesta de Sistema de “baño autónomo” para la recolección y tratamiento de aguas grises, recogiendo el agua de la regadera y el lavamanos en tanques independientes con filtros. El sistema recolector instalado en la coladera de la ducha, dirige las aguas residuales generadas en esta actividad a un tanque especial del inodoro, lo que permite reutilizarlas en las descargas; mientras que el tanque del lavamanos permite el reúso del agua gris en otras actividades mediante una llave de salida.

B.3. Selección de mejores alternativas:

Propuesta 5:



**Figura 27. Quinto concepto como acercamiento a la solución de diseño.
Elaboración propia, 2024.**

Descripción:

Propuesta de Sistema de “baño autónomo” para la recolección y reúso de aguas grises, recogiendo el agua de la regadera y el lavamanos en tanques independientes con filtros. El tapete de la regadera dirige las aguas grises de la ducha un tanque especial del inodoro, lo que permite reutilizarlas en las descargas; mientras que el tanque del lavamanos permite el reúso del agua gris en otras actividades mediante una llave de salida.

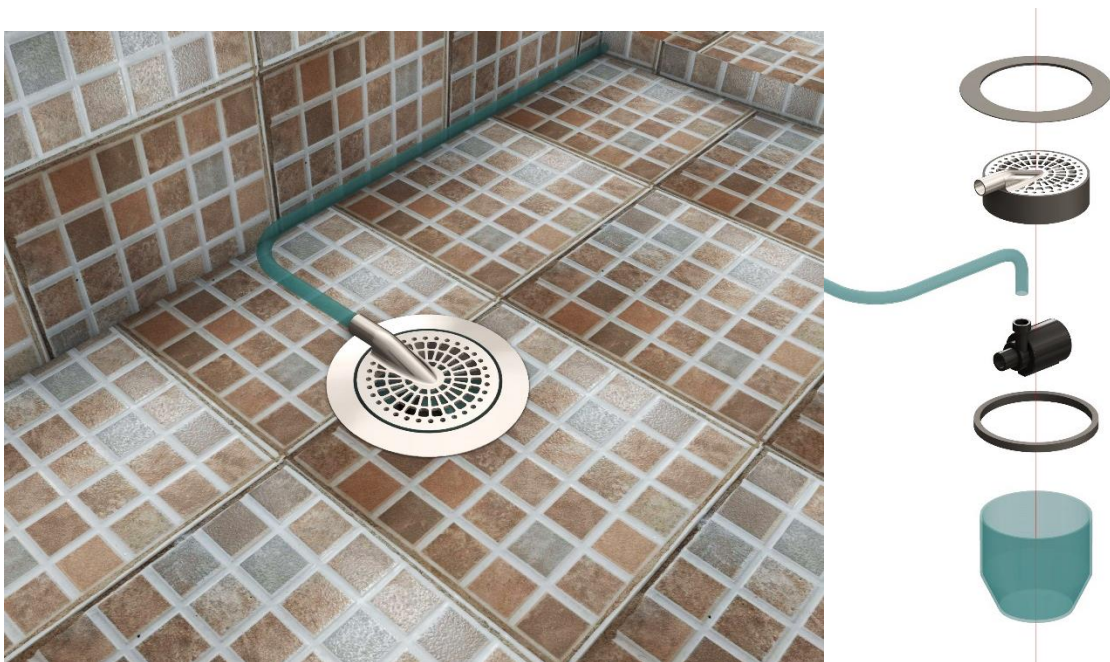
Propuesta 6:

Figura 28. Sexto concepto y despiece de acercamiento a la solución de diseño.

Elaboración propia, 2024.

Descripción:

Sistema de recolección de aguas grises de la regadera que reemplaza la coladera convencional con un contenedor y una bomba que succiona el agua almacenada, redirigiéndola mediante una manguera al tanque del inodoro. Este tanque incluye un filtro comercial para el tratamiento primario, permitiendo reutilizar el agua en las descargas del inodoro.

Propuesta seleccionada para construir prototipo funcional y realizar pruebas en un ambiente controlado.

B.4. Detallar alternativa seleccionada:





A continuación, se presenta en la Tabla 6, 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 de la propuesta seleccionada:

Tabla 6. Lista de componentes para la construcción del prototipo funcional.

Elaboración propia, 2024.

<i>IMAGEN</i>	<i>NOMBRE</i>	<i>CAPACIDAD - MEDIDAS</i>	<i>MARCA</i>	<i>PRECIO</i>
	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

B.5a. Construcción del prototipo funcional: Para fabricar el prototipo funcional, se comenzó haciendo la manufactura de aquellas piezas que no se encontraban en el mercado. Aunque no se manufacturaron con los materiales finales, estos materiales permitieron realizar pruebas de funcionamiento y desempeño (Figura 29).



Figura 29. Prototipo funcional con materiales y piezas comerciales y de impresión 3D en resina. Elaboración propia, 2024.



Figura 30. Prototipo funcional montado en un baño convencional para realizar pruebas. Elaboración propia, 2024.

B.5b. Evaluación del prototipo funcional (proceso de pruebas):

Las pruebas de recolección de aguas grises de la regadera, las cuales se realizaron en un baño convencional en un ambiente controlado, con duchas de 10 minutos cada una; indican que se pueden obtener más de 50 L por ducha, lo cual es suficiente para 5 descargas diarias del inodoro, cubriendo así el **100%** de su uso de una persona con estas aguas grises, según las encuestas de la zona. Se realizaron 6 pruebas obteniendo los siguientes datos (Tabla 7):

Tabla 7. Pruebas de usabilidad realizadas con el prototipo funcional. Elaboración propia, 2024.

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 TOTALES de agua Gris Recolectados	30	25	15	45	55	50

Discusión de pruebas:

Considerando los resultados de estas pruebas realizadas, a continuación, se describen los hallazgos preliminares relevantes:

- **Volumen de agua recolectada:** El volumen promedio de agua recolectada, considerando la potencia máxima de la bomba y la pila, es de 50 L por ducha, suficiente para las descargas diarias del inodoro de una persona y con un excedente disponible para otras actividades que no requieren agua potable, como el riego.
- **Calidad del agua gris:** El filtro con 250 g de cristales de polifosfato y 180 g de carbón activado, redujo el mal olor de las aguas grises pero el color jabonoso persiste sin ser nocivo para la salud humana. En este sentido, se requiere de un cambio de mentalidad en cuanto a cómo vemos la transparencia del agua en el inodoro (la cual es innecesaria).

- Factores de riesgo: Durante las pruebas se encontraron algunas variables de ruido que podrían afectar el rendimiento del producto, tales como:
 - La batería se queda sin carga (cada pila tuvo un alcance de 3 pruebas cada una antes de descargarse).
 - Las mangueras se obstruyen durante el uso debido a residuos humanos como cabellos o pelusa.
 - Las mangueras se desconectan de la bomba y dejan de subir agua gris al tanque durante el proceso, esto debido a la obstrucción antes mencionada o a movimientos durante el uso.
 - Existen fugas de agua en el tanque de almacenamiento de aguas grises, debido al peso y la presión del agua contenida (Figura 31).



Figura 31. Prototipo funcional con filtro con carbón activado granulado.

Elaboración propia, 2024.

B.6. Introducir modificaciones eventuales:

A partir de estos hallazgos, se hicieron las siguientes observaciones para considerar en las mejoras del diseño:

- Integrar un tapete antiderrapante que cubra las mangueras para evitar tropiezos.
- Considerar el uso de la corriente alterna (enchufe), contemplando como evitar filtraciones de agua a los cables.

- Integrar sistema de monitoreo comercial donde se refleje cuántos litros se reutilizan.

Para este último punto, el presente diseño se enfoca en la implementación de un sistema de recolección de aguas grises provenientes de la ducha, integrándolo al mundo del “internet de las cosas (*IoT* por sus siglas en inglés) y de viviendas inteligentes, con el fin de fomentar paulatinamente nuevos hábitos de consumo de agua, promoviendo la conciencia sobre el uso eficiente de los recursos hídricos.

El monitoreo de los consumos a gran escala podría contribuir a generar estrategias de desarrollo tanto público como privado en una región específica, tales como políticas públicas, programas sociales, planificación urbana, reconfiguración de viviendas, desarrollo turístico, entre otros. Este enfoque está alineado con los principios de buen diseño y con recomendaciones de expertos como el Dr. Alfonso Xavier Iracheta Cenecorta, miembro del Seminario de Estudios Estratégicos del Estado de México, quien señaló en su ponencia en ONU Hábitat 2024, efectuada en Querétaro:

“Si un problema no se mide o parametriza, difícilmente se puede abordar o atender.”

Para ello se realizó una propuesta de diseño de un sistema de monitoreo que podría integrarse al contenedor de almacenamiento de aguas grises, que incluye (Figura 32):

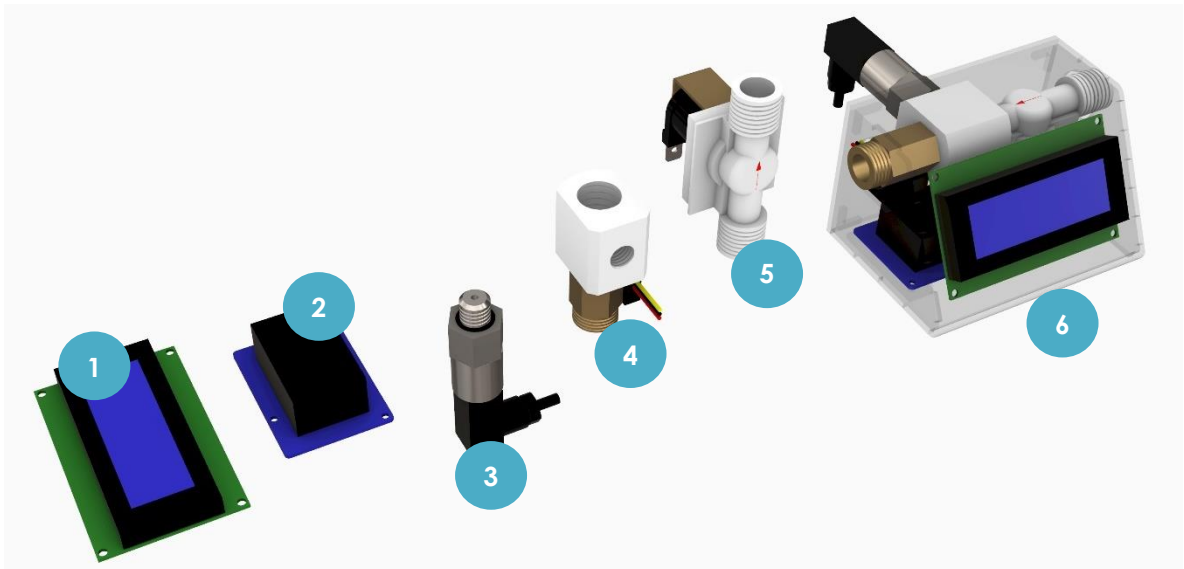


Figura 32. Componentes que integran el sistema de monitoreo. Elaboración propia, 2024.

1. Pantalla LCD de 4 líneas, donde se refleje la información.
2. Sistema Electrónico Embebido
3. Sensor de presión de agua
4. Cople de medidor de flujo de agua
5. Electroválvula de paso de agua
6. Sensores dentro de en una “caja hermética” (Carcasa de Acrílico)

El Sistema de monitoreo se centra en la recolección de aguas grises de la ducha, integrándolo dentro de un esquema de automatización de productos y/o sistemas para viviendas. Este enfoque aborda la necesidad crítica de optimizar el uso de recursos hídricos en entornos domésticos, aprovechando las aguas grises provenientes de la ducha para su reutilización en actividades domésticas que NO requieren agua potable, como el riego o en las descargas del inodoro, reduciendo así el consumo total de agua potable.

La pantalla fue programada a través del sistema electrónico embebido, para indicar los pulsos que marca el medidor de flujo de agua, es decir; las vueltas que da la bobina cada vez que pasa el agua. Para hacer esta información más comprensible y sencilla para los usuarios, se realizaron pruebas para verificar cuantos pulsos son necesarios para dejar pasar 1 L de agua. Para realizar estas pruebas se necesitaron los siguientes materiales (Figura 33):

- | | |
|---|--|
| 1. Pantalla LCD de 4 líneas | 7. Bomba de agua sumergible de 12V, 800 L X hora |
| 2. Sistema Electrónico Embebido | |
| 3. Cople de medidor de flujo de agua | 8. Pila recargable de 12V - 0.4A con interruptor |
| 4. Mangueras sanitarias flexibles metálicas de ½" | 9. Eliminador regulador de corriente de 12V-1 ^a |
| 5. Recipiente graduado de 1 Litro de capacidad | 10. Cronómetro |
| 6. Cubeta con más de 5 litros de agua | |

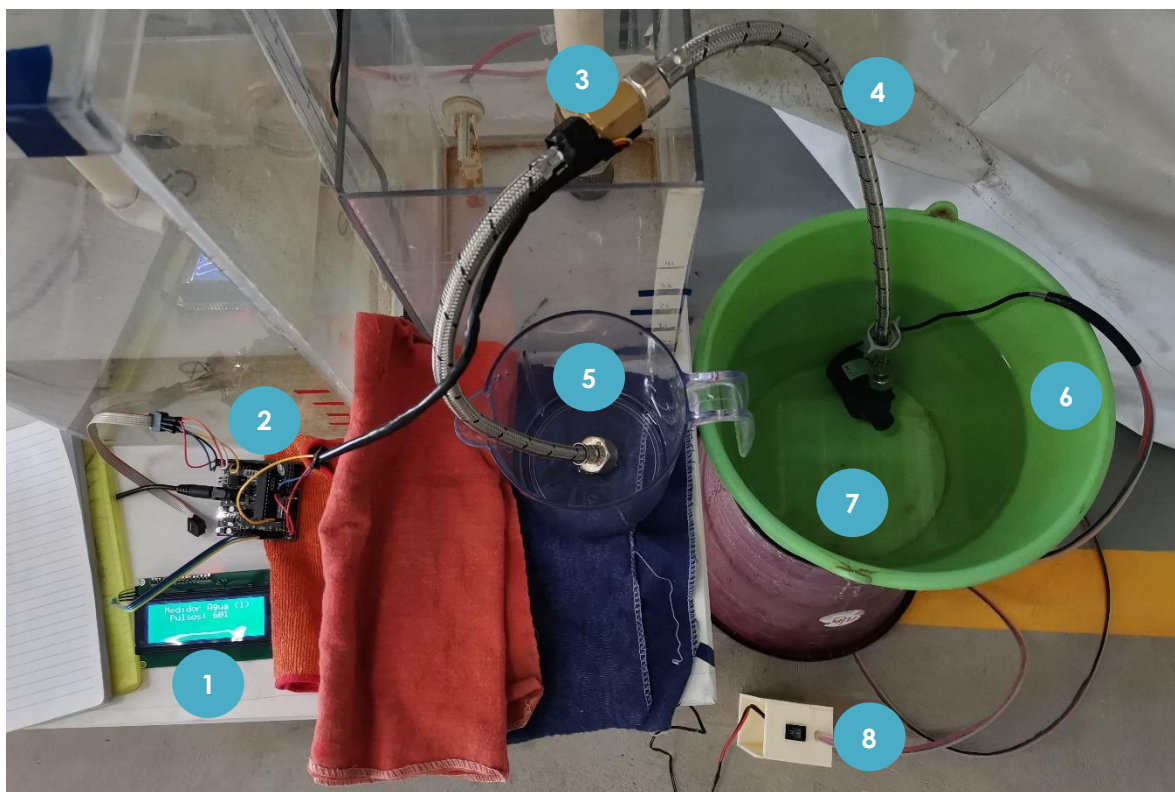


Figura 33. Materiales para pruebas. Elaboración propia, CETEVI, 2024.

a) Resultados de pruebas de Sistema de Monitoreo

Al principio de la Primera Prueba, la pila estaba cargada al 100%. Conforme se realizaron las réplicas se notó que el tiempo de llenado de 1 litro fue en ascenso y la cantidad de pulsos en descenso, lo que dio a notar que la pila no estaba trabajando a todo su voltaje (Tabla 8); por lo que se decidió realizar una Segunda Prueba comprobando si la pila estaba trabajando a su máximo voltaje o si comenzaba a descargarse en cada réplica.

Tabla 8. Resultados de Prueba 1. Elaboración propia, 2024.

PRUEBAS DEL SISTEMA DE MONITOREO CON PILA DE 12V (1 LITRO)		
<i>NO. DE RÉPLICA</i>	<i>TIEMPO (segundos)</i>	<i>PULSOS</i>
1	13	613
2	13	607
3	14	611
4	15	607

5	16	602
6	17	601
7	17	594
8	19	595
9	18	590
10	20	570
VARIANZA	5.36	144.4

Con la ayuda de un multímetro se midió cuánto voltaje usaba la pila al final de cada réplica, con lo que notamos que el voltaje efectivamente iba en descenso en cada uso (Tabla 9).

Debido a este problema, estas pruebas no serían útiles para calcular el promedio de pulsos para el llenado de cada litro de agua, por lo que se decidió hacer una Tercera Prueba, pero ahora conectando la bomba directamente a la corriente eléctrica con un eliminador de 12V-1A.

Tabla 9. Resultados de Prueba 2. Elaboración propia, 2024.

PRUEBAS DEL SISTEMA DE MONITOREO CON PILA DE 12V, MIDIENDO EL VOLTAJE EN USO (<i>1 LITRO</i>)			
<i>NO. DE RÉPLICA</i>	<i>VOLTAJE (V)</i>	<i>TIEMPO (segundos)</i>	<i>PULSOS</i>
1	10	20	568
2	7.4	20	605
3	6.3	19.3	574
4	5.7	21	579
5	5.2	23	555
6	4.8	25	533
VARIANZA	3.05	4.00	485.67

Con la Tercer Prueba, se comprobó que al estar conectada la bomba directamente a la corriente eléctrica, se mantiene estable el flujo de agua, con lo que se pudo obtener el promedio de pulsos para cada litro de agua. Esta prueba tiene como resultado que en promedio se obtienen: 603.60 pulsos en 13.27 segundos por cada litro de agua (Tabla 10), lo que coincide en gran medida con la literatura que indica que por cada litro de agua se obtienen aproximadamente 600 pulsos, pudiendo así graduar la pantalla en litros y no en pulsos, para que el usuario sepa exactamente lo que se consume.

Tabla 10. Resultados de Prueba 3. Elaboración propia, 2024.

PRUEBAS DEL SISTEMA DE MONITOREO CONECTADO A ELIMINADOR DE 12V-1A (1 LITRO)		
<i>NO. DE RÉPLICA</i>	<i>TIEMPO (segundos)</i>	<i>PULSOS</i>
1	13	601
2	13	600
3	13	604
4	13.4	610
5	13.9	612
6	13.3	602
7	13.5	598
8	13.2	597
9	13.3	596
10	13.2	613
11	13.2	603
12	13.6	619
13	13	599
14	13.3	601
15	13.1	599
VARIANZA	0.06	42.77
PROMEDIO	13.27	603.60

En conclusión, el sistema de monitoreo diseñado podría incrementar significativamente el costo del producto final al integrarlo al mecanismo de recolección de aguas grises. Este aumento en el costo podría influir negativamente en la percepción económica y social de los usuarios, por lo que no es indispensable integrar un sensor de presión de agua ni la electroválvula de paso de agua; siendo suficiente el uso de un sensor de flujo de agua (cople medidor).

Asimismo, se evaluó la posibilidad de incorporar un dispositivo comercial capaz de transmitir la información generada durante el uso hacia una base de datos, ya sea al celular de los usuarios o página web del producto. Esta integración permite la recopilación remota de datos, eliminando la necesidad de realizar visitas a cada vivienda donde se haya instalado el sistema de recolección de aguas grises para extraer manualmente la información. Este enfoque optimiza significativamente el proceso de documentación, haciéndolo más eficiente y menos invasivo.

b) Propuesta basada en mejoras:



Figura 34a y 34b. Propuesta de diseño basada en mejoras. Elaboración propia, 2024.



Descripción:

Sistema de recolección de aguas grises de la ducha que sustituye la coladera convencional e integra un tapete, un contenedor y una bomba que succiona el agua acumulada y la redirige, a través de una manguera, a un tanque especial con capacidad de 145 L, para una taza de inodoro convencional de 2 piezas. Este tanque incorpora un sistema de monitoreo para la recolección de información de consumos y reutilización, un filtro comercial para el tratamiento primario y un dosificador dual comercial con adaptaciones al tamaño del tanque especial. Este diseño permite la reutilización del agua en las descargas del inodoro, promoviendo una gestión eficiente de los recursos hídricos.

Como diseño adaptado al usuario, se pretenden manejar dos tamaños dependiendo del número de personas que habitan una vivienda, evitando así el estancamiento prolongado de las aguas grises. La versión pequeña que puede almacenar 90 L (lo que se consume en una ducha de 5 min según CEA) y la versión familiar, con capacidad de 145 a 150 L (Figura 35). La ventaja competitiva más clara es que recolecta el casi el 100% de las aguas generadas a comparación de su competidor más básico que es colocar una cubeta mientras se realiza la ducha, que solo se recolectaría el 10% de las aguas grises generadas, provocando una pérdida considerable de lo que se podría reutilizar y, en consecuencia, del ahorro de agua en el inodoro.

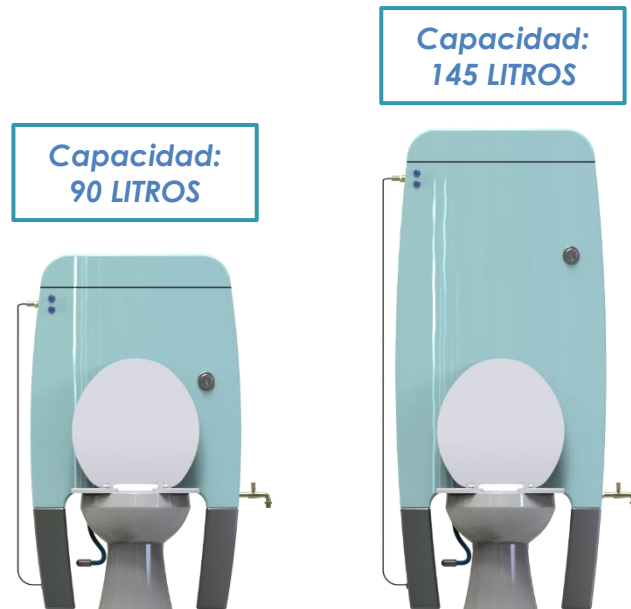


Figura 35. Propuestas de tamaños del concepto final. Elaboración propia, 2024.

B.7. Valoración de concepto modificado:

En la encuesta de percepción realizada a través de la plataforma *Google Forms*, entre el 1 de abril de 2025 al 22 de septiembre de 2025, con **42 encuestados**; se mostró un video de animación 3D del funcionamiento del producto sin textos ni diálogos, con el fin de evitar dirigir a los participantes hacia alguna respuesta, y fue seguido por una encuesta mixta con preguntas tipo Likert y abiertas. Para las preguntas tipo Likert con calificación de 1 a 5 estrellas, se abordaban factores como funcionamiento, complejidad, comodidad, etc.; de las cuales se obtuvieron los siguientes hallazgos (Figura 36):

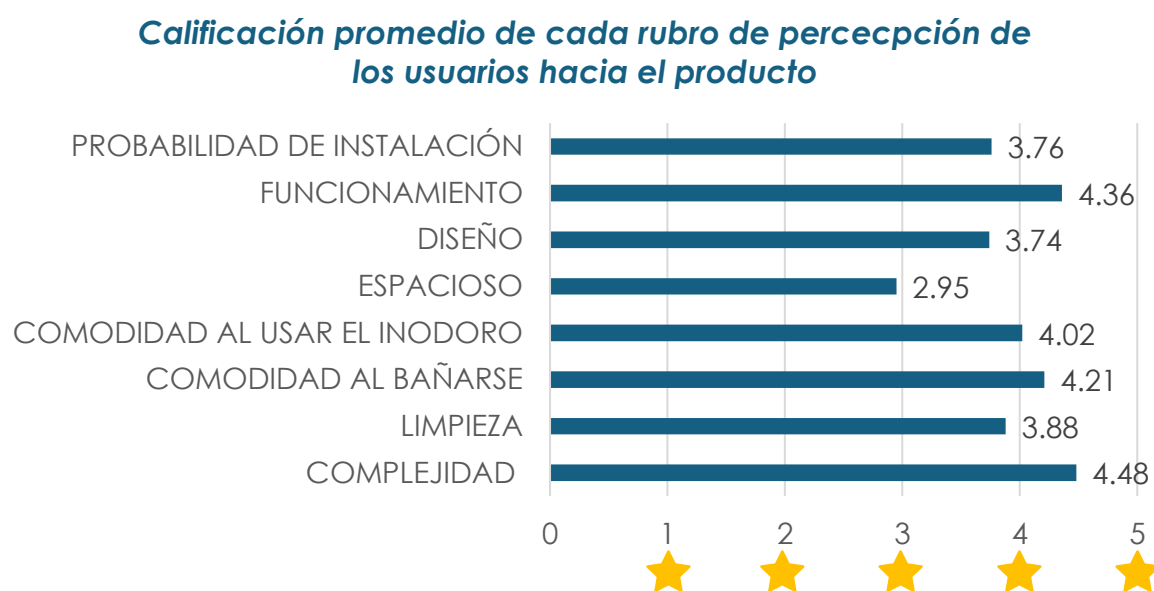


Figura 36. Resultados de preguntas tipo Likert en encuesta aplicada por *Google Forms* sobre la percepción de los usuarios hacia el producto. Elaboración propia, 2025.

La gráfica muestra las percepciones promedio de los usuarios sobre el sistema de reúso de aguas grises. Las calificaciones más altas se otorgaron a la complejidad sobre como acceder a la función del producto (4.48), al funcionamiento del producto en general (4.36), la comodidad al bañarse (4.21) y la comodidad al usar el inodoro (4.02), lo que indica una buena percepción en términos de desempeño y experiencia de uso. La limpieza (3.88) y la probabilidad de instalación (3.76) también recibieron valoraciones positivas, aunque ligeramente menores. Por otro lado, el diseño (3.74) y la percepción del espacio disponible

(2.95) obtuvieron las calificaciones más bajas, lo que sugiere oportunidades de mejora en la integración estética y espacial del sistema dentro de las viviendas. En general, los resultados reflejan un potencial de aceptación si se optimizan ciertos aspectos del diseño, dando un total de **3.93 de calificación**. Para complementar las preguntas de calificaciones tipo Likert, se realizaron también preguntas abiertas que abordaban temas sobre todo del gusto o disgusto del funcionamiento o componentes del producto. Los participantes valoraron positivamente el concepto de ahorro y reutilización del agua, destacando su impacto ecológico y su utilidad. No obstante, también surgieron preocupaciones importantes sobre el tamaño del tanque, su estética, el proceso de instalación y mantenimiento, así como la claridad del funcionamiento mostrado en el video. La mayoría de las sugerencias de mejora se centraron en el diseño, tamaño, automatización del sistema y la necesidad de contar con más información práctica, las cuales se describen en la siguiente tabla (Tabla 11):

Tabla 11. Resultados de preguntas abiertas en encuesta aplicada por *Google Forms* sobre la percepción de los usuarios hacia el producto. Elaboración propia, 2025.

COMENTARIOS: POSITIVOS VS. NEGATIVOS (CON FRECUENCIA)		
<i>Comentario:</i>	<i>Tipo:</i>	<i>Frecuencia:</i>
Ahorro/reutilización de agua	Positivo	18
Impacto ecológico / reducción de desperdicio	Positivo	10
Funcionamiento general / utilidad práctica	Positivo	7
Innovador y funcional	Positivo	4
Presentación clara del video	Positivo	3
Tamaño excesivo del tanque	Negativo	20
Poco estético / diseño tosco	Negativo	13
Falta de claridad sobre el funcionamiento	Negativo	9
Preocupación por mantenimiento o filtrado	Negativo	6
Temor por componentes eléctricos en el baño	Negativo	3
Video poco claro en algunos aspectos técnicos	Negativo	2
Mayoría de comentarios	Negativos	53

La percepción general hacia el PMV fue positiva en cuanto a su propósito ambiental y funcionalidad. Los participantes valoraron especialmente su contribución al ahorro de agua y su impacto ecológico. Sin embargo, los principales obstáculos percibidos se relacionan con

el tamaño, el diseño poco estético y la posible dificultad de instalación. Estas observaciones abren una importante oportunidad de mejora en el diseño industrial del tanque, la comunicación visual del producto y la automatización del sistema, a fin de mejorar la aceptación y la viabilidad de implementación en espacios reales, especialmente en viviendas con baños reducidos.

A continuación, se muestra un diagrama de Pareto donde se representa la distribución de los datos en orden descendente de frecuencia (suma de los rubros positivos y negativos) con una línea acumulativa en un eje secundario como un porcentaje del total (Figura 37):

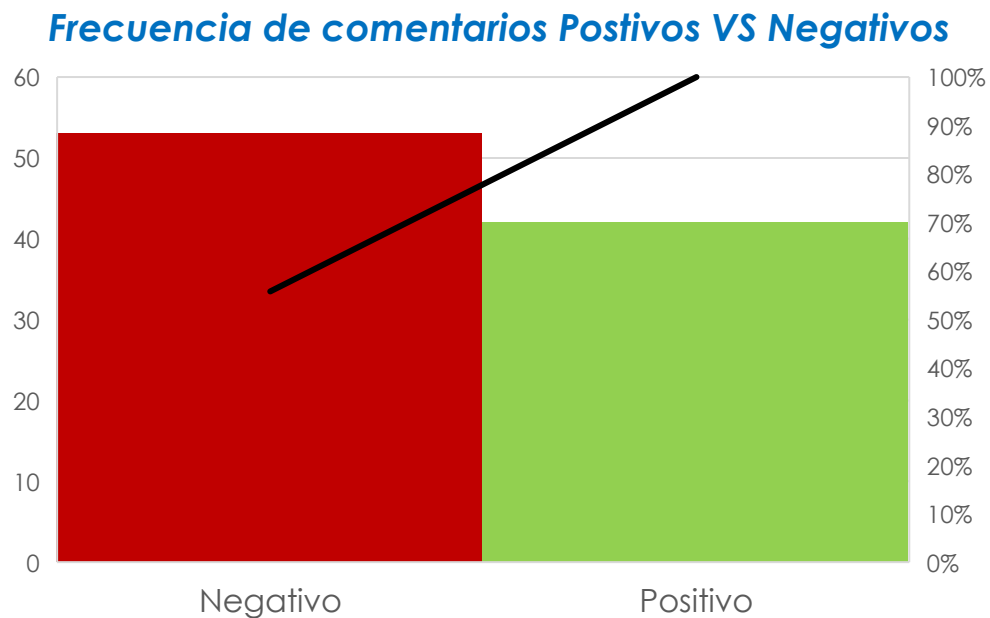


Figura 37. Diagrama de Pareto con frecuencia de comentarios. Datos de encuesta aplicada por *Google Forms* sobre la percepción de los usuarios hacia el producto.

Elaboración propia, 2025.

B.8. Preparación de planos técnicos definitivos para la fabricación de PMV.

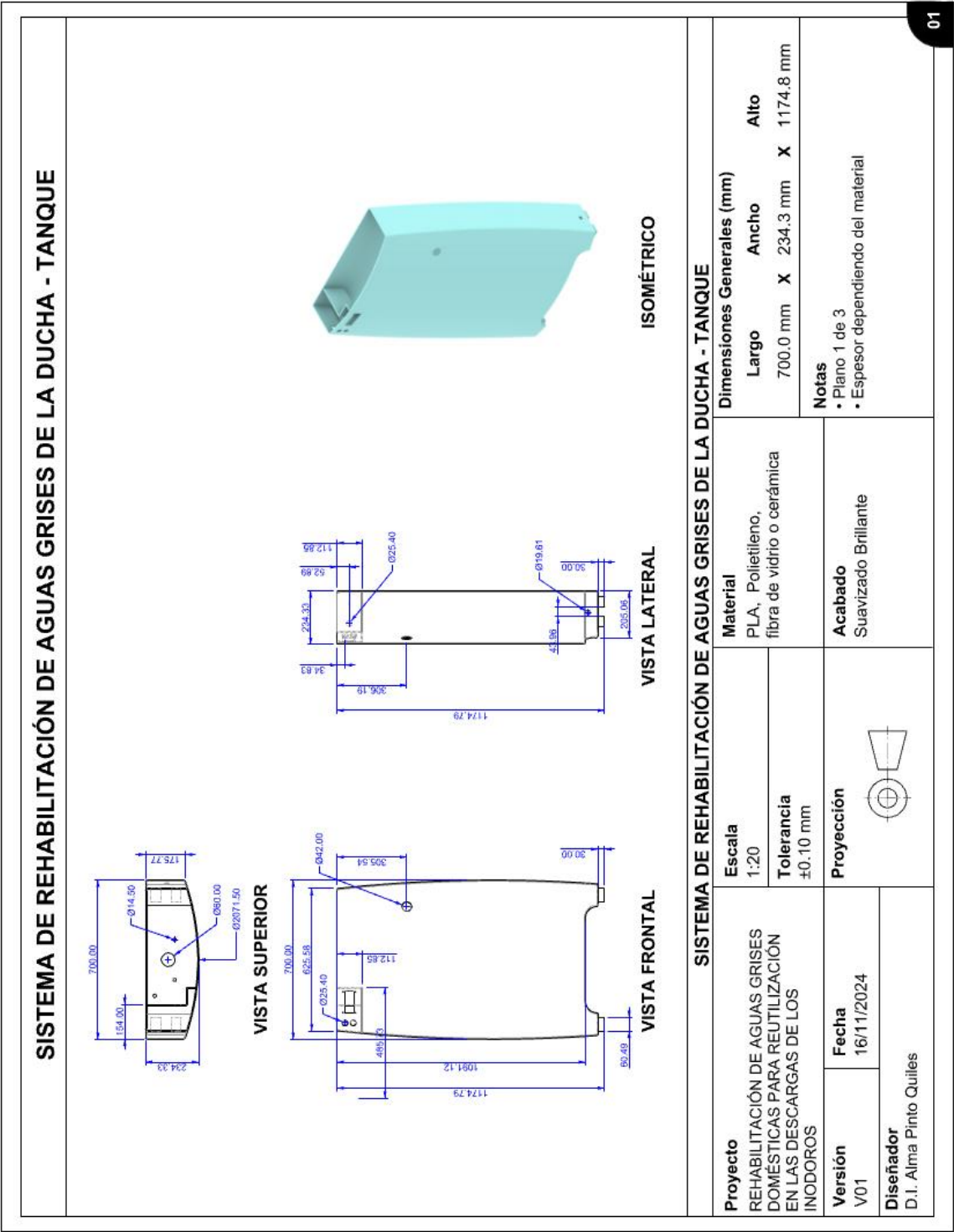


Figura 38. Plano técnico del contenedor del sistema. Elaboración propia, 2024.

8.3. Resultados de etapa de Realización

C.1. Elaboración de estudio de costos del Producto Mínimo Viable (PMV):

Para el estudio de costos, se llevó a cabo una evaluación comparativa de distintos materiales con el objetivo de garantizar que la fabricación del PMV fuera técnicamente viable, económicamente factible y accesible. En una primera etapa, se analizaron los costos asociados a la fabricación del modelo de menor escala —con una capacidad de 90 litros— utilizando cerámica (Tabla 12). Para validar esta opción, se realizaron pruebas de manufactura con este material en el Taller de Cerámica del Centro de las Artes de Querétaro (CEART), las cuales resultaron fallidas, debido a las complicaciones técnicas relacionadas con el gran tamaño de la pieza (Figura 42) y la compresión del material ocasionada por el proceso de deshidratación (Figuras 43).

Tabla 12. Costos para prototipo piloto de cerámica para el tanque de menor tamaño.
Elaboración propia, 2025.

COSTOS PARA PROTOTIPO PILOTO DE CERÁMICA (chico)	
DESCRIPCIÓN	PRECIO TOTAL
Arcilla Zacatecas Fina (Por Kilo)	\$ 350.00
Arcilla Om-4 A/F Bag	\$ 350.00
Feldespató Sódico (Verde)	\$ 50.00
Color Verde Pastel C-175	\$ 88.00
Esmalte Blanco Pr-1100 Fact	\$ 400.00
Gas para quema por pieza	\$ 2,400.00
Mano de obra pieza cerámica	\$ 2,600.00
Filtro	\$ 415.46
Medidor de flujo de agua	\$ 720.00
Lámina de acero inoxidable para patas	\$ 1,230.00
Mano de obra soldadura de patas	\$ 1,500.00
Dosificador Dual	\$ 896.00
Bomba de agua	\$ 381.32
Coladera	\$ 2,200.00
Mangueras	\$ 385.00
Tapete antiderrapante	\$ 165.44
Accesorios y conectores hidráulicos	\$ 586.00
TOTAL	\$ 14,717.22



Figura 42. Prueba de ensamblado en cerámica de contenedor de 90 litros. Elaboración propia, 2025.



Figura 43. Reacción de las placas cerámicas ante la deshidratación y contracción. Elaboración propia, 2025.

Posteriormente, se llevó a cabo un análisis de costos del PMV de mayor tamaño fabricado en lámina de acero inoxidable. Sin embargo, esta opción presentó costos considerablemente elevados para su aplicación en un prototipo piloto, debido al alto precio tanto del material como de los procesos de manufactura requeridos. En particular, se identificó que la soldadura especializada tipo TIG, necesaria para este tipo de material, alcanza precios de hasta \$50 MXN por pulgada soldada. En la Tabla 13 se presenta el desglose detallado de los costos estimados para esta propuesta de fabricación. Asimismo, en la Figura 44 se incluye un bosquejo ilustrativo que muestra la propuesta de armado del contenedor de 145 L. en lámina de acero inoxidable, considerando sus componentes estructurales, puntos de unión y el diseño general previsto para el PMV.

Tabla 13. Costos para prototipo piloto de lámina de acero inoxidable para tanque de mayor tamaño. Elaboración propia, 2025.

COSTOS PARA PROTOTIPO PILOTO DE CERÁMICA (chico)	
DESCRIPCIÓN	PRECIO TOTAL
Tanque de acero inoxidable para 150 L. (sin acabado)	\$ 7,000.00
IVA de proveedor	\$ 1,120.00
Filtro	\$ 415.46
Medidor de flujo de agua	\$ 720.00
Lámina de acero inoxidable para patas	\$ 1,230.00
Mano de obra soldadura de patas	\$ 3,000.00
Dosificador dual	\$ 896.00
Bomba	\$ 381.32
Coladera	\$ 2,200.00
Mangueras	\$ 770.00
Tapete antiderrapante	\$ 165.44
Accesorios y conectores hidráulicos	\$ 1,172.00
TOTAL	\$ 19,070.22

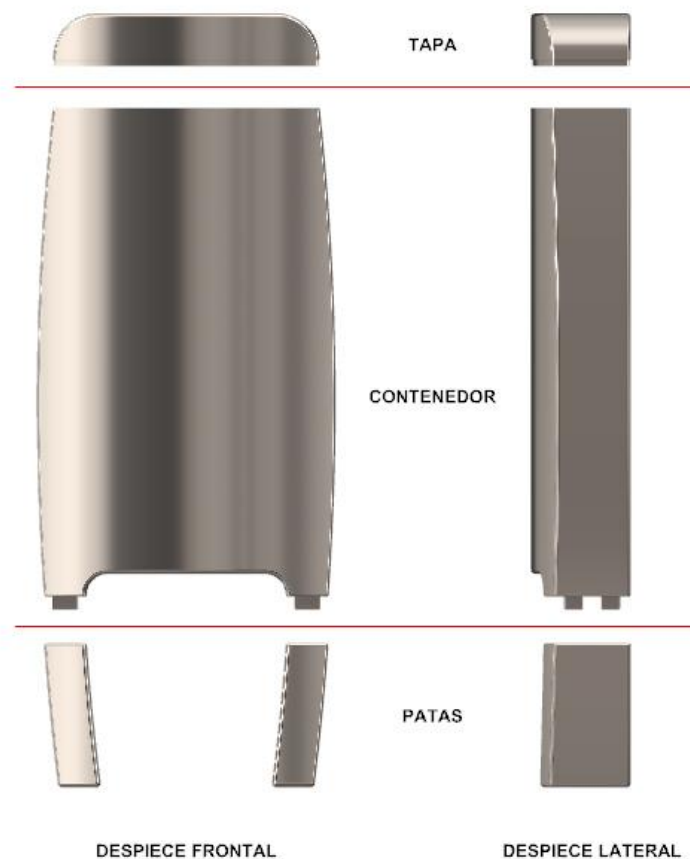


Figura 44. Propuesta de diseño de contenedor de 145 L. en lámina de acero inoxidable. Elaboración propia, 2025.

C.2. Adaptación del diseño a las condiciones específicas del productor y/o proveedor: Con el propósito de adaptar el desarrollo del acercamiento al PMV, a las necesidades y condiciones específicas del equipo de investigación; se realizaron algunas modificaciones al diseño final con el fin de emplear un material más accesible y de fácil adquisición en el mercado. Para ello, se optó por utilizar placas de acrílico con un espesor de 6 mm, dado que este material permite una manufactura eficiente mediante el uso de adhesivos especializados (Tabla 14). El acrílico puede ser unido mediante metacrilato, un adhesivo que no solo actúa como pegamento, sino que fusiona químicamente las superficies en contacto, generando un ensamble altamente resistente y duradero. Con el objetivo de reforzar el

contenedor y prevenir posibles filtraciones, se aplicó además un sellador especial para agua de secado rápido, lo que garantizó la integridad estructural y funcional del prototipo durante las pruebas preliminares.

Tabla 14. Costos para prototipo piloto de placa de acrílico para tanque de menor tamaño. Elaboración propia, 2025.

COSTOS PARA PROTOTIPO PILOTO DE ACRÍLICO (chico)	
DESCRIPCIÓN	PRECIO TOTAL
Placa de acrílico de 6 mm	\$ 2,300.00
Pegamento de metacrilato	\$ 90.00
Sellador	\$ 170.00
Acrílico de refuerzo interno	\$ 200.00
Acabado de vinilo	\$ 700.00
Mano de obra	\$ 3,750.00
Filtro	\$ 415.46
Medidor de flujo de agua	\$ 720.00
Componentes de unión para patas	\$ 100.00
Dosificador Dual	\$ 896.00
Bomba de agua	\$ 381.32
Coladera	\$ 2,200.00
Mangueras	\$ 385.00
Tapete antiderrapante	\$ 165.44
Accesorios y conectores hidráulicos	\$ 586.00
TOTAL	\$ 13,059.22

C.3. Fabricación del PMV basado en resultados de etapa anterior, costos y adaptaciones: Una vez definido el material a utilizar, se procedió a la manufactura del prototipo mediante el uso de plantillas a escala real generadas a partir del modelo tridimensional del diseño final, las cuales sirvieron como guía para el corte de las piezas. Posteriormente, se llevó a cabo el ensamblaje utilizando metacrilato como agente de unión y un sellador de secado rápido para asegurar la impermeabilidad de las uniones. Al concluir el proceso de ensamblado, se constató que el acrílico no solo ofrecía mayor resistencia

estructural y eficiencia en términos de manufactura y funcionalidad, sino que también presentaba una notable reducción en el peso del prototipo en comparación con las propuestas previas, lo cual representa un valor agregado para su implementación y manipulación (Figura 45).



Figura 45. Prototipo piloto en acrílico traslúcido. Elaboración propia, 2025.

Con el objetivo de mejorar el acabado superficial del prototipo, se aplicó una capa de vinilo adhesivo con acabado metálico automotriz sobre las superficies exteriores. Esta medida respondió tanto a criterios estéticos como a la necesidad de facilitar la limpieza y el mantenimiento del exterior del dispositivo. Posteriormente, el prototipo que incluye el contenedor, sistemas de monitoreo y coladera especial, fue instalado en un baño convencional con características propias de los construidos en fraccionamientos habitacionales; con el propósito de llevar a cabo pruebas de validación de su funcionamiento (Figura 46).



Figura 46. Acercamiento a PMV con acabado final e instalado en baño convencional.

C.4. Validación en ambiente similar al real: Con el objetivo de validar el acercamiento a PMV propuesto, se llevaron a cabo nuevas pruebas de funcionalidad utilizando el prototipo piloto actualizado. Estas pruebas permitieron obtener datos reales de consumo, los cuales respaldaron el porcentaje de captación y reúso alcanzado por el sistema. Para la obtención de estos datos relevantes sobre la eficiencia del producto, se siguió una serie de pasos previamente definidos y los materiales e instrumentos utilizados en esta etapa incluyeron:

- Sistema instalado en un baño convencional, compuesto por una coladera especial, un tapete antiderrapante, un contenedor de 90 litros de acrílico acoplado al inodoro y todas las conexiones hidráulicas necesarias para su operación.
- Sistema de monitoreo del caudal de salida del agua de la regadera (Figura 47).
- Sistema de monitoreo del ingreso de aguas grises al prototipo (Figura 46).
- Cronómetro para la medición precisa de los tiempos de operación.



Figura 47. Sistema de monitoreo adaptado a llave de salida de agua de la regadera.

Elaboración propia, 2025.

Los pasos seguidos durante el proceso de pruebas de funcionalidad del prototipo piloto fueron los siguientes:

- Abrir las llaves de paso de la regadera para iniciar el flujo de agua y dar comienzo a la ducha.
- Activar el cronómetro en el momento en que inicia la ducha.
- Una vez que el agua se ha acumulado en el recipiente de la coladera hasta el punto de

desbordar hacia el suelo, presionar el botón de encendido del sistema, ubicado a un costado del contenedor (Figura 48).

- Continuar con la ducha de manera habitual.
- Al concluir la ducha, cerrar las llaves de paso de la regadera y detener el cronómetro.
- Permitir que el sistema termine de recolectar el agua acumulada restante y, posteriormente, apagarlo.
- Registrar los valores indicados tanto por el monitor del caudal de salida de la regadera como por el monitor de entrada de aguas grises del sistema de recolección.



Figura 48. Botón encendido de sistema de bombeo de agua. Elaboración propia, 2025.

Las pruebas funcionales con este acercamiento al PMV, fueron realizadas entre el 28 de abril de 2025 al 11 de mayo de 2025, con el fin de tener información de consumos reales y el porcentaje recuperado en una semana. En primera instancia se midió el volumen de agua consumida en la regadera durante una semana (Tabla 15), para corroborar si es compatible con lo encontrado en la literatura y comparar con los resultados obtenidos en la encuesta de consumos (apartado A.2. de la sección de Resultados y discusión):

Tabla 15. Monitoreo de consumo de agua de la regadera. Elaboración propia, 2025.

MONITOREO DE CONSUMO DE AGUA DE LA REGADERA		
<i>Día</i>	<i>Tiempo (minutos)</i>	<i>Litros consumidos</i>
28/04/2025	10:09.4	58.89
29/04/2025	10:06.4	57.74
30/04/2025	12:50.0	72.53
01/05/2025	10:18.2	58.15
02/05/2025	09:10.1	46.66
03/05/2025	11:18.4	60.8
04/05/2025	11:07.2	60.69
PROMEDIO DIARIO	10:42.8	59.4
TOTAL SEMANAL	75 minutos	415.5

Los resultados obtenidos indican que el consumo real de agua durante la ducha depende del tipo de regadera instalada. En este estudio, se utilizó una regadera de tipo ahorrador, la cual libera un menor volumen de agua a una mayor presión. Esta característica podría explicar la diferencia observada entre los valores de consumo registrados y los reportados por la Comisión Estatal de Aguas (CEA) en 2019. No obstante, el tiempo promedio de duración de la ducha coincide tanto con los datos estadísticos proporcionados por dicha fuente como con los resultados obtenidos en las encuestas previamente aplicadas.

En los siguientes días, se realizó el monitoreo tanto de consumo de agua de la salida de la regadera como de la entrada de aguas grises hacia el contenedor especial, para conocer la diferencia en litros y estos fueron los resultados (Tabla 16):

Tabla 16. Monitoreo de aguas grises recuperadas de la ducha. Elaboración propia, 2025.

MONITOREO DE AGUAS GRISES DE LA DUCHA RECUPERADAS					
<i>Día</i>	<i>Tiempo (minutos)</i>	<i>Litros consumidos</i>	<i>Litros recuperados</i>	<i>Diferencia en litros</i>	<i>Porcentaje de captación</i>
05/05/2025	14:16.7	59.85	52.05	-7.8	87.0
06/05/2025	08:44.5	45.38	44.06	-1.32	97.1
07/05/2025	10:01.0	53.79	51.1	-2.69	95.0
08/05/2025	10:59.5	60.82	56.68	-4.14	93.2
09/05/2025	10:13.5	68.02	66.81	-1.21	98.2
10/05/2025	09:21.5	61.82	59.72	-2.1	96.6
11/05/2025	10:16.5	54.6	53.18	-1.42	97.4
PROMEDIO DIARIO	10:33.3	57.75	54.8	-2.95	94.9
TOTAL SEMANAL	63 minutos	404.28	383.6	-20.68	

En términos de funcionalidad, la tabla presenta los resultados del monitoreo de aguas grises recuperadas de la ducha durante una semana, mostrando un rendimiento altamente favorable del sistema de captación. Se registró un promedio diario de captación del **94.9%**, lo cual indica una eficiencia muy alta en la recuperación del recurso. La diferencia entre litros consumidos y recuperados fue mínima, con un promedio de solo **-2.95** litros por día, lo que demuestra que el sistema tiene pérdidas muy reducidas. Las variaciones entre los días pueden atribuirse a factores como el comportamiento del usuario, posibles residuos en la regadera o ajustes en el sistema, pero en todos los casos se mantuvo una captación por encima del **87%**. La eficiencia más baja se observó el 5 de mayo del 2025 con un **87%**, esto debido a ajustes para su utilización por ser la primera prueba, lo que también justifica la duración de la réplica; mientras que la más alta fue el 9 de mayo de 2025 con un **98.2%** como mejor rendimiento. Estos datos reflejan que incluso en condiciones variables, el sistema mantiene una operatividad constante y confiable. En la siguiente figura (Figura 49), se muestra la representación de los datos gráficamente:

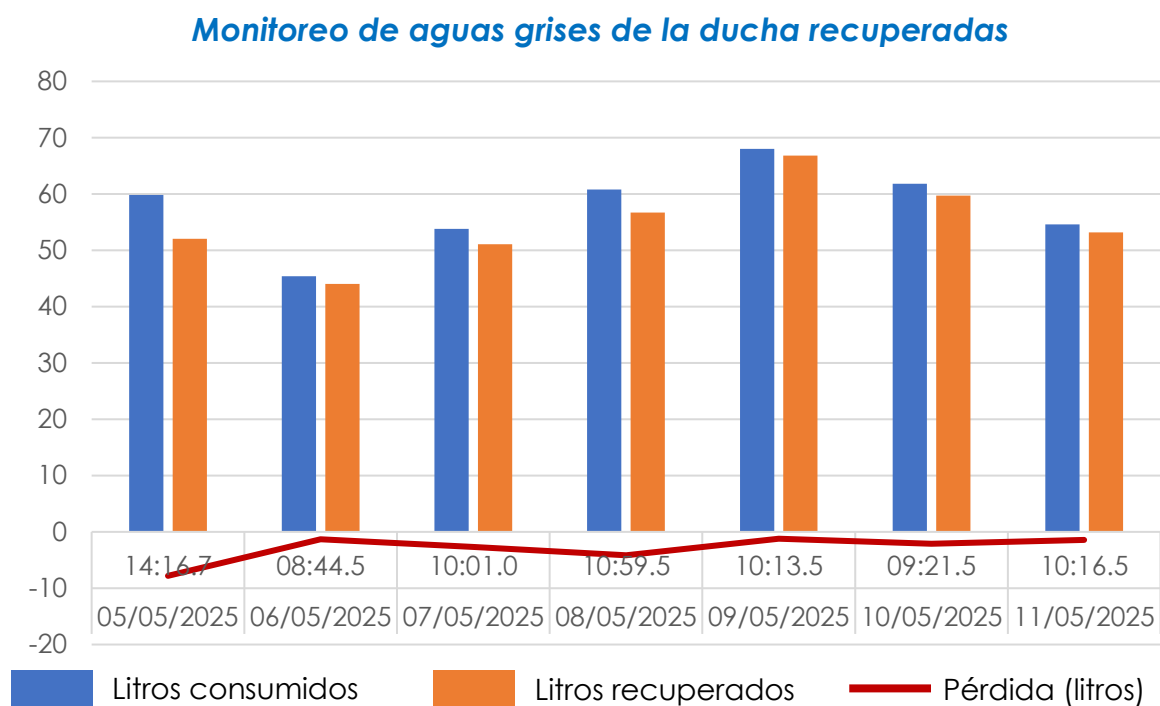


Figura 49. Monitoreo de aguas grises de la ducha recuperadas. Datos de prueba de funcionalidad con PMV. Elaboración propia, 2025.

La gráfica representa los resultados de la serie de pruebas realizadas entre el 5 y el 11 de mayo de 2025, donde se comparan los litros de agua consumidos durante la ducha, los litros efectivamente recuperados por el sistema y la pérdida registrada en cada réplica. Se observa que, en general, el volumen de agua recuperada es ligeramente inferior al consumido, manteniéndose una diferencia (pérdida) moderada a lo largo de los días, ya que la línea (roja) se encuentra en todo momento en paralelo al eje X (hacia el cero); mostrando un comportamiento constante sin incrementos drásticos. Las réplicas con mayor consumo (como la del 9 de mayo, con 68 litros) también reflejan altos niveles de recuperación, aunque persiste un margen de pérdida. Este comportamiento sugiere que, si bien el sistema logra recuperar una proporción significativa del agua utilizada, aún existen oportunidades de mejora en la eficiencia de recolección, posiblemente relacionadas con la velocidad de succión de la bomba o debido a obstrucciones parciales en las conexiones y filtros.

C.5. Valoración del PMV después de un tiempo determinado de uso: Cabe señalar que las pruebas de percepción de uso del producto se llevaron a cabo de manera simultánea a las pruebas técnicas de recuperación de aguas grises. No obstante, dichas pruebas no se realizaron con usuarios externos, sino que fueron ejecutadas directamente por la propia investigadora, quien simuló condiciones de uso doméstico con el objetivo de observar el desempeño funcional del sistema, evaluar su comodidad, limpieza, diseño y otros aspectos relacionados con la experiencia de uso. Si bien esta metodología no permite generalizar los resultados a una población más amplia, proporciona resultados preliminares sobre el potencial del sistema en contextos reales de uso, permitiendo identificar áreas de mejora para futuras iteraciones del prototipo.

Durante las pruebas, se identificaron diversas observaciones relevantes relacionadas con la usabilidad y el desempeño general del sistema:

- Se observó que es necesario permitir que el agua se acumule ligeramente en el piso antes de que la bomba comience a trasladarla al contenedor. Esta condición podría resultar incómoda para los usuarios. Asimismo, a medida que avanza la ducha, el nivel de agua en el piso tiende a incrementarse, ya que la capacidad de succión de la bomba resulta más lenta que el flujo de agua descargado por la regadera.
- Fue necesario retirar varios filtros instalados en las mangueras y conexiones hidráulicas, debido a que se obstruían con facilidad, lo cual impedía el paso adecuado del agua hacia el sistema de recolección.
- El funcionamiento de la bomba genera un nivel de ruido perceptible, lo que podría resultar intrusivo o molesto para algunos usuarios durante su operación.
- El sistema de monitoreo de flujo operó correctamente durante las primeras dos semanas; sin embargo, posteriormente se vio afectado por la acumulación de cabellos en el ventilador interno, lo que impidió su rotación y, por ende, la medición de los pulsos que determinan el volumen de agua recuperada. Esta situación evidencia la necesidad de incorporar un sistema de filtrado más eficiente, que permita el paso del agua, pero bloquee residuos orgánicos como cabellos. Asimismo, se recomienda explorar en el mercado la adquisición de un medidor de flujo de mayor calidad y

durabilidad. Aunque esta alternativa podría incrementar el costo total del sistema, aportaría mayor precisión y confiabilidad en la recolección de datos.

- En cuanto al tanque de almacenamiento vinculado al inodoro, se comprobó que no presenta inconvenientes en términos de espacio o funcionalidad del sanitario, es decir; que el contenedor y sus componentes no interfieren con la movilidad del usuario dentro de la ducha o al usar el inodoro. No obstante, se detectó que el botón del dosificador dual se tornó más rígido al accionar, una vez que el tanque se encontraba completamente lleno, debido a la presión del agua.
- Actualmente, el sistema requiere ser encendido y apagado manualmente al inicio y al finalizar la ducha. Esta operación podría optimizarse mediante la incorporación de un sistema automatizado o un sensor de flujo de agua, que active y desactive el funcionamiento de manera autónoma, mejorando así la experiencia del usuario y la eficiencia operativa del sistema.
- El contenedor no presentó ninguna fuga, lo que sugiere que las uniones fueron selladas de manera adecuada y que el material empleado resultó apropiado para su función. No obstante, se observó que, al llenarse, especialmente con agua caliente, el recipiente tendió a expandirse ligeramente debido a la dilatación natural del material.
- En términos de mantenimiento y limpieza, se pudo observar que en todo momento queda agua acumulada por debajo del nivel de la salida del dosificador dual, lo que podría provocar la proliferación de bacterias y malos olores. Por ello, se sugiere cambiar de posición la llave inferior para acceso al agua recuperada y colocarla a un lado de la salida del dosificador dual, es decir; en la base del contenedor, y no en la pared lateral del contenedor.

Estas circunstancias y observaciones son fundamentales para analizar la usabilidad real del prototipo y mejorar aspectos de ergonomía, automatización y experiencia general del usuario. Aunque en este caso la prueba fue realizada por la misma investigadora, se logró identificar oportunidades de mejora del diseño antes de una aplicación a mayor escala.

IX. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en esta investigación sobre el diseño, desarrollo e implementación de un sistema para el reúso de aguas grises en viviendas urbanas del estado de Querétaro revelan hallazgos significativos que respaldan la viabilidad técnica, económica y social de este tipo de soluciones. De acuerdo con datos de [\(CONAGUA, SEMARNAT, 2015\)](#), el uso de la regadera representa aproximadamente el **32 %** del consumo de agua doméstica. Si el **95%** del agua gris generada en la ducha se recupera con el producto y se reutiliza para alimentar las descargas del inodoro —el cual representa el **40 %** del uso de agua potable en el hogar—, sería necesario únicamente un **9.6 %** adicional de agua limpia para cubrir esta necesidad, como se representa en la Figura 50. Este dato implica una notable reducción en el consumo de agua potable para actividades no potables, coincidiendo con estudios previos que avalan la eficacia del reúso doméstico de aguas grises para disminuir el desperdicio de agua [\(Loza Delgado, 2017\)](#); [\(Maldonado López, 2021\)](#).

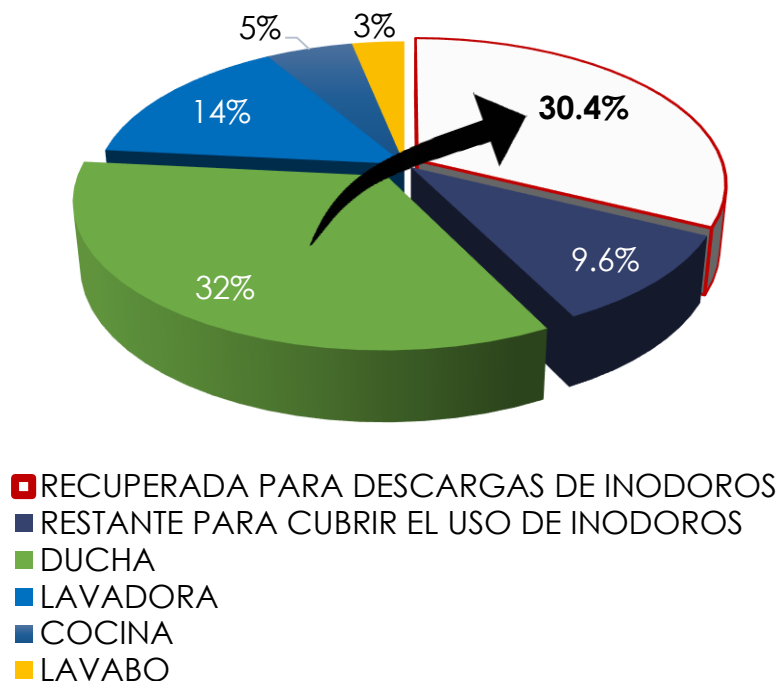


Figura 50. Representación del uso del agua recuperada con el producto. Datos de [\(CONAGUA, SEMARNAT, 2015\)](#). Elaboración propia, 2025.

La implementación del sistema diseñado, evaluado en un entorno controlado, demostró ser técnicamente funcional. Asimismo, los resultados obtenidos en las encuestas de percepción indican una buena aceptación potencial del producto, siempre y cuando se acompañe de una estrategia adecuada de información y concientización, así como de un precio accesible para los usuarios.

Las pruebas de usabilidad y funcionamiento del sistema de recuperación de aguas grises permitieron comprobar su efectividad básica, al lograr recolectar y almacenar el agua sin presentar fugas ni interferencias físicas en el entorno del usuario. No obstante, se identificaron aspectos que afectan la experiencia de uso, como la acumulación de agua en el piso antes de la activación de la bomba, el ruido generado por el sistema, la necesidad de operación manual, así como deficiencias en el filtrado y monitoreo, que comprometen la eficiencia y precisión del sistema. Estas observaciones evidencian áreas de oportunidad técnica y de diseño que, al ser atendidas, permitirán mejorar la funcionalidad, comodidad y aceptación del sistema por parte de los usuarios.

9.1. Oportunidades de mejora

1. Acumulación de agua en el piso antes de la activación de la bomba:

- Es recomendable identificar en el mercado una bomba de mayor potencia que no comprometa la seguridad de los usuarios debido al voltaje requerido, o bien, considerar la incorporación de una bomba de respuesta rápida que active el sistema de succión antes de que se produzca el desborde del agua.
- Rediseñar la trampa o entrada de agua para optimizar la captación sin necesidad de acumulación visible.

2. Obstrucción de filtros en las mangueras:

- Sustituir los filtros actuales por un sistema de filtrado de fácil mantenimiento que no reduzca significativamente el caudal.
- Reubicar los filtros en puntos más accesibles para su limpieza frecuente.

3. Ruido perceptible de la bomba:

- Evaluar el uso de bombas sumergibles silenciosas o con aislamiento acústico. Incorporar materiales amortiguadores en su base de instalación.

4. Rigidez del botón del dosificador cuando el tanque está lleno:

- Evaluar un sistema de dosificación de menor resistencia o con mecanismo de alivio de presión para facilitar su accionamiento cuando el tanque está lleno.

5. Encendido y apagado manual del sistema:

- Integrar un sensor de flujo o un temporizador que permita automatizar el encendido/apagado según el uso de la regadera, eliminando la necesidad de intervención manual.

6. Tratamiento de aguas recuperadas:

- Se puede incluir un sistema de tratamiento de agua más eficiente que el filtro de carbón activado, capaz de mejorar visualmente el agua recuperada, aunque se incrementarían los costos del producto final.

En suma, esta investigación aporta evidencia clara de que el reúso de aguas grises provenientes de la ducha es una alternativa viable para reducir el consumo de agua potable en viviendas urbanas. El sistema propuesto puede ser mejorado y adaptado a diferentes contextos urbanos, contribuyendo al desarrollo sostenible de las ciudades frente a los desafíos hídricos actuales y futuros.

X. BIBLIOGRAFÍA O REFERENCIAS

- Abd. Razi, N. (06 de 2004). Treatment of Grey Water for Toilet Flushing Use. *Universiti Teknologi PETRONAS*, 58. Obtenido de <http://utpedia.utp.edu.my/id/eprint/7821/1/2004%20-%20Treatment%20of%20Grey%20Water%20for%20Toilet%20Flushing%20Use.pdf>
- Ajlouni, E. S., & Al-Ajlouni, K. S. (07 de 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. 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
- Alternativas y Procesos de Participación Social, A. (11 de 2012). *Digestores Aerobicos*. Recuperado el 2024, de Agua para Siempre: <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2017/07/Ecotecnia-Digestores-Agua-para-Siempre.pdf>
- Anderson, I. (2009). Tecnologías Híbridas y Ecodiseño. ¿Cómo hacer Diseño Industrial en ciudades, localidades y regiones desindustrializadas o no-industrializadas de la Argentina? *Diseño en Palermo. IV Encuentro Latinoamericano de Diseño 2009*, 35-217. Obtenido de <https://dspace.palermo.edu/ojs/index.php/actas/article/view/2909/4251>
- Angelakis, A. N., Asano, T., Bahri, A., Jiménez, B. E., & Tchobanoglous, G. (11 de 05 de 2018). Reutilización del agua: de la antigüedad a los tiempos modernos y el futuro. *Front. Environ. Sci.*, 6, 26. doi:<https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00026>
- Animal Político. (15 de 08 de 2023). Querétaro es sexto lugar en estrés hídrico. *Animal Político*. Obtenido de <https://animalpolitico.com/estados/queretaro-estres-hidrico-contaminacion-urbanizacion-escasez-agua>
- AVANTIS. (2024). *Zonas de Crecimiento Residencial en México*. Obtenido de Avantis, Alta Arquitectura: <https://www.avantisaa.com/uncategorized/crecimiento->

residencial-para-2025/

- Ayming. (02 de 08 de 2021). *¿Qué son los TRL (Technology Readiness Levels) o Niveles de Madurez Tecnológica?* Obtenido de Ayming: <https://www.ayming.es/insights-y-noticias/noticias/trl-technology-readiness-levels/>
- Barney, N. (07 de 2023). *What is? Definition: Real-time monitoring*. Obtenido de TechTarget: <https://www.techtarget.com/whatis/definition/real-time-monitoring>
- Bonsiepe, G. (1978). *Diseño industrial: tecnología y dependencia*. Edicol, 1978. doi:ISBN 9684080034, 9789684080034
- Brandemia. (29 de 01 de 2024). *Brandemia*. Recuperado el 2024, de El buen diseño, según Dieter Rams: <https://brandemia.org/el-buen-diseno-segun-dieter-rams#:~:text=Seg%C3%BAAn%20Rams%2C%20un%20buen%20dise%C3%B1o,un%20buen%20dise%C3%B1o%20es%20honesto.>
- Bruseberg, A., & McDonagh Philp, D. (01 de 2002). Focus groups to support the industrial/product designer: a review based on current literature and designers' feedback. *Applied Ergonomics*, 33(1), 27-38. doi:[https://doi.org/10.1016/S0003-6870\(01\)00053-9](https://doi.org/10.1016/S0003-6870(01)00053-9)
- CEA. (2023). *Cultura del Agua, Acueducto II*. Obtenido de CEA Querétaro: <https://www.ceaqueretaro.gob.mx/cultura-del-agua/acueducto-ii/>
- CEA. (01 de 02 de 2024). *Comisión Estatal de aguas de Querétaro*. Obtenido de TARIFAS METRO A METRO A PARTIR del 01-feb-2024: <https://www.ceaqueretaro.gob.mx/wp-content/uploads/2024/01/TARIFAS-METRO-A-METRO-A-PARTIR-DEL-01-DE-FEB-2024-web.pdf>
- 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>
- CEA, C. (22 de 07 de 2019). *Mi Rutina en litros de agua*. Obtenido de <https://www.ceaqueretaro.gob.mx/en-litros-de-agua/>
- 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/

CEPACIQ. (2021). *Centro Estatal de Participación Ciudadana de Querétaro*. Obtenido de Plan Estatal de Desarrollo Querétaro 2021-2027:

<https://cepaciqueretarogob.mx/img/PDF/PEDQ.pdf>

CEUPE, C. (s.f.). *European Business School*. Obtenido de ¿Qué es un Producto?

Características, tipos y ciclo de vida: <https://www.ceupe.com/blog/producto.html>

Cho, Y.-N., & Berry, C. (28 de 08 de 2019). Understanding the effects of retailer- and manufacturer-provided. *Journal of Business Research*, 100, 73-85.

doi:<https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.03.019>

Chowdhury, R. K., Elshorbagy, W., Ghanma, M., & EL-AShkar, A. (02 de 2015).

Quantitative assessment of residential water end uses and greywater generation in the City of Al Ain. *Water Science & Technology Water Supply*, 15(1), 114–123.

Obtenido de

https://www.researchgate.net/publication/272399037_Quantitative_assessment_of_residential_water_end_uses_and_greywater_generation_in_the_City_of_Al_Ain

CONACYT, C. (2019). *os Programas Nacionales Estratégicos (PRONACES)*. México:

Secretaría de Gobernación. Obtenido de

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/448752/Programas_Nacionales_Estrategicos.pdf

CONAGUA. (12 de 2013). *Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación*. Obtenido de

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/108922/Inventario_2013.pdf

CONAGUA. (2015). *SEMARNAT*. Obtenido de 22 de marzo, Día mundial del Agua, México:

https://www.conagua.gob.mx/conagua07/contenido/documentos/carrera_agua_2015.pdf

CONAGUA. (2018). Obtenido de Estadísticas del agua en México:

https://sinav30.conagua.gob.mx:8080/PDF/EAM_2018.pdf

CONAGUA. (2021). *Estadísticas del Agua en México*. Obtenido de Comisión Nacional del Agua: https://sinav30.conagua.gob.mx:8080/PDF/EAM_2021.pdf

- CONAGUA. (2024). *SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA*. Recuperado el 2024, de
GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS:
https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuiferos_18/queretaro/DR_2201.pdf
- CONAGUA. (s.f.). *AGUAS SUBTERRÁNEAS / Acuíferos*. Obtenido de Comisión Nacional
del Agua:
<https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/sections/Edos/queretaro/queretaro.html>
- CONAGUA, C. (12 de 2021). *Inventario Nacional de Plantas Municipales de
Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación*. (D. y.
Subdirección General de Agua Potable, Editor) Obtenido de
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/759492/Inventario_2021.pdf
- Corona Lisboa, J. L. (14 de 09 de 2018). Investigación cualitativa: fundamentos
epistemológicos, teóricos y metodológicos. *Vivat Academia. Revista de
Comunicación*(144), 69–76. doi:<https://doi.org/10.15178/va.2018.144.69-76>
- Correa, P. (s.f.). Nace una solución verde para un problema de aguas grises. Colombia:
Universidad del Norte. Obtenido de
<https://www.uninorte.edu.co/web/intellecta/nace-una-solucion-verde-para-un-problema-de-aguas-grises>
- Ding, Y., Xiaojun, L., & Li, L. (15 de 04 de 2022). The Gap between Willingness and
Behavior: The Use of Recycled Water for Toilet Flushing in Beijing, China. *Water*,
14(8), 15. doi:<https://doi.org/10.3390/w14081287>
- DOF. (02 de 11 de 2015). (D. O. Federación, Productor, & Secretaría de Gobernación,
Mexico) Recuperado el 2024, de
https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5413890&fecha=02/11/2015#gs.c.tab=0
- DOF. (12 de 07 de 2019). *Diario Oficial de La Federación*. (Secretaría de Gobernación,
México) Obtenido de PLAN Nacional de Desarrollo 2019-2024:
https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5565599&fecha=12/07/2019#gs.c.tab=0
- DOF, D. (28 de 12 de 2021). *Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación
2021-2024*. (C. N. Tecnología, Ed.) Recuperado el 2024, de

https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5639501&fecha=28/12/2021#gsc.tab=0

FCEA. (19 de 02 de 2018). *Agua.org.mx*. Recuperado el 2023, de Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental A.C.:

<https://agua.org.mx/actualidad/aguas-residuales-contaminacion-en-mexico/>

FCEA, F. y. (19 de 02 de 2018). *Aguas residuales y contaminación en México*. .

Recuperado el 2023, de <https://agua.org.mx/actualidad/aguas-residuales-contaminacion-en-mexico/>

FIA, F. A. (2017). *etrinas Aboneras Aérobicas de Caja Doble del Arq. Horacio Albalat*.

Recuperado el 2024, de [https://agua.org.mx/wp-](https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2017/07/Ecotecnias-SANITARIOS-SECOS_-FAI.pdf)

[content/uploads/2017/07/Ecotecnias-SANITARIOS-SECOS_-FAI.pdf](https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2017/07/Ecotecnias-SANITARIOS-SECOS_-FAI.pdf)

Flow Loop: Circular Showers. (2025). Obtenido de LOOP - SPEND LESS, GET MORE:

<https://flow-loop.com/>

Glaser, B. G. (22 de 06 de 2014). Applying Grounded Theory. *The Grounded Theory*

Review, 13(1), 46-50. Obtenido de [https://groundedtheoryreview.com/wp-](https://groundedtheoryreview.com/wp-content/uploads/2014/06/Applying-Grounded-Theory-June-2014.pdf)

[content/uploads/2014/06/Applying-Grounded-Theory-June-2014.pdf](https://groundedtheoryreview.com/wp-content/uploads/2014/06/Applying-Grounded-Theory-June-2014.pdf)

Hodgson, B. (2012). Development of a cost effective and energy efficient treatment system

for graywater reuse for toilet flushing at the multi-residential scale. *Department of Civil and Environmental Engineering*, 114. Obtenido de

<https://www.semanticscholar.org/paper/Development-of-a-cost-effective-and-energy-system-Hodgson/d9d9816e0d87d7bdef4b3d27b98d92f43b3ed2bb>

Hydraloop. (2023). *Hydraloop*. Obtenido de Hydraloop Concealed:

<https://www.hydraloop.com/concealed>

Ilemobade, A. A., Olanrewaju, O. O., & Griffioen, M. L. (2013). Greywater reuse for toilet flushing at a university academic and residential building. *Water SA*, 39(3), 213.

Obtenido de http://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1816-79502013000300003

IMTA, I. (11 de 2012). *Humedales Artificiales*. Recuperado el 2024, de Coordinación de

Hidráulica Subcoordinación de Tecnología Apropriada e Industrial: chrome-extension://efaidnbmninnibpcapjpcglclefindmkaj/<https://agua.org.mx/wp->

- content/uploads/2017/07/Ecotecnia-humedales_MAC_IMTA.pdf
- INEGI, I. G. (2020). *Censo de Población y Vivienda*. Recuperado el 2023, de https://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/queret/territorio/div_municipal.aspx?tema=me&e=22
- James, D., Ganjian, E., Surendran, S., Ifelebuegu, A., & Kinuthia, J. (12 de 2016). Grey water reclamation for urban non-potable reuse - challenges and solutions a review. *Water and Environment Journal*, 12(6), 406 – 413. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/315705246_Grey_water_reclamation_for_urban_non-potable_reuse_-_challenges_and_solutions_a_review
- Jamil, R. (01 de 08 de 2019). Reduction in Fresh Water Consumption by Grey Water Reuse for Flushing and Irrigation: A Case Study of a Multistorey Hotel Building. *1st Conference on Sustainability in Civil Engineering*, 7. 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
- Khatun, A., & Amin, M. R. (01 de 2011). Greywater reuse: a sustainable solution for water crisis in Dhaka, Bangladesh. *4th Annual Paper Meet and 1st Civil Engineering Congress* (pág. 8). Dhaka, Bangladesh: Bangladesh University of Engineering and Technology. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/270105360_Greywater_reuse_a_sustainable_solution_for_water_crisis_in_Dhaka_Bangladesh
- Lavoué, J., Bégin, D., & Gérin, M. (2003). Technical, Occupational Health and Environmental Aspects of Metal Degreasing with Aqueous Cleaners. *Université de Montréal*, 47(6), 441–459. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/10635575_Technical_Occupational_Health_and_Environmental_Aspects_of_Metal_Degreasing_with_Aqueous_Cleaners
- Loza Delgado, P. J. (2017). Diseño de un sistema de reciclado de aguas grises y su aprovechamiento para un desarrollo sostenible en una vivienda multifamiliar de doce pisos en la ciudad de Tacna. Tacna, Perú: Escuela Profesional de ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería. Recuperado el 2023, de

<https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/341>

Mainali, B., Nga Pham, T. T., Ngo, H. H., Guo, W., Miechel, C., O'Halloran, K., . . .

Listowski, A. (01 de 10 de 2013). Vision and perception of community on the use of recycled water for household laundry: a case study in Australia. *Science of The Total Environment*, 463–464, 657-666. doi:10.1016/j.scitotenv.2013.06.008

Maldonado López, M. G. (12 de 10 de 2021). *Sistema de agua Potable y Alcantarillado Municipal (SAPAM)*. Recuperado el 2023, de “Aguas grises” como mecanismos de reducción del consumo personal del agua: <https://sapam.gob.mx/site/aguas-grises-como-mecanismos-de-reduccion-del-consumo-personal-del-agua/>

Manna Sahoo, S. (12 de 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. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/329466019_Treatment_of_Gray_Water_for_Reusing_in_Non-potable_Purpose_to_Conserve_Water_in_India

Marks, J., Cromar, N., Fallowfield, H., & Oemcke, D. (01 de 07 de 2003). Community experience and perceptions of water reuse. *Water Science and Technology: Water Supply*, 3(3), 9-16. doi:<https://doi.org/10.2166/ws.2003.0002>

Mourad, K. A., Berndtsson, J. C., & Berndtsson, R. (10 de 2011). Potential fresh water saving using greywater in toilet flushing in Syria. *Journal of Environmental Management*, 92(10), 2447-2453. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.05.004>

MSM. (15 de 05 de 2024). *Monitor de Sequía de México*. Recuperado el 26 de 05 de 2024, de Comisión Nacional del Agua: <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico>

Murcia Sarmiento, M. L., Calderón Montoya, O. G., & Díaz Ortiz, J. E. (2014). Impacto de aguas grises en propiedades físicas del suelo. *TecnoLógicas*, 17(32), 57-65. Recuperado el 2023, de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-77992014000100006#:~:text=El%20riego%20con%20aguas%20grises,de%20sodio

%20en%20el%20suelo.

- Murillo, F. J., & Martínez, G. C. (2010). Investigación etnográfica. *Universidad Autónoma de Madrid*, 15. Recuperado el 2024, de https://www.cmartinezgarrido.es/wp-content/uploads/Apuntes_Etnografica_vf.pdf
- Nolde, E. (2000). Greywater reuse systems for toilet flushing in multi-storey buildings – over ten years experience in Berlin. *Urban Water*, 1(4), 275-284. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1462075800000236>
- OMS, O., & UNICEF, F. U. (2021). Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000-2020: five years into the SDGs. *Geneva: World Health Organization (WHO) and the United Nations Children's Fund (UNICEF), 2021*. Ginebra, Suiza: WHO/UNICEF. doi: CC BY-NC-SA 3.0 IGO
- ONU, O. (2015). *Objetivos de Desarrollo sostenible*. Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- RAE. (2001). Obtenido de <https://www.rae.es/drae2001/sistema>
- Ruiz, V. (22 de 06 de 2019). Sin entregar 2 mil 389 condominios en la capital queretana. *Diario de Querétaro*. Obtenido de <https://www.diariodequeretaro.com.mx/local/sin-entregar-2-mil-389-condominios-en-la-capital-queretana-3797874.html>
- Sandoval Yoal, L., & Godínez Mena, A. C. (2015). *Programa de manejo integral de las aguas nacionales del estado de Querétaro, tratamiento de aguas residuales*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Asociación Mexicana de Ingeniería, Ciencia y Gestión Ambiental, A.C. (AMICA). Querétaro, México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). Obtenido de <http://www.amica.com.mx/issn/archivos/102.pdf>
- SEDEMA. (s.f.). *Secretaría del Medio Ambiente*. Obtenido de Gobierno de la Ciudad de México: <http://data.sedema.cdmx.gob.mx:9000/circular/glosario-definicion/Agua%20residual>
- 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
- Tagle Zamora, D., & Azamar Alonso, A. (08 de 2020). Beneficios asociados al uso de ecotecnias en comunidades rurales de Guanajuato, México. *Revibec: Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, 33(1), 112-132. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/348972762_BENEFICIOS_ASOCIADOS_AL_USO_DE_ECOTECNIAS_EN_COMUNIDADES_RURALES_DE_GUANAJUATO_MEXICO
- Teh, T.-H. (25 de 10 de 2015). Bypassing the flush, creating new resources: analysing alternative sanitation futures in London. *Local Environment - The International Journal of Justice and Sustainability*, 20(3), 335-349. doi:<https://doi.org/10.1080/13549839.2013.847409>
- Touza, R. (2017). Producto Mínimo Viable. En R. Touza, & C. E. Valenciana (Ed.), *Producto Mínimo Viable Manual 51* (Manual 51 ed., pág. 45). Valencia, Valencia, España: Centros Europeos de Empresas Innovadoras de la Comunidad Valenciana. Obtenido de <https://robertotouza.com/wp-content/uploads/2022/10/Libro-Producto-Minimo-Viable.pdf>
- Valkieser, A. (2017). *Hydraloop*. Obtenido de <https://www.hydraloop.com/about>
- Vasilachis de Gialdino, I. (05 de 2009). Los fundamentos ontológicos y epistemológicos de la investigación cualitativa. *Forum*, 10(2), 26. Obtenido de <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/112261>
- Zhu, J., Wagner, M., Cornel, P., Chen, H., & Dai, X. (01 de 03 de 2018). Feasibility of on-site grey-water reuse for toilet flushing in China. *Journal of Water Reuse and Desalination*, 8(1), 1–13. doi:<https://doi.org/10.2166/wrd.2016.086>

XI. ANEXOS

ANEXO 1

11.1. Carta de consentimiento informado



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA



CARTA DE CONFIDENCIALIDAD Y CONSENTIMIENTO INFORMADO

Santiago de Querétaro, Querétaro., a _____ de _____ del _____

Por medio de la presente, el (la) que suscribe, _____, he leído y comprendido los lineamientos del proyecto denominado **“DISEÑO DE UN SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE AGUAS GRISES DOMÉSTICAS PARA SUMINISTROS DE INODOROS EN VIVIENDA URBANA: CASO QUERÉTARO”**, que tiene como objetivo: Diseñar, desarrollar e implementar un sistema de recolección y reúso de aguas grises adaptado a viviendas urbanas de Querétaro, con el fin de evaluar su viabilidad técnica, económica y social mediante pruebas funcionales y de usabilidad.

Soy participante de manera libre, voluntaria y sin coerción alguna, bajo protesta de decir la verdad autorizo a los investigadores responsables a que la información y datos generados en dicho estudio sean utilizados únicamente con fines de investigación y que estos datos no se proporcionen a otras personas o instituciones. Así mismo, queda estipulado que mi participación será de manera anónima, por lo que la información y datos proporcionados por mí no serán relacionados con mi persona; además de tener la libertad de retirarme en cualquier momento que lo desee.

Eximo, deslindo de toda responsabilidad y estoy de acuerdo en no levantar ninguna demanda civil, penal, y reparadora del daño en contra de la Universidad Autónoma de Querétaro, de los investigadores responsables del estudio, ni de ningún empleado, profesores, estudiantes y/o voluntarios de la Institución; esto incluye a mi persona y mi familia, en caso de tener algún incidente mientras se desarrolla el estudio, dado que las variables y condiciones del mismo son adecuadas y no representan riesgo alguno.

Firma del Participante

ANEXO 2

11.2. Guía de preguntas para primera encuesta



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
Prototipo de encuesta



Santiago de Querétaro, Querétaro., a _____ de _____ del _____

SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE AGUAS GRISES DOMÉSTICAS PARA SUMINISTROS DE INODOROS EN VIVIENDA URBANA

Fraccionamiento o condominio: _____

1. ¿Cuántas personas habitan en su hogar?

De 1 a 2 ☐ ----- De 3 a 5 ☐ ----- Más de 5 ☐

2. ¿Con cuántos baños con inodoro cuenta en su hogar?

1 ☐ ----- 2 ☐ ----- 3 ☐ ----- más ☐

3. ¿De cuántos litros de agua es su inodoro?

Menos de 5 ☐ ----- De 6 a 9 (estándar) ☐ ----- Más de 9 ☐

4. ¿Cuántas veces jala la palanca del inodoro al día cada persona en su hogar?

1 ☐ ---- 2 ☐ ---- 3 ☐ ---- 4 ☐ ---- 5 ☐ ---- Más de 5 ☐ **TOTAL DIARIO:** _____

5. ¿Cuántas veces se baña cada persona a la semana? De 3 a 4 ☐ ----- De 5 a 7 ☐ ----- Más de 7 ☐

TOTAL DE LITROS SEMANALES: _____

6. ¿Qué tipo de lavadora (s) tiene?

Lavadora de carga superior ☐ ----- Lavadora de carga frontal ☐

7. ¿De qué capacidad es su lavadora en kilos de ropa?

Menos de 8 ☐ ----- De 8 a 12 (estándar) ☐ ----- Más de 12 ☐

8. ¿Cuántas veces a la semana usa su lavadora? De 1 a 2 ☐ ----- De 3 a 5 ☐ ----- Más de 5 ☐ -----

TOTAL DE LITROS SEMANALES: _____

9. ¿Le gustaría ahorrar agua potable en el inodoro de su hogar? Sí ☐ ---- No ☐ ---- ¿Por qué? _____

10. ¿Usaría un dispositivo en su baño para reutilizar el agua residual en las descargas de su inodoro?

Sí ☐ ----- No ☐ ----- ¿Por qué? _____

11. ¿Su baño cuenta con espacio para instalar este dispositivo? Sí ☐ ---- No ☐ ----

12. ¿Dónde preferiría instalar este dispositivo en su baño?

Debajo del lavamanos ☐ ----- Arriba del tanque del inodoro ☐ ----- Otro ☐ ----- ¿Dónde? _____

13. ¿Si estuviera a la venta este dispositivo, lo compraría? Sí ☐ ----- No ☐ ----- ¿Por qué? _____

ANEXO 3

11.3. Guía de preguntas para segunda encuesta



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA



ENCUESTA DE CONSUMOS DE AGUA A TRAVÉS DE GOOGLE FORMS

Encuesta de consumos personales de agua doméstica

El propósito de esta encuesta es recopilar información para comprender las necesidades de consumos diarios de agua en actividades domésticas mediante 16 preguntas de opción múltiple, con el fin de generar estrategias de gestión de recursos hídricos dentro del hogar. Tu respuesta es fundamental para ayudarnos a tomar decisiones con respecto al diseño de implementaciones que se ajusten a tus necesidades, por lo que sería contribuyente que los miembros que habitan contigo en tu vivienda, también respondan esta encuesta de manera individual para tener la información completa.

La información proporcionada será tratada de manera confidencial y anónima. Tus respuestas nunca serán vinculadas a tu nombre ni a ningún dato personal que pueda identificarte.

Tu participación en esta encuesta es completamente voluntaria, y puedes optar por retirarte en cualquier momento. Si tienes alguna pregunta antes, durante o después de la encuesta, no dudes en comunicarte con nosotros a través del correo electrónico proporcionado:

apinto20@alumnos.uaq.mx

Escribe tu correo electrónico: _____

1. ¿Qué edad tienes?

- a) Soy menor de edad
- b) De 18 a 25 años
- c) De 26 a 40 años
- d) De 41 a 55 años
- e) De 56 a 76 años
- f) Soy mayor de 76 años

2. ¿Cuántas veces te bañas a la semana?

- a) 3 a 4 veces a la semana
- b) 7 veces a la semana

- c) Más de 7 veces a la semana
3. ¿Cuánto tiempo aproximado tardas en bañarte?
- a) 5 minutos
 - b) 10 minutos
 - c) 15 minutos
 - d) Más de 15 minutos
4. ¿Cuántas veces usas el inodoro al día?
- a) De 1 a 2 veces al día
 - b) De 3 a 4 veces al día
 - c) De 5 a 6 veces al día
 - d) 7 o más veces al día
5. ¿Cuántos litros de agua utiliza tu inodoro en cada descarga?
- a) Inodoro convencional (10 a 15 litros por descarga)
 - b) Inodoro con dosificador dual (6 a 9 litros por descarga)
 - c) Inodoro ahorrador (3 a 5 litros por descarga)
 - d) Otra: _____
6. ¿Cuántas veces al día utilizas el lavabo para lavarte las manos y/o los dientes?
- a) De 1 a 2 veces al día
 - b) De 3 a 4 veces al día
 - c) De 5 a 6 veces al día
 - d) 7 o más veces al día
7. ¿Cuántas cargas de ropa lavas a la semana?
- a) De 1 a 2 cargas de ropa a la semana
 - b) De 3 a 4 cargas de ropa a la semana
 - c) 7 cargas de ropa a la semana
 - d) Más de 7 cargas de ropa a la semana
8. ¿En qué tipo de aparato lavas cada carga de ropa?
- a) Lavadora de carga superior
 - b) Lavadora de carga frontal
 - c) Lavadero con jícara o manguera
 - d) Otra: _____
9. ¿Cuántas veces lavas los trastes al día?

- a) 1 vez al día
 - b) 2 veces al día
 - c) 3 veces al día
 - d) 4 o más veces al día
10. ¿Cuánto pagan aproximadamente en servicio de agua al mes en tu vivienda?
- a) De \$100 a \$200 mensual
 - b) De \$300 a \$400 mensual
 - c) De \$500 a \$700 mensual
 - d) Más de \$800 mensual
11. ¿Cuál de estas actividades del hogar crees que necesita AGUA COMPLETAMENTE LIMPIA para poder realizarse? Puedes elegir más de una opción:
- a) Bañarse
 - b) Descargas de los inodoros
 - c) Lavarte las manos
 - d) Lavar la ropa
 - e) Quehaceres del hogar
 - f) Riego de plantas y jardines
 - g) Lavar tu automóvil
 - h) Otra: _____
12. ¿Cuál de estos métodos de ahorro de agua consideras que aplicarías en tu hogar? Puedes elegir más de una opción:
- a) Reducir el tiempo que tardas en bañarte
 - b) Recolectar y reutilizar agua proveniente de la regadera mientras te bañas
 - c) Cerrar la llave del lavabo mientras te enjabonas o te lavas los dientes
 - d) Colocar sistemas ahorradores para las descargas de los inodoros
 - e) Usar solo una cubeta y un trapo para lavar tu automóvil
 - f) Recolectar y reutilizar agua proveniente del lavado de ropa
 - g) Recolectar y reutilizar agua de lluvia
 - h) Otra: _____
13. ¿En qué actividad reutilizarías el agua recolectada de las actividades anteriores?
- a) Descargas de los inodoros
 - b) Quehaceres del hogar
 - c) Riego de plantas y jardines
 - d) Lavar tu automóvil

e) Otra: _____

14. ¿Cuántos habitantes viven contigo en tu hogar? (incluidas mascotas)

- a) Vivo solo
- b) 1 a 2 habitantes además de mí
- c) 3 a 4 habitantes además de mí
- d) 5 o más habitantes además de mí

15. ¿En qué rango de ingresos te encuentras?

- a) De \$8,500 a \$15,000 mensual
- b) De \$16,000 a \$30,000 mensual
- c) De \$31,000 a \$50,000 mensual
- d) Más de \$50,000 mensual
- e) No tengo ingresos

16. ¿Cuánto estarías dispuesto a pagar por un producto que te permita reutilizar aguas grises, con el fin de ahorrar agua potable en tu hogar?

- a) De \$5,000 a \$15,000
- b) De \$20,000 a \$30,000
- c) De \$40,000 a \$50,000
- d) Más de \$50,000

ANEXO 4

11.4. Guía de preguntas para tercera encuesta



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA



ENCUESTA DE PERCEPCIÓN A TRAVÉS DE GOOGLE FORMS

Percepción de producto para la reutilización de aguas grises de la ducha en las descargas del inodoro

El propósito de esta encuesta es recopilar información sobre la percepción de un producto de recuperación de aguas grises, con el fin de generar estrategias de gestión de recursos hídricos dentro del hogar. Tu respuesta es fundamental para ayudarnos a tomar decisiones con respecto al diseño de implementaciones que se ajusten a tus necesidades, por lo que sería contribuyente que los miembros que habitan contigo en tu vivienda, también respondan esta encuesta de manera individual para tener la información completa.

La información proporcionada será tratada de manera confidencial y anónima. Tus respuestas nunca serán vinculadas a tu nombre ni a ningún dato personal que pueda identificarte. Tu participación en esta encuesta es completamente voluntaria, y puedes optar por retirarte en cualquier momento. Si tienes alguna pregunta antes, durante o después de la encuesta, no dudes en comunicarte con nosotros a través del correo electrónico proporcionado:

apinto20@alumnos.uaq.mx

Escribe tu correo electrónico: _____

Sección 1 de 2: Observa con atención el siguiente video, puedes reproducirlo varias veces si es necesario. Al terminar, responde las siguientes preguntas con una calificación del 1 al 5:

1. ¿Qué tan complejo fue entender cómo funciona el producto?

- 1 - Muy complejo
- 2 - Relativamente complejo
- 3 - Regular
- 4 - Relativamente fácil
- 5 - Muy fácil

2. ¿Qué tan limpio te parece que es utilizar el producto?
 - 1 - Muy sucio
 - 2 - Relativamente sucio
 - 3 - Regular
 - 4 - Relativamente limpio
 - 5 - Muy limpio

3. ¿Qué tan cómodo te parece que es utilizar el sistema durante la ducha?
 - 1 - Muy incómodo
 - 2 - Relativamente incómodo
 - 3 - Regular
 - 4 - Relativamente cómodo
 - 5 - Muy cómodo

4. ¿Qué tan cómodo te parece que es utilizar el inodoro con el tanque especial?
 - 1 - Muy incómodo
 - 2 - Relativamente incómodo
 - 3 - Regular
 - 4 - Relativamente cómodo
 - 5 - Muy cómodo

5. ¿Qué tan espacioso te parece que es el cuarto de baño con el producto ya instalado?
 - 1 - Muy reducido
 - 2 - Relativamente reducido
 - 3 - Regular
 - 4 - Relativamente espacioso
 - 5 - Muy espacioso

6. ¿Qué tan bueno te pareció el diseño del producto?
 - 1 - Muy malo
 - 2 - Relativamente malo
 - 3 - Regular
 - 4 - Relativamente bueno
 - 5 - Muy bueno

7. ¿Qué tan bueno te pareció el funcionamiento del producto?

- 1 - Muy malo
- 2 - Relativamente malo
- 3 - Regular
- 4 - Relativamente bueno
- 5 - Muy bueno

8. ¿Qué tan probable es que instale el producto en su hogar para reducir el consumo de agua potable en el inodoro?

- 1 - Muy improbable
- 2 - Relativamente improbable
- 3 - Regular
- 4 - Relativamente probable
- 5 - Muy probable

9. ¿Cuánto te imaginas que cuesta el producto?

- a) De \$500 a \$4,500
- b) De \$5,000 a \$15,000
- c) De \$20,000 a \$30,000
- d) De \$40,000 a \$50,000
- e) Más de \$50,000

Sección 2 de 2: PREGUNTAS ABIERTAS

Responde con tus palabras las siguientes preguntas:

10. ¿Qué fue lo que más te gustó del producto?

11. ¿Qué fue lo que menos te gustó del producto?

12. ¿Por qué no te gustó (lo que respondiste en la pregunta anterior)?

13. ¿Qué mejorarías o cambiarías del sistema completo?

14. ¿Qué características debería tener el producto para poder instalarlo en tu hogar?

ANEXO 5

11.5. Constancia de participación en concurso DETONA, 2024.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y POSGRADO



OTORGAN LA PRESENTE

CONSTANCIA

A: GRAY CYCLE SISTEMA DE RECOLECCIÓN Y
REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES DE LA
DUCHA

POR SU PARTICIPACIÓN COMO EXPOSITOR EN LOS STANDS Y FINALISTA DE SU PROYECTO DURANTE EL EVENTO:
"MOVIMIENTO EMPRENDEDOR",

DETONA FEST 2024

QUE SE LLEVÓ A CABO DEL 28 DE AGOSTO DEL 2024, EN LA FACULTAD DE INFORMÁTICA, CAMPUS JURIQUILLA,
UAQ.

Santiago de Querétaro, Qro. a 28 de agosto de 2024.

Dr. Manuel Toledano Ayala
Secretario de Investigación,
Innovación y Posgrado




Dr. Alberto de Jesús Pastrana Palma
Director de Innovación

M.Sc. José Alejandro Vargas Díaz
Director de la Facultad de
Informática

UAQ | CRECER EN LA DIVERSIDAD

ANEXO 6

11.6. Constancia de Alumno Finalista en concurso DETONA, 2024.



OTORGAN LA PRESENTE

CONSTANCIA

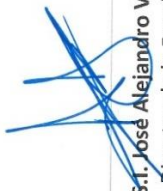


A: D.I. Alma Pinto Quiiles

POR SU PARTICIPACIÓN COMO FINALISTA DE LA CONVOCATORIA “MOVIMIENTO EMPRENDEDOR DOTONA-FEST 2024”, CON EL PROYECTO DENOMINADO “GRAY CYCLE SISTEMA DE RECOLECCIÓN Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES DE LA DUCHA”.

QUE SE LLEVÓ A CABO EL 28 DE AGOSTO DEL 2024, EN LA FACULTAD DE INFORMÁTICA, CAMPUS JURIQUILLA, UAQ.

DETONA FEST 2024

Santiago de Querétaro, Qro. a 28 de agosto de 2024.



Dr. Manuel Toledano Ayala
Secretario de Investigación,
Innovación y Posgrado

Dr. Alberto de Jesús Pastrana Palma
Director de Innovación

M.Sc. José Alejandro Vargas Díaz
Director de la Facultad de
Informática

UAQ | CRECER EN LA DIVERSIDAD