



DISEÑO DE UN PROTOTIPO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL DE
DUCHA PARA LA UTILIZACION EN LAS DESCARGAS DE INODOROS EN LOS
HOGARES DE BOGOTÁ COLOMBIA

Autora

Elsy Y. Becerra Aceros

Director

Alvaro David Arevalo Salazar

Universidad EAN

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Industrial

Bogotá, Colombia

22 de noviembre de 2024

Contenido

I. Resumen.....	1
II. Introducción	2
III. Objetivo General.....	3
IV. Justificación	4
V. Definición del problema	5
VI. Pregunta de Investigación	6
VII. Análisis de Requerimientos.....	7
Materiales:.....	8
VIII. Marco Teórico	10
Desafíos y Oportunidades en la Reutilización de Agua Residual en Bogotá.....	11
Tecnologías para la Reutilización de Aguas Grises y casos de éxito.....	13
Desafíos de aplicación sistemas de gestión de aguas grises en Bogotá	15
Normativas en la Reutilización de Aguas Residuales	17
IX. Análisis de Restricciones.....	17
1. Normatividad Colombiana.....	17
2. Tecnologías Disponibles.....	18
3. Factores Económicos y de Costo.....	19
4. Aceptación Social y Cultural.....	20
5. Infraestructura de las Viviendas	20
IX. Metodología	21
Metodología Mixta	21
Instrumento de recolección de datos: Encuesta	21
Diseño Metodológico:.....	22
X. Análisis de Resultados	23
XI. Análisis de Costos.....	37
Consumo de agua:.....	39
XII. Conclusiones.....	43
XIII. Referencias	45

I. Resumen

El proyecto tiene como objetivo principal la creación de un prototipo innovador que optimice el uso del agua residual proveniente de las duchas, permitiendo su reutilización para las descargas de los sanitarios. Se busca enfrentar la creciente demanda de agua en Bogotá, ciudad que experimenta desafíos significativos en la gestión de recursos hídricos debido a su alta densidad poblacional y variabilidad en la disponibilidad de agua (García & González, 2022).

El proyecto se centra en los hogares de Bogotá, Colombia, caracterizada por su acelerada urbanización y escasez de recursos hídricos. La eficiencia en el uso del agua es crucial en este contexto, donde la gestión adecuada del agua residual puede contribuir significativamente a la sostenibilidad ambiental y a la reducción del consumo de agua potable (Martínez, 2021). La iniciativa pretende ofrecer una solución accesible y efectiva para mejorar la reutilización del agua en contextos urbanos. El prototipo para diseñar permitirá capturar, filtrar y almacenar el agua residual de las duchas, para posteriormente reutilizarla en las descargas de los sanitarios.

II. Introducción

La gestión eficiente del agua es un desafío crítico en las ciudades en rápido crecimiento como Bogotá, Colombia, donde la disponibilidad de recursos hídricos está siendo severamente presionada por una población en constante aumento y una infraestructura que no siempre puede satisfacer la demanda (García & González, 2022). En este contexto, la reutilización de agua residual emerge como una estrategia clave para promover la sostenibilidad y reducir el consumo de agua potable.

La presente investigación se enfoca en el diseño y desarrollo de un prototipo innovador destinado a optimizar el agua residual de las duchas en los hogares Bogotanos, con el propósito de utilizar esta agua reciclada en las descargas de los sanitarios. Se busca aliviar la presión sobre los recursos hídricos, sino también ofrecer una solución práctica y económica para la gestión del agua en un entorno urbano. La reutilización del agua residual de duchas para otros usos domésticos es una técnica probada en otros países, pero aun incipientemente implementada en Colombia según (Martínez, 2021).

El dispositivo propuesto incorpora filtración y almacenamiento para asegurar que el agua residual sea tratada adecuadamente antes de su reutilización. Este enfoque tiene el potencial de transformar significativamente la gestión del agua en Bogotá, ofreciendo un modelo replicable para otras ciudades con desafíos similares en la gestión de recursos hídricos. Además, al integrar soluciones de fácil instalación y mantenimiento, el dispositivo se adapta a las condiciones específicas del entorno residencial urbano, promoviendo así su adopción masiva (Ríos, 2023).

III. **Objetivo General**

Diseñar un prototipo para la optimización del agua residual de la ducha en los hogares de Bogotá, Colombia, que permita su reutilización en las descargas de los sanitarios, contribuyendo así a la sostenibilidad hídrica de la ciudad.

Objetivos Específicos

1. Diseñar un sistema de captación y filtración efectivo que garantice la purificación del agua residual de la ducha, eliminando contaminantes y asegurando su calidad para su reutilización en descargas de sanitarios.
2. Evaluar la viabilidad técnica y económica del dispositivo, para identificar su rendimiento y el ahorro de agua que puede generar.
3. Establecer una proyección de impacto ambiental que permitan medir la reducción en el consumo de agua potable y el aumento en la reutilización de agua residual, contribuyendo a la sostenibilidad de los recursos hídricos en Bogotá.

IV. Justificación

La creciente urbanización y el aumento poblacional en Bogotá, Colombia, han generado una presión significativa sobre los recursos hídricos de la ciudad. Este fenómeno ha llevado a la escasez de agua potable y a un aumento en la necesidad de soluciones innovadoras para la gestión del agua. Según García y González (2022), el abastecimiento de agua en Bogotá enfrenta desafíos críticos, y es fundamental adoptar medidas que fomenten el uso sostenible del agua. En este contexto, la reutilización de agua residual se presenta como una alternativa viable y necesaria.

El agua residual de las duchas representa una porción significativa del consumo de agua en los hogares. De acuerdo con Martínez (2021), implementar tecnologías que permitan la reutilización de esta agua puede reducir considerablemente la demanda de agua potable, al tiempo que disminuye la carga sobre los sistemas de tratamiento de aguas residuales. Además, Ríos (2023) destaca que el tratamiento y reutilización del agua residual no solo contribuyen a la sostenibilidad hídrica, sino que también pueden tener beneficios económicos al reducir las facturas de agua para los hogares.

La falta de conciencia sobre la gestión del agua y su reutilización es un obstáculo importante. Por ello, promover una cultura de uso responsable del agua es clave para la adopción de tecnologías sostenibles es esencial desarrollar un plan de educación que informe a los ciudadanos sobre los beneficios de estas prácticas (Cárdenas, 2022).

Finalmente, la implementación de este proyecto no solo atenderá las necesidades actuales de gestión del agua en Bogotá, sino que también servirá como modelo para otras ciudades en situaciones similares. La adopción de un prototipo de reutilización de agua residual puede tener un impacto significativo en la conservación de recursos hídricos a nivel urbano (Salazar, 2020).

V. Definición del problema

Bogotá, la capital de Colombia, enfrenta un creciente desafío en cuanto a la gestión y disponibilidad del recurso hídrico. A pesar de contar con fuentes naturales como paramos, ríos y embalses que abastecen de agua la ciudad ha experimentado problemas de escasez de agua, exacerbados por el crecimiento poblacional, el cambio climático y la contaminación. Según el Departamento Administrativo de Planeación Distrital (2019), el consumo promedio de agua por persona en Bogotá supera los 160 litros diarios, lo que excede los niveles sostenibles establecidos por expertos en gestión hídrica, quienes advierten que esta tasa de consumo podría poner en riesgo el abastecimiento en el futuro cercano. Adicionalmente, en muchas zonas residenciales, la infraestructura no es suficiente para garantizar un acceso constante y adecuado al agua, lo que ha incrementado la preocupación por la sostenibilidad y la gestión eficiente de este recurso en la ciudad. Ante este panorama, se hace urgente implementar iniciativas que promuevan el ahorro y la reutilización del agua en los hogares Bogotanos, especialmente en sectores que tienen un alto consumo de agua potable, como es el caso de los sistemas de descarga de inodoros y las bañeras.

En este contexto, uno de los problemas más significativos es la gestión inadecuada de las aguas grises, que comprenden el agua residual proveniente de duchas, lavamanos y lavaderos. Estas aguas, aunque no son aptas para consumo humano, pueden ser reutilizadas de manera eficiente para tareas como la descarga de inodoros, lo que representa una oportunidad crucial para reducir la demanda de agua potable en los hogares. Según García et al. (2020), las aguas grises representan aproximadamente el 50-80% del total de aguas residuales generadas en los hogares, pero una gran parte de ellas se desperdicia sin ser tratada o reutilizada. A pesar de que su tratamiento y reutilización podrían aliviar la presión sobre los sistemas de abastecimiento de agua potable, la

falta de infraestructura adecuada para su tratamiento y reutilización en los hogares hace que estas aguas se pierdan, contribuyendo al agotamiento de las fuentes de agua potable.

El desperdicio de aguas grises tiene un impacto directo tanto en la economía de los hogares como en el medio ambiente. En primer lugar, el uso ineficiente de agua potable para actividades no esenciales, como la descarga de inodoros, genera un aumento en los costos para los residentes de Bogotá. Según un estudio de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (2022), la escasez de agua y el desperdicio en la ciudad contribuyen al incremento de tarifas de agua, afectando negativamente a las familias más vulnerables y también estratos socioeconómicos altos quienes son los que pagan más alto el servicio de agua en la ciudad de Bogotá según la EMAB. Además, la presión sobre los recursos hídricos de la región incrementa la probabilidad de enfrentar períodos de racionamiento de agua, lo que afecta a toda la comunidad. En términos ambientales, la falta de gestión adecuada de las aguas residuales contribuye al deterioro de los ecosistemas acuáticos locales, lo que puede generar efectos a largo plazo en la biodiversidad y la calidad del agua en la región.

Ante este panorama de escasez hídrica y el desperdicio de aguas grises, surge la necesidad de buscar soluciones tecnológicas que permitan aprovechar este recurso de manera más eficiente en los hogares. En este sentido, el diseño y desarrollo de un prototipo para la optimización del agua residual de la ducha para su utilización en las descargas de inodoros puede representar una solución innovadora y eficaz para mitigar la crisis del agua en Bogotá. El presente proyecto busca responder a la problemática mediante la creación de un dispositivo eficiente y económico que pueda ser implementado de forma sencilla en los hogares, contribuyendo así al ahorro de agua y al bienestar de la comunidad.

VI. Pregunta de Investigación

VII. Análisis de Requerimientos

El desarrollo del presente proyecto de ingeniería inicia desde la identificación y cumplimiento de los requerimientos funcionales y no funcionales en el diseño que debe llevar el prototipo para la optimización del agua residual, se identificaron los siguientes requerimientos esenciales para el desarrollo del prototipo:

Requerimiento Funcionales

Captación y Filtración Eficaz

El dispositivo debe ser capaz de captar, filtrar y purificar el agua residual de manera eficiente, eliminando contaminantes y asegurando su calidad para su reutilización en las descargas de los sanitarios (Pérez & Torres, 2020).

Sistema de Almacenamiento

Debe incluir un sistema de almacenamiento que permita la recolección del agua residual tratada, optimizando el espacio disponible en el hogar y asegurando un flujo adecuado hacia los sanitarios (Ramírez, 2022).

Facilidad de Instalación y Mantenimiento

El diseño debe ser de fácil instalación sencilla y un mantenimiento mínimo, lo que facilitará su adopción por parte de los usuarios (González & Ríos, 2021).

Monitoreo de Calidad

Se debe incluir un sistema de monitoreo que permita a los usuarios verificar la calidad del agua tratada, asegurando su confianza en el dispositivo (Molina, 2023).

2. Funcionamiento del Sistema

a) Recolección de Aguas Grises:

El agua de la ducha se recolecta en un tanque de almacenamiento. Este tanque está equipado con un sistema de filtración para eliminar sólidos.

b) Tratamiento:

El agua recolectada pasa por un sistema de tratamiento, que puede incluir filtración y desinfección, para garantizar que sea segura para su reutilización.

c) Alimentación del Tanque del Inodoro:

a) La bomba se activa automáticamente cuando el nivel de agua en el tanque del inodoro cae por debajo de un cierto punto, una válvula de flotador en el tanque del inodoro regula el flujo de agua, permitiendo que el agua tratada entre en el tanque hasta que alcance el nivel adecuado.

b) La descarga del inodoro se efectúa cuando se acciona el mecanismo de descarga del inodoro, el agua almacenada en el tanque se libera a través de una válvula de descarga, limpiando la taza del inodoro.

Materiales:

- **Filtros de Agua**

Tipo: Filtro tipo reja para eliminar los macroelementos provenientes el agua residual.

Proveedor: Proveedores que ofrezcan filtros certificados y de calidad resistente a la corrosión.

- **Tanque de Almacenamiento**

Tipo: Para el prototipo se reutiliza un tanque de polietileno de baja densidad usado en agua embotellada para consumo humano.

Capacidad: Para el prototipo se utiliza una capacidad de almacenamiento de 6 litros.

Proveedor: Para el prototipo se compró un contenedor de agua embotellada para consumo de 6 litros.

Bombas de Transferencia (entrada y salida de agua)

Tipo: Bomba sumergible o de presión ideal para recirculación del agua.

Características: Debe ser eficiente y tener capacidad para bombear aguas residuales hasta máximo 1 metro, 12 Watts para el prototipo.

Proveedor: Para el prototipo se adquirió una bomba para fuentes y acuarios.

- **Sistema de Tuberías**

Material: Tuberías de PVC o polietileno, resistentes a la corrosión.

Diámetro: 1 cm de diámetro adecuado para el flujo requerido para el prototipo.

Proveedor: Distribuidores de tuberías plásticas para sistemas de plomería.

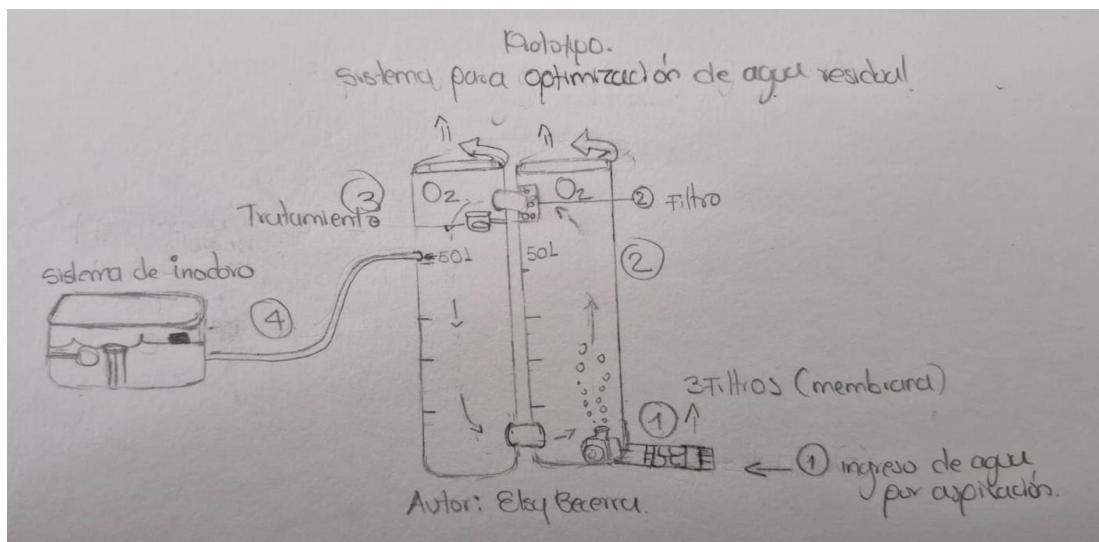
- **Válvulas y Conexiones**

Tipo: Válvulas de cierre y conexiones necesarias para el sistema para limpieza desagüe del dispositivo.

Proveedor: Proveedores de accesorios para plomería.

- **Bosquejo:**

Imagen 1. Bosquejo elaborado a mano alzada del prototipo para gestión de agua residual.



Fuente: Elaboración propia

Requerimientos no funcionales

1. Sostenibilidad

El dispositivo está diseñado utilizando materiales que sean sostenibles y amigables con el medio ambiente (Salazar, 2020).

2. Proveedores y cadena de suministro

Los proveedores se escogerán de acuerdo con la evaluación de los siguientes requisitos mínimos:

- a) Proveedores con experiencia en el suministro de tratamiento de aguas grises.
- b) Verificación que los materiales y sistemas cumplan con normativas locales y estándares de calidad.
- c) Evaluación de precios competitivos y la capacidad de los proveedores para cumplir con los plazos establecidos.

3. **Accesibilidad del prototipo al mercado:** Se debe garantizar que el costo de producción y mantenimiento del dispositivo sea accesible económicamente para los hogares en Bogotá, promoviendo su adopción generalizada (Córdova, 2021).

VIII. Marco Teórico

Reutilización de Aguas Residuales como Estrategia para la Gestión Sostenible del Agua en Bogotá

La reutilización del agua residual se ha convertido en una estrategia clave para abordar la creciente crisis hídrica en diversas áreas urbanas del mundo. En ciudades como Bogotá, donde el acceso al agua potable se enfrenta a múltiples desafíos, la gestión eficiente del recurso hídrico es crucial para garantizar la sostenibilidad y el bienestar de sus habitantes. Según la Organización Mundial de la Salud (2017), "la reutilización del agua puede contribuir significativamente a la seguridad hídrica y a la sostenibilidad ambiental, especialmente en regiones donde los recursos hídricos son limitados" (p. 23).

La implementación de tecnologías que optimicen el uso del agua residual, como dispositivos diseñados para la reutilización del agua de la ducha en las descargas de los inodoros, puede ser una solución innovadora y efectiva. En este contexto, la investigación de López et al. (2020) destaca que "las soluciones tecnológicas en la gestión del agua pueden transformar significativamente el uso de este recurso en los hogares, promoviendo prácticas sostenibles que mitiguen el impacto ambiental" (p. 45). Este proyecto busca explorar cómo un dispositivo específico para la reutilización del agua residual de la ducha puede contribuir a la sostenibilidad hídrica en los hogares de Bogotá, alineándose con las necesidades locales y fomentando una cultura de conservación del agua.

La situación hídrica en Bogotá es crítica, dado que la ciudad enfrenta un creciente desbalance entre la oferta y la demanda de agua. Según el Acueducto de Bogotá (2022), el consumo promedio de agua por habitante es de aproximadamente 145 litros diarios, mientras que el suministro disponible se ha visto afectado por la urbanización acelerada y el cambio climático. Se estima que cerca del 30% de la población capitalina carece de acceso confiable a agua potable, lo que pone en riesgo la salud y el bienestar de miles de personas (DANE, 2021).

La escasez de agua en Bogotá no solo es un problema de recursos, sino que también se ve exacerbada por factores demográficos. La población de Bogotá ha crecido a un ritmo acelerado, alcanzando más de 7.5 millones de habitantes en 2023 (DANE, 2023). Este aumento poblacional, combinado con la falta de infraestructura adecuada, genera un estrés significativo sobre los sistemas de abastecimiento de agua, complicando aún más la situación hídrica de la ciudad.

Desafíos y Oportunidades en la Reutilización de Agua Residual en Bogotá

Los retos relacionados con la gestión del agua en Bogotá son complejos e interdependientes. El cambio climático ha intensificado fenómenos como sequías e inundaciones, afectando los ciclos

hidrológicos y, por ende, la disponibilidad de agua. Según el estudio de Rojas et al. (2021), "la variabilidad climática ha llevado a una disminución en las reservas de agua, lo que agrava la situación de escasez que enfrenta la ciudad" (p. 78). Además, la urbanización descontrolada y la falta de planificación adecuada han contribuido a la contaminación de fuentes hídricas, complicando aún más el acceso a agua potable de calidad.

Por lo tanto, es esencial abordar estos retos a través de soluciones innovadoras que permitan una gestión sostenible del agua, como la implementación de dispositivos de reutilización de agua residual. Estos enfoques no solo ayudan a mitigar la escasez de agua, sino que también promueven la conservación del recurso y mejoran la resiliencia de la ciudad ante el cambio climático.

La reutilización de agua se refiere al proceso de aprovechar aguas residuales tratadas para usos no potables, como riego, limpieza o descargas de inodoros. Este enfoque es especialmente relevante en el contexto doméstico, donde las familias pueden reducir su dependencia del agua potable al reutilizar el agua generada en sus actividades diarias. Según la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, 2019), "la reutilización de agua puede ser una solución efectiva para la escasez de agua, permitiendo a los hogares disminuir el consumo de agua potable" (p. 12).

Es importante distinguir entre los tipos de aguas residuales. Las aguas grises provienen de fuentes como duchas, lavamanos y lavadoras, y generalmente son menos contaminadas que las aguas negras, que provienen de inodoros y contienen desechos humanos. Según la Organización Mundial de la Salud (2021), "la reutilización de aguas grises, si se realiza adecuadamente, puede contribuir a una gestión más sostenible del agua" (p. 34).

La reutilización de aguas grises ofrece múltiples beneficios. En primer lugar, ayuda a disminuir el volumen de aguas residuales que requieren tratamiento, lo que puede reducir la carga sobre las

plantas de tratamiento de agua. Además, esta práctica permite a los hogares ahorrar en costos de agua. Según un estudio de González y Martínez (2020), "el uso de aguas grises para la descarga de inodoros puede reducir el consumo de agua potable en hasta un 30%" (p. 55).

Desde una perspectiva ambiental, la reutilización de aguas grises tiene un impacto positivo significativo. Al disminuir la dependencia de agua potable, se reduce la presión sobre los recursos hídricos naturales, contribuyendo a la conservación del agua. La EPA (2019) señala que "la reutilización de agua puede disminuir la demanda de agua potable y, al mismo tiempo, reducir los residuos generados en el sistema de saneamiento" (p. 14).

Finalmente, el ahorro económico asociado a la reutilización de aguas residuales es considerable. Las familias pueden ver una reducción significativa en sus facturas de agua, lo que se traduce en un alivio financiero. Según la investigación de López y Romero (2021), "las tecnologías de reutilización de aguas grises no solo son beneficiosas para el medio ambiente, sino que también pueden generar ahorros de hasta un 20% en los costos de agua para los hogares" (p. 90).

Tecnologías para la Reutilización de Aguas Grises y casos de éxito.

Los sistemas de tratamiento de aguas grises son tecnologías diseñadas para purificar el agua proveniente de fuentes como duchas, lavamanos y lavadoras, permitiendo su reutilización en diversas aplicaciones no potables. Estas tecnologías varían desde soluciones simples, como sistemas de filtración, hasta tecnologías más complejas que involucran procesos de tratamiento biológico y químico. Según la investigación de Vázquez y Ramírez (2020), "los sistemas de tratamiento de aguas grises pueden incluir filtros de arena, sistemas de separación de sólidos y tecnologías de tratamiento biológico que permiten un uso seguro del agua reciclada" (p. 100).

Estos sistemas no solo mejoran la calidad del agua, sino que también son adaptables a diferentes contextos urbanos, lo que los convierte en una opción viable para la implementación en hogares y

edificios. Un ejemplo es el uso de biofiltros, que combinan procesos físicos y biológicos para limpiar el agua antes de su reutilización. Según el estudio de Martínez et al. (2021), "los biofiltros han demostrado ser efectivos en la eliminación de contaminantes, logrando una calidad de agua apta para usos como la irrigación" (p. 72).

A nivel mundial, existen varios ejemplos exitosos de dispositivos que han logrado optimizar la reutilización de aguas grises. En Australia, por ejemplo, se ha implementado el sistema "WaterReuse", que permite la recolección y tratamiento de aguas grises en viviendas unifamiliares, logrando una reducción del 50% en el consumo de agua potable (Smith & Jones, 2019, p. 45). Este sistema ha sido replicado en diversas ciudades australianas, demostrando su eficacia y sostenibilidad.

En Europa, el "Greywater Recycling System" desarrollado en Alemania ha sido un modelo de referencia. Este dispositivo no solo recicla agua de duchas y lavamanos, sino que también integra un sistema de control que asegura la calidad del agua tratada. Según un informe de la Agencia Alemana de Medio Ambiente (2020), "este sistema ha permitido a los hogares reducir el consumo de agua potable en un 40%, evidenciando los beneficios de la reutilización del agua en entornos urbanos" (p. 18).

Los sistemas de filtración son fundamentales en el tratamiento de aguas residuales, especialmente para la eliminación de sólidos y contaminantes. Existen diferentes tipos de filtros, incluyendo filtros de arena, carbón activado y membranas. Según Brown (2018), "los sistemas de filtración pueden reducir significativamente la carga de contaminantes en el agua residual, haciendo que esta sea apta para usos no potables, como riego y descargas de inodoros" (p. 115). La implementación de filtros adecuados puede optimizar la calidad del agua tratada y, por ende, su reutilización en el hogar.

El almacenamiento eficiente del agua tratada es otro componente clave en los sistemas de reutilización. Los tanques de almacenamiento deben ser diseñados para mantener la calidad del agua y prevenir la proliferación de microorganismos. Williams (2021) señala que "la capacidad de almacenamiento debe ser suficiente para cubrir las necesidades diarias del hogar, lo que implica un diseño que considere la variabilidad en el consumo de agua" (p. 201). Un buen sistema de almacenamiento asegura que el agua reciclada esté disponible cuando se necesite, maximizando así su uso.

Además de los sistemas de filtración y almacenamiento, las tecnologías de tratamiento innovadoras, como la filtración por membranas y los sistemas de tratamiento biológico, están ganando popularidad. Estos tratamientos avanzados pueden eliminar contaminantes difíciles de tratar mediante métodos convencionales. Por ejemplo, la filtración por membranas permite la separación de partículas muy pequeñas, mejorando significativamente la calidad del agua. Según un estudio de Martínez y Gómez (2020), "los sistemas de tratamiento innovadores ofrecen una eficacia superior, logrando estándares de calidad del agua que cumplen con las normativas más estrictas" (p. 90).

Desafíos de aplicación sistemas de gestión de aguas grises en Bogotá

En el contexto residencial, la implementación de estas tecnologías no solo proporciona soluciones efectivas para la reutilización de agua residual, sino que también fomenta un cambio en la cultura del uso del agua, promoviendo prácticas más sostenibles y responsables.

La percepción de la reutilización de aguas grises en Bogotá es variada y está influenciada por múltiples factores, como el nivel de educación, la información disponible y las experiencias previas de los ciudadanos. En general, la aceptación de estas tecnologías ha ido en aumento, especialmente entre aquellos que son más conscientes de la escasez hídrica que enfrenta la ciudad.

Según un estudio realizado por Martínez y Pérez (2021), "los bogotanos con mayor conocimiento sobre la crisis del agua tienden a ser más receptivos a la implementación de sistemas de reutilización, viendo en ellos una solución viable para la sostenibilidad" (p. 55).

Sin embargo, persisten barreras significativas que pueden obstaculizar su adopción. Factores como la desconfianza en la calidad del agua tratada y la falta de información clara sobre los beneficios y la operación de estos sistemas siguen siendo preocupaciones comunes. Ramírez et al. (2022) indican que "la educación y las campañas de sensibilización son esenciales para cambiar la percepción negativa hacia la reutilización de aguas grises y promover su aceptación en distintos estratos socioeconómicos" (p. 88).

Los sistemas de reutilización de aguas grises tienen el potencial de ofrecer beneficios significativos a las comunidades de bajos recursos en Bogotá, donde el acceso al agua potable es un desafío constante. La implementación de estas tecnologías no solo podría mejorar la disponibilidad de agua para usos no potables, sino que también podría aliviar la presión financiera que enfrentan estas familias. Según González (2022), "la reutilización de aguas grises puede ayudar a las familias en localidades vulnerables a reducir sus facturas de agua, permitiéndoles destinar esos recursos a otras necesidades básicas" (p. 41).

En localidades como Ciudad Bolívar y Usme, donde la escasez de agua es más aguda, los beneficios de estos sistemas son aún más evidentes. Un estudio de López y Morales (2023) señala que "en estas áreas, la adopción de tecnologías de reutilización ha permitido mejorar la calidad de vida de los residentes, al proporcionarles una fuente alternativa de agua para riego y otros usos, fomentando así prácticas sostenibles" (p. 70).

Las normatividad local y nacional es fundamental para regular la reutilización del agua en Colombia, asegurando que los sistemas implementados cumplan con los estándares legales y

ambientales necesarios. Estas regulaciones buscan proteger la salud pública y el medio ambiente al establecer requisitos específicos para el tratamiento y la calidad del agua reciclada.

Normativas en la Reutilización de Aguas Residuales

En Colombia, la Ley 373 de 1997 es uno de los marcos regulatorios más importantes que promueve el uso eficiente del agua y la conservación de los recursos hídricos. Esta ley establece lineamientos para la gestión integral del recurso hídrico, lo que incluye la reutilización de aguas residuales tratadas. Según García (2021), "la Ley 373 sienta las bases para un manejo sostenible del agua, orientando políticas hacia la reutilización y el tratamiento adecuado de aguas residuales" (p. 34).

Adicionalmente, el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio ha emitido el "Reglamento Técnico del Agua Potable y Saneamiento Básico" (Resolución 330 de 2017), que especifica los requisitos técnicos y de calidad que deben cumplir los sistemas de reutilización de agua. López (2022) enfatiza que "este reglamento es crucial para garantizar que los sistemas de reutilización no solo sean efectivos, sino que también protejan la salud de los usuarios y el medio ambiente" (p. 78).

Las anteriores normativas permiten un marco regulatorio que apoya la implementación segura y efectiva de tecnologías en reutilización de agua en Colombia, promoviendo prácticas sostenibles que son esenciales en un contexto de creciente escasez hídrica como la que se agudiza en 2024 para la ciudad de Bogotá.

IX. Análisis de Restricciones

1. Normatividad Colombiana

En Colombia, la reutilización de aguas residuales, incluidas las aguas grises, está regulada por diversas leyes y normativas. Es crucial que cualquier prototipo cumpla con los estándares de

calidad y tratamiento establecidos por las autoridades para garantizar la seguridad y el bienestar de los usuarios, así como la protección del medio ambiente.

Ley 373 de 1997: Esta ley promueve la conservación del recurso hídrico y establece las bases para el manejo eficiente del agua en el país. A pesar de ser un marco general, la ley establece la necesidad de optimizar el uso del agua, lo que es relevante para los sistemas de reutilización de aguas grises. El cumplimiento de esta ley es esencial para asegurar que los sistemas de reutilización de aguas grises sean efectivos y seguros (García, 2021).

Resolución 330 de 2017 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio: Esta resolución establece los requisitos técnicos para los sistemas de reutilización de agua, incluyendo las aguas grises. Es fundamental que el prototipo cumpla con estos lineamientos, que incluyen el tratamiento adecuado del agua para garantizar su calidad, así como las normas para la instalación y mantenimiento de los sistemas (López, 2022).

Normas técnicas del Ministerio de Salud: Existen también normas que regulan la calidad del agua reutilizada para evitar riesgos sanitarios. Los prototipos deben garantizar que el agua tratada cumpla con los estándares establecidos para usos no potables, como la descarga de inodoros (Ministerio de Salud, 2020).

2. Tecnologías Disponibles

La reutilización de aguas grises para la descarga de inodoros requiere un sistema de captación, filtración y almacenamiento eficiente. Existen varias tecnologías disponibles, pero su viabilidad depende de varios factores, como el costo, la efectividad y la facilidad de instalación.

Sistemas de filtración: Los filtros de arena, carbón activado y membranas son tecnologías que permiten depurar las aguas grises de contaminantes sólidos y químicos. La implementación de

estas tecnologías es esencial para garantizar que el agua tratada sea segura para su uso en inodoros (Brown, 2018).

Sistemas de tratamiento biológico: Los sistemas de biofiltros y otras tecnologías biológicas pueden ser una opción adecuada para purificar el agua sin necesidad de productos químicos costosos. Estos sistemas pueden ser más amigables con el medio ambiente y pueden reducir el impacto ambiental del tratamiento de aguas residuales (Vázquez & Ramírez, 2020).

Sistemas de almacenamiento: El almacenamiento adecuado del agua tratada es esencial para garantizar su disponibilidad cuando se necesite. El diseño de tanques de almacenamiento eficientes y seguros es una restricción importante que debe ser considerada, especialmente para evitar la proliferación de microorganismos (Williams, 2021).

3. Factores Económicos y de Costo

Los costos asociados con la implementación de tecnologías de reutilización de aguas grises pueden ser una barrera importante, especialmente en un contexto donde los hogares en Bogotá tienen una gran diversidad de niveles socioeconómicos. El prototipo debe ser económicamente viable tanto en términos de instalación como de mantenimiento.

Costo de las tecnologías: Las tecnologías de filtración, tratamiento biológico y almacenamiento pueden tener costos de instalación relativamente altos, lo que puede ser una barrera para su adopción masiva. El diseño del prototipo debe buscar soluciones que minimicen estos costos sin comprometer la eficiencia del sistema (González & Martínez, 2020).

Ahorro en costos de agua: Aunque la implementación de estos sistemas puede implicar una inversión inicial, los hogares pueden experimentar un ahorro significativo en sus facturas de agua a largo plazo. Según González y Martínez (2020), el uso de aguas grises para la descarga de inodoros puede reducir hasta un 30% el consumo de agua potable.

4. Aceptación Social y Cultural

Una de las restricciones más relevantes es la aceptación social de la reutilización de aguas grises. La percepción pública sobre la calidad del agua tratada y la falta de conocimiento sobre los beneficios de estas tecnologías pueden ser barreras significativas.

Percepción del riesgo sanitario: La desconfianza en la calidad del agua tratada y la falta de educación sobre la reutilización de aguas residuales pueden generar resistencias en los hogares. Según Ramírez et al. (2022), es esencial desarrollar campañas de sensibilización para cambiar la percepción negativa sobre el uso de aguas grises en contextos domésticos.

Educación y cultura de ahorro de agua: Para que el prototipo sea exitoso, es fundamental fomentar una cultura de conservación del agua y promover la educación sobre los beneficios de la reutilización de aguas residuales en la población. Esto incluye tanto la formación técnica como la promoción de prácticas sostenibles (Cárdenas, 2022).

5. Infraestructura de las Viviendas

La infraestructura existente en los hogares de Bogotá también puede ser una restricción importante. Muchos hogares no están preparados para instalar sistemas de reutilización de aguas grises debido a la falta de espacio o la incompatibilidad con las instalaciones actuales.

Adaptabilidad a viviendas existentes: El diseño del prototipo debe ser lo suficientemente flexible y adaptable para poder instalarse en diferentes tipos de viviendas, desde casas unifamiliares hasta edificios de apartamentos. La compatibilidad con la infraestructura preexistente es un factor clave para la adopción masiva de estos sistemas. Sin embargo para este proyecto se contempla que el diseño estará pensado para casas que cuentan con áreas grandes para la instalación de un sistema de recirculación de 100 litros de agua diario.

IX. Metodología

Para el presente proyecto sobre la optimización del agua residual en Bogotá, es importante considerar una metodología que abarque aspectos cuantitativos como cualitativos ya que ambos pueden dar resultados acerca de las preferencias del mercado con relación a la aceptación de este tipo de dispositivos. Por lo anterior se consideró que una metodología mixta es la ideal para el tipo de desarrollo que se pretende desarrollar en este proyecto.

Metodología Mixta

Esta metodología combina datos cuantitativos y cualitativos para obtener una visión más completa del impacto que tendría el prototipo en el mercado objetivo para gestión de aguas grises.

Instrumento de recolección de datos: Encuesta

Tamaño de la muestra: 160 muestras

Para este proyecto, se empleará una metodología de muestreo por conveniencia. El muestreo por conveniencia es una técnica no probabilística en la que los participantes son seleccionados según su accesibilidad y proximidad al investigador, lo cual facilita el proceso de recolección de datos de manera eficiente y menos costosa (Etikan, Musa, & Alkassim, 2016). Debido a la disponibilidad de una población específica, que es el barrio Niza Antigua, localizado en Bogotá, Colombia, Niza Antigua, conocida también como Niza Sur, es un barrio residencial en Bogotá ubicado entre las calles 118 y 127, diseñado en los años 60 por el arquitecto Willy Drews. Este barrio cuenta con 985 viviendas distribuidas en 55 manzanas, amplias zonas verdes y jardines abiertos, lo que fomenta la convivencia y el contacto con la naturaleza. Declarado patrimonio cultural en 2012 destaca por su diseño arquitectónico único y su contribución a la memoria urbana de la ciudad (Ochoa, 2020; Álvarez, 2018). Dado que el número de casas en el sector es reducido,

con menos de 1,000 viviendas, lo que facilita la recopilación de datos y la implementación del prototipo a una escala manejable y controlada.

La encuesta se realizará por unidad residencial, ya que se emite un único recibo de pago por el servicio de agua por unidad residencial tipo casa lo que hace mas objetivo el resultado de la misma encuesta, al ser un barrio exclusivo, residencial y pequeño.

Diseño Metodológico:

En el diseño de las preguntas de la encuesta se tendrán encuesta estas dos fases tanto cuantitativa como cualitativa para determinar las preferencias del mercado.

Tipo de variable 1. Cuantitativa

Comienza con la recopilación de datos cuantitativos mediante preguntas donde se indaga demografía, salarios devengados, metros cúbicos de agua gastados mensualmente, tiempo en el que la llave de la ducha está abierta, etc. A través de una encuesta a ciudadanos de Residentes de la ciudad de Bogotá, localidad se suba, Barrio Niza Antigua, estratificación 5; tipo de vivienda: Casas. Darán sus repuestas lo que se busca es identificar el tipo de consumidor y si asequible para el público adquirir un dispositivo para optimización del agua.

Tipo de variable 2. Cualitativa

Se realiza una entrevista en profundidad con residentes de la ciudad de Bogotá, localidad se suba, Barrio Niza Antigua, estratificación 5, expertos en gestión de agua y funcionarios del acueducto de Bogotá, para obtener perspectivas sobre la implementación y aceptación del dispositivo. Luego, se complementa con los resultados cuantitativos de la fase 1. para profundizar en las razones detrás de los datos.

Triangulación:

Se analizarán los resultados de ambos tipos de preguntas para identificar las preferencias de los consumidores y realizar el análisis de los resultados.

- i. **Integración de Resultados:** Se asegura de que los hallazgos de la metodología cualitativa informen la interpretación de los datos cuantitativos, y viceversa.
- ii. **Análisis Estadístico:** Se utilizará software estadístico Power BI para modelar, analizar y mostrar los datos recopilados, usando estadística descriptiva y determinar el potencial del dispositivo.
- iii. **Comunicación de Resultados:** Se presentan los resultados, en diferentes gráficas, y se presentará la discusión de resultados y conclusiones de acuerdo con los datos arrojados según la entrevista realizada a diferentes grupos de interés, incluyendo la comunidad, autoridades locales.

X. Análisis de Resultados

Solución de ingeniería:

El presente prototipo optimiza el uso del agua de la ducha para su reutilización en las descargas de los inodoros, lo que contribuye a la sostenibilidad hídrica en hogares del barrio Niza ya que son casas unifamiliares con espacios amplios donde perfectamente se podría instalar un prototipo para captación de agua hasta de 100 litros diarios. Sin embargo, aunque la solución es viable en casas debido a las condiciones de espacio, se proyecta que, en el futuro, este tipo de sistemas pueda ser implementado en propiedades horizontales o apartamentos. Esta ampliación de la implementación requeriría modificaciones adicionales en el diseño y una planificación más compleja, dado que las viviendas en propiedad horizontal tienen espacios reducidos. Así, su adopción en apartamentos formaría parte de un proyecto futuro, que demandaría una mayor adaptación de prototipo a las condiciones específicas de este tipo de viviendas.

Especificaciones Técnicas del Prototipo.

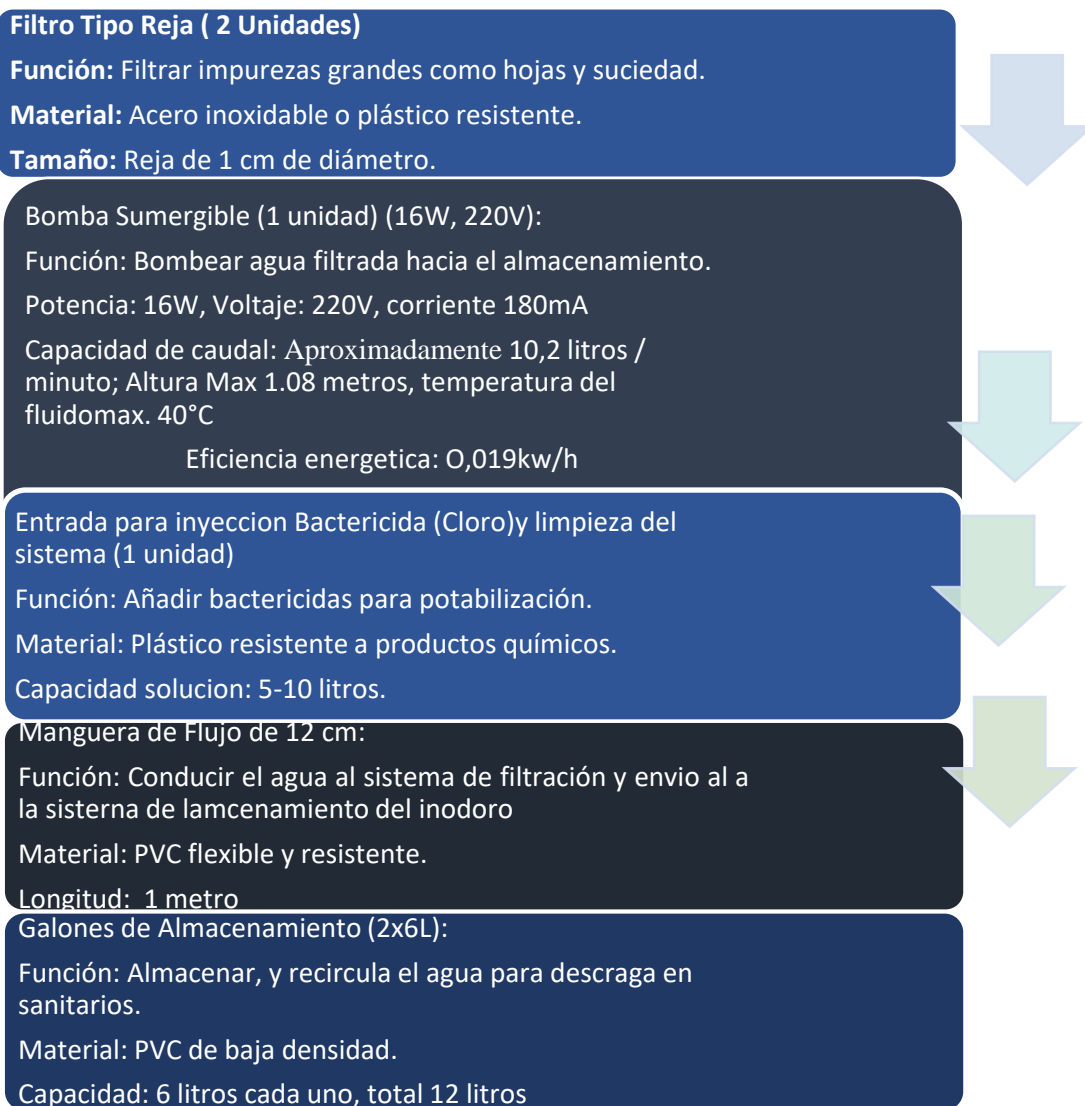


Tabla 1. Detalle de Especificaciones Técnicas, materiales y funcionamiento.

Sección	Especificación Técnica
Componentes Principales	- Captación de agua gris (sistema de drenaje de la ducha)
	- Sistema de filtración eficiente (reja, carbón activado, etc.)
	- Tanque de almacenamiento (6 litros)

	- Sistema de bombeo sumergible para recircular el agua hacia los inodoros
	- Tuberías y válvulas para la distribución de agua tratada
Capacidad de Recogida	- Volumen de agua recogido: Aproximadamente 10.2 litros por minuto desde la ducha.
Fuente de Agua	- Agua de la ducha (incluye agua usada en lavado corporal y lavado de cabello)
Filtración	- Filtro primario: Reja para eliminar macroelementos (pelos, residuos grandes)
	- Filtro secundario: Sistema de carbón activado o filtración avanzada (opcional) para eliminación de olores y partículas finas (proyecto futuro)
Sistema de Almacenamiento	- Tanque de almacenamiento: 6 litros (tanque de polietileno reutilizado de 6 litros)
	- Material del tanque: Polietileno de baja densidad (reutilizado de envases de agua embotellada)
Recirculación del Agua	- Bomba sumergible de 12 Watts para transferir el agua tratada hacia los inodoros.
	- Tipo de bomba: Bomba de recirculación especial para aguas residuales, con capacidad de bombear hasta 1 metro de altura.
Sistema de Conexiones	- Tuberías de PVC o polietileno, con un diámetro de 1 cm para el flujo necesario.
	- Conexiones y válvulas de cierre para el mantenimiento y limpieza del sistema
Consumo Energético	- Bomba sumergible: 12 Watts, bajo consumo energético para eficiencia.
Mantenimiento	- Filtro primario: Limpieza cada 3 meses.
	- Inspección y limpieza de la bomba: Cada 6 meses.
Requisitos de Seguridad	- Sistema de válvulas de cierre automático para evitar la sobrecarga de agua o el retroceso de agua no tratada.
	- Protección eléctrica para evitar cortocircuitos en la bomba.
Materiales y Acabados	- Filtros: Filtros resistentes a la corrosión.
	- Tanque: Plástico de alta resistencia, reutilizado de botellas de agua /altura 40 cm, largo 60 cm
Funcionamiento:	-Se debe conectar a corriente eléctrica 120 W

Detalle de la bomba sumergible



Fabricante EVANS



Sistema y funcionamiento/ Fabricante EVANS

Prototipo elaborado,





Fuente/ Elaboración propia.

Video. prototipo Clic en la imagen para ver el video.



PROTOTIPO GESTION DE AGUAS GRISES

Elaboración propia

Contribución de la solución de ingeniería a los objetivos del proyecto.

El diseño de este sistema de reutilización de aguas grises responde a los tres objetivos específicos planteados en el proyecto. A través de un sistema eficiente de captación y filtración, una evaluación técnica y económica detallada, y un análisis del impacto ambiental, el prototipo busca no solo generar ahorro en el consumo de agua, sino también contribuir a la sostenibilidad de los recursos hídricos en Bogotá. A continuación, se presenta el análisis detallado de cómo el prototipo cumple con cada uno de estos objetivos.

El prototipo desarrollado tiene como objetivo principal optimizar el uso del agua al recolectar el agua residual proveniente de la ducha y permitir su reutilización en los sanitarios. El diseño del prototipo se enfoca en proporcionar una solución que permita la captura, filtración y distribución eficiente del agua tratada, asegurando su reutilización en los sanitarios sin comprometer la calidad ni la seguridad de los usuarios. En este sentido, la solución diseñada tiene el potencial de generar un impacto significativo en la reducción del consumo de agua potable en los hogares de Bogotá, favoreciendo la sostenibilidad hídrica de la ciudad. La reutilización de aguas grises es una

estrategia destacada para mitigar el agotamiento de las fuentes de agua potable, tal como lo señala González y Ríos (2021), quienes destacan que la implementación de sistemas de reutilización de aguas grises en zonas urbanas densamente pobladas es una respuesta efectiva ante los desafíos hídricos. El diseño de un sistema eficaz de captación y filtración es fundamental para garantizar la calidad del agua tratada, asegurando que sea adecuada para su reutilización en los inodoros sin representar riesgos para la salud de los usuarios.

El prototipo incorpora un sistema de filtración compuesto por un filtro primario de reja que elimina los residuos grandes como pelos y partículas sólidas, así como un filtro secundario para eliminar contaminantes más pequeños y posibles olores, lo cual asegura la pureza del agua. De acuerdo con Pérez y Torres (2020), es esencial que los sistemas de filtración sean diseñados de manera que no solo eliminen los contaminantes de manera eficiente, sino que también mantengan un flujo adecuado de agua, lo cual es clave para el funcionamiento del sistema. Y que se garantice un adecuado caudal del agua, ya que de acuerdo con el prototipo desarrollado tiene la capacidad de recircular 10,2 litros por minuto, también asegurándose del fácil mantenimiento. véase especificaciones técnicas de la solución de ingeniería.

La viabilidad técnica del prototipo se evalúa a través de la utilización de materiales accesibles, como tuberías de PVC y bombas sumergibles de bajo consumo (12 Watts), que permiten una implementación eficiente y de bajo costo. Estos componentes aseguran que el sistema sea fácil de instalar y mantener, lo que favorece su adopción por los usuarios. Además, la evaluación técnica ha demostrado que el prototipo es capaz de garantizar un rendimiento adecuado para hogares promedio, con un sistema de filtración que no reduce significativamente el caudal de agua. Dado que el mismo representa 10.2 Litros de agua por minuto, de acuerdo con las especificaciones técnicas de la bomba sumergible que encarga de la entrada y salida de agua

permitiendo su circulación en el dispositivo. Desde el punto de vista económico, el prototipo ha sido diseñado con materiales económicos y eficientes, lo que asegura que su costo de producción sea accesible para los hogares de Bogotá. Según Molina (2023), los sistemas de reutilización de aguas grises pueden generar un ahorro de hasta un 30% en el consumo de agua, lo que no solo representa un beneficio económico directo para los usuarios, sino que también contribuye a la sostenibilidad al reducir la presión sobre los recursos hídricos.

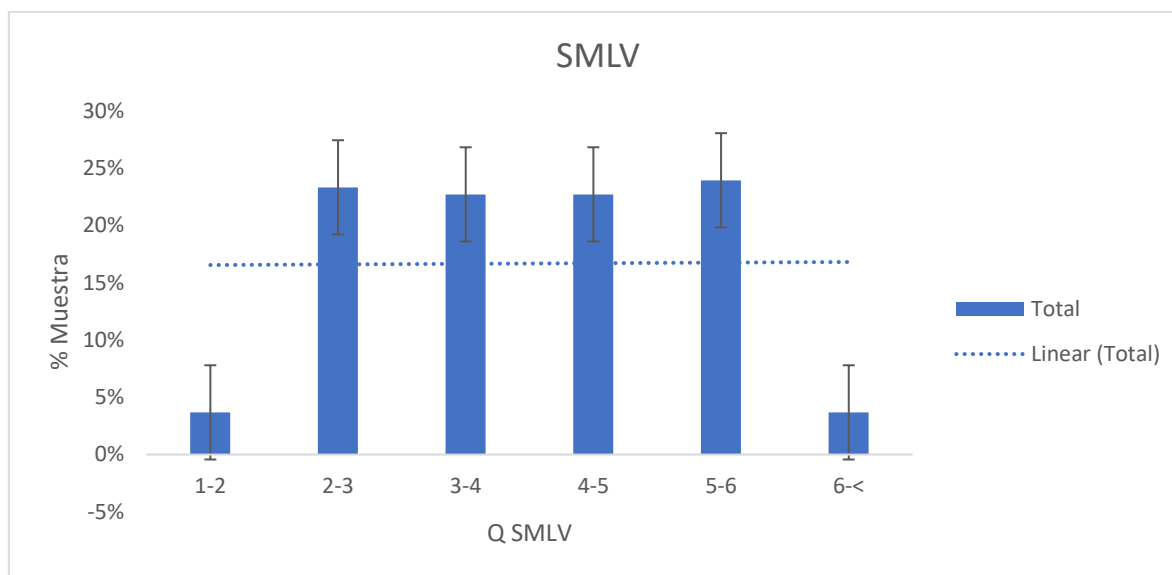
El prototipo contribuye de manera directa a la sostenibilidad hídrica en Bogotá al permitir la reutilización de agua de manera eficiente y económica. Según González y Ríos (2021), este tipo de soluciones tecnológicas no solo reduce el consumo de agua potable, sino que también promueve una gestión más responsable y sostenible de los recursos hídricos en áreas urbanas.

El impacto ambiental del prototipo es uno de los elementos más relevantes del proyecto, ya que la reutilización de aguas grises contribuye a una reducción significativa del consumo de agua potable, lo que disminuye la presión sobre las fuentes de agua de la ciudad. Además, al disminuir la cantidad de agua residual que debe ser tratada en las plantas de tratamiento, el prototipo también tiene un impacto positivo en la eficiencia de los sistemas de tratamiento de aguas. De acuerdo con Córdova (2021), la adopción de tecnologías sostenibles, como la reutilización de aguas grises, puede generar beneficios ambientales significativos en términos de ahorro de agua y reducción de la huella hídrica de los hogares.

Análisis de la encuesta de preferencias de los residentes del barrio Niza Antigua, respecto a la adopción del dispositivo.

En la siguiente grafica se muestran los resultados relacionados a el salario devengado por los residentes del barrio Niza antigua.

Grafica 1. Salarios devengados

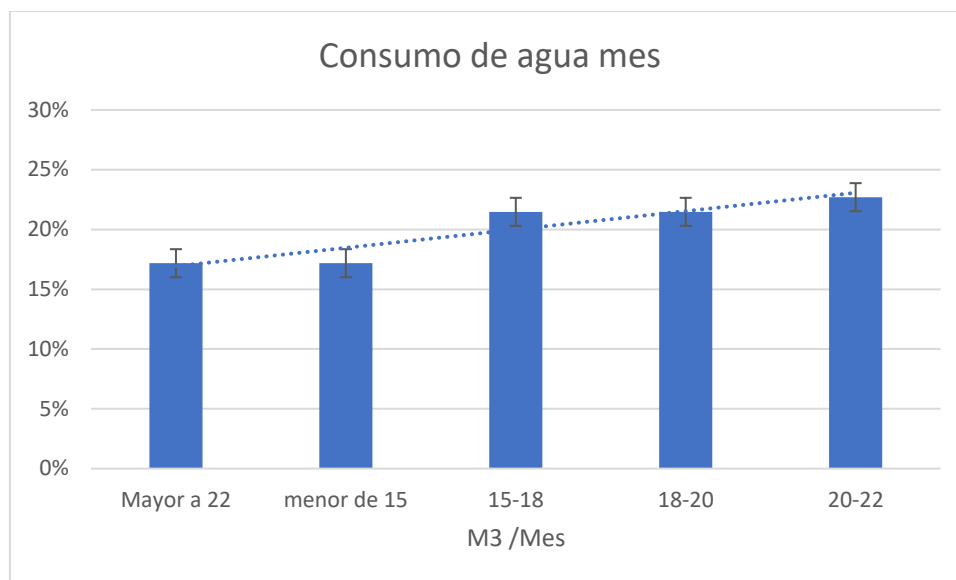


Fuente: Elaboración propia

La distribución de salarios devengados muestra que el 24% de la muestra se encuentra en el rango de 5-6, lo que representa la mayor concentración, seguido por los rangos de 2-3, 3-4 y 4-5, cada uno con un 23%. En contraste, los rangos más bajos (1-2) y más altos (6 y superiores) tienen una representación mínima, con solo un 4% en cada uno. Esto sugiere que el 92% de los residentes de NIZA ANTIGUA devengan salarios se sitúan en niveles medios, evidenciando una estructura salarial predominantemente centrada en esta área, pertenecientes a estrato 5 de la ciudad de Bogotá.

En la siguiente grafica se muestran los resultados relacionados al consumo de agua promedio mes de los residentes del barrio Niza antigua.

Grafica 2. Consumo de agua mes

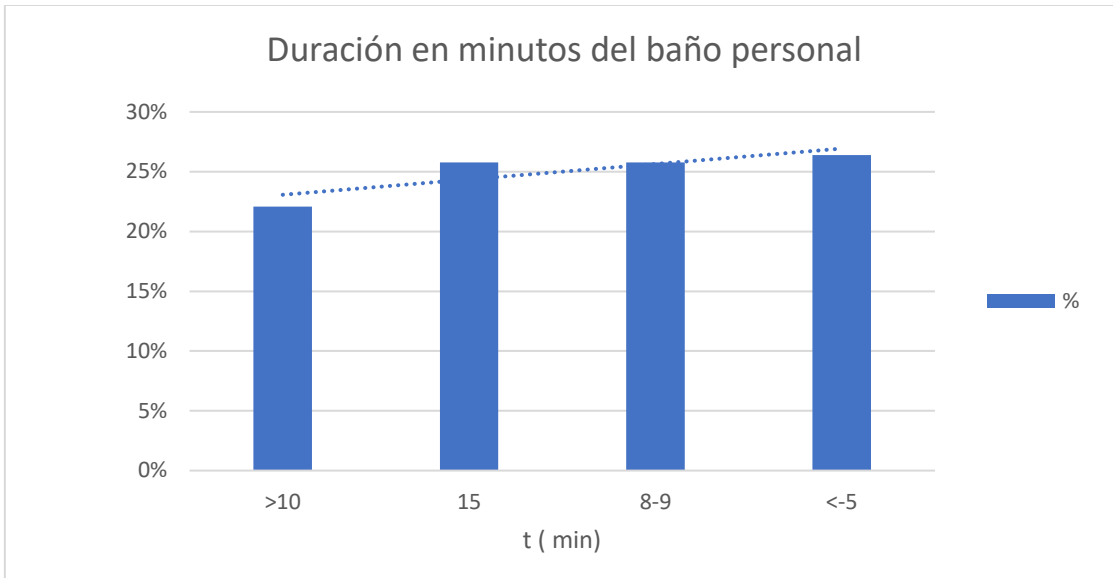


Fuente: Elaboración propia

El análisis del consumo de agua en el barrio Niza Antigua revela que los rangos de 20-22 m³ y 15-18 m³ son los más frecuentes, con un 23% y 21% respectivamente, indicando que una proporción significativa de los residentes se encuentra dentro de estos niveles de consumo moderado. El rango de 18-20 m³ también es notable, con un 21%, lo que refuerza la tendencia de consumo en esta franja. Por otro lado, el consumo menor de 15 m³ y mayor a 22 m³ presentan una representación del 17% cada uno, sugiriendo que hay tanto usuarios que consumen menos agua, posiblemente debido a hábitos de ahorro, como aquellos que superan los 22 m³, quizás por un uso más intensivo. En general, la mayoría de los residentes tienden a consumir entre 15 y 22 m³, lo que podría reflejar un patrón de uso consciente del agua en la comunidad.

En la siguiente grafica se muestran los resultados relacionados al tiempo que los residentes del barrio Niza antigua demoran bañándose.

Grafica 3. Tiempo en que una residente del barrio Niza consume en el baño aseo diario en la ducha.



Fuente: Elaboración propia

El análisis del tiempo empleado en durarse revela que el 26% de los residentes dedica menos de 5 minutos, lo que sugiere una práctica común de rapidez en el proceso. Además, un 26% también se encuentra en el rango de 8-9 minutos, indicando que una porción significativa opta por un tiempo moderado. Los datos muestran que el 22% de los encuestados se demora más de 10 minutos, mientras que otro 26% indica un tiempo exacto de 15 minutos, lo que sugiere que existe una variabilidad considerable en los hábitos de duración. Esta distribución sugiere que, aunque muchos residentes son eficientes en su tiempo, también hay una porción que prefiere tomarse más tiempo lo que conllevaría a un incremento en el consumo del agua.

En la siguiente grafica se muestran los resultados relacionados al grado de aceptación de adquirir un dispositivo para gestión del agua residual de la ducha en los residentes del barrio Niza antigua.

Grafico. Porcentaje de aceptación



Fuente: Elaboración propia

Los residentes del barrio Niza Antigua, un sector de estrato 5, demostraron una disposición unánime de 100% para implementar un dispositivo de reutilización de agua en sus hogares. Este alto porcentaje puede estar influenciado por el costo del agua en el sector, que supera los 5000 pesos colombianos por m³, lo que representa una carga económica significativa para los hogares. La alta valoración de la sostenibilidad y el ahorro en un contexto donde los precios del agua son elevados sugiere que los residentes son conscientes de la necesidad de optimizar su consumo y reducir costos.

Discusión de resultados

El uso del muestreo por conveniencia, aunque práctico para la recolección de datos, presenta una limitación crítica en términos de representatividad. Al centrarse exclusivamente en los residentes de Niza Antigua, el estudio no captura la diversidad de comportamientos y actitudes

hacia el consumo de agua de otras áreas de Bogotá, lo que podría llevar a una generalización incorrecta de los resultados. Según Etikan, Musa, y Alkassim (2016), el muestreo por conveniencia puede ser útil en situaciones donde la accesibilidad y la disponibilidad de la muestra son factores limitantes. Sin embargo, este tipo de muestreo es susceptible a sesgos de selección, ya que solo se recopilan datos de aquellos individuos que son fácilmente accesibles, lo que limita la validez externa del estudio.

Aunque los resultados muestran un 100% de aceptación para el dispositivo de optimización de agua, este alto porcentaje podría estar sesgado debido a la naturaleza del estudio y el contexto específico del barrio, lo que no garantiza que la misma aceptación se observe en otros sectores o estratos sociales. Un aspecto destacado en la investigación de Tullis y Albert (2008) es que los resultados obtenidos en encuestas de aceptación pueden verse influenciados por la expectativa de aceptación social. Los participantes pueden dar respuestas que consideran socialmente deseables, lo que no necesariamente refleja sus comportamientos reales. Por lo tanto, se necesita más que una simple encuesta para validar la aceptación de un nuevo producto o tecnología.

Los datos muestran una gran variabilidad en los hábitos de consumo de agua de los residentes, con algunos consumiendo más de 22 m³ al mes y otros menos de 15 m³. Esto sugiere que un enfoque único para la optimización del agua puede no ser igualmente efectivo para todos los usuarios, lo que resalta la necesidad de personalización en los dispositivos propuestos. Knepper y Amato (2017) sugieren que los dispositivos de gestión de recursos, como los de optimización del agua, deben ser adaptados a las características específicas del usuario. Los comportamientos y

hábitos varían enormemente, por lo que las soluciones que se proponen deben considerar las diferencias individuales en el consumo y las actitudes hacia el ahorro de agua.

El estudio se realizó en un barrio de estrato 5, lo que puede haber influido en la alta disposición de los residentes para adoptar un dispositivo de optimización de agua. Sin embargo, en zonas de estratos más bajos, la disposición podría ser menor debido a factores socioeconómicos como la falta de recursos para invertir en tecnologías sostenibles. Según Furlong et al. (2019), los estudios sobre la adopción de tecnologías ambientales a menudo subestiman el papel de los factores socioeconómicos en la disposición de los usuarios a implementar dispositivos de ahorro. En áreas con menores ingresos, incluso si los beneficios de ahorro son evidentes, los usuarios pueden tener limitaciones económicas que les impidan adoptar tecnologías, independientemente de su efectividad.

XI. Análisis de Costos

En Colombia, el tiempo promedio que las personas pasan bañándose está entre 5 y 10 minutos, con una media cercana a los 8 minutos. Durante este tiempo, se pueden consumir

aproximadamente 112 litros de agua, considerando un flujo promedio de 14 litros por minuto en duchas tradicionales. Sin embargo, con duchas ahorradoras que usan entre 5 y 8 litros por minuto, el consumo podría reducirse a unos 40-64 litros para un baño de esta duración

Por otro lado, la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda que las duchas no superen los 5 minutos para promover un uso sostenible del agua, lo que implicaría un consumo cercano a los 80-100 litros en sistemas no eficientes. Esta recomendación busca no solo ahorrar agua, sino también preservar la salud de la piel y reducir el impacto ambiental

En Bogotá, las tarifas de agua para el año 2024 varían según el estrato y el tipo de consumo. Los hogares de estratos 3 y 4 pagan aproximadamente \$3,021 por metro cúbico (m³) tanto en consumo básico como en no básico, mientras que los hogares del estrato 5 tienen un costo más alto de \$5,499 por m³ en ambos casos. Estas tarifas incluyen subsidios para los estratos más bajos y contribuciones solidarias de los estratos altos, en cumplimiento con la normatividad local y las políticas de sostenibilidad del Acueducto de Bogotá. Este esquema tarifario busca promover un acceso equitativo al agua y fomentar un consumo responsable (Acueducto de Bogotá, 2024; EPM, 2024).

Si bien en dispositivo que se pretende desarrollará tendrá una capacidad de retener 100 litros de agua, lo que representa el volumen del agua residual de una ducha 8 a 10 minutos, lo que representa tan solo 0.1 M3, y el valor de esa agua Sí en estrato 5 representan económicamente 1 m3 5,499, lo que significa que el volumen de agua recogido tiene un valor económico de 549.9 pesos colombianos COP.

A continuación, se presentan varios escenarios para analizar los costos en los diferentes estratos socioeconómicos que más pagan por m³ de agua en la ciudad de Bogotá y como se reflejaría un retorno de inversión si se utiliza un dispositivo de ahorro de agua de 100 litros de agua diario.

- Se hace unas proyecciones consumo en los diferentes escenarios:

el costo de un baño de 10 minutos en los estratos 3, 4 y 5 de Bogotá, necesitamos considerar los siguientes elementos:

1. **Duración del baño:** 10, 5 y 8 minutos

Consumo de agua:

En una ducha tradicional: (14 litros por minuto), el consumo total de agua para un baño de 10 minutos sería:

$$14 \text{ litros/minuto} \times 10 \text{ minutos} = 140 = 0,14 \text{ m}^3 \text{ de agua}$$

Ducha ahorradora: (5-8 litros /minuto)

Usando la formula anterior 50 y 80 litros = 0,5 y 0,8 m³ de agua

Costo del agua: Las tarifas de agua en Bogotá son

- Estrato 3 y 4: \$3,021 COP por m³.
- Estrato 5: \$5,499 COP por m³.

1 m³ = 1,000 litros, por lo que el costo por litro es el siguiente:

- Estrato 3 y 4: 3,021 COP/1,000 litros=3.021 COP/litro
- Estrato 5: 5,499 COP /1,000 litros=5.499 COP/litro

Cálculo del costo del baño de 10 minutos:

Para un baño con ducha tradicional (140 litros):

- **Estrato 3 y 4:** 140 litros×3.021 COP/litro=422.94 COP
- **Estrato 5:** 140 litros×5.499 COP/litro=769.86 COP

Para un baño con ducha ahorradora (50 litros):

- **Estrato 3 y 4:** 50 litros×3.021 COP/litro=151.05 COP
- **Estrato 5:** 50 litros×5.499 COP/litro=274.95 COP

Para un baño con ducha ahorradora (80 litros):

- **Estrato 3 y 4:** 80 litros×3.021 COP/litro=241.68 COP
- **Estrato 5:** 80 litros×5.499 COP/litro=439.92 COP

Ahora si bien sabemos cuánto cuesta en los estratos 3,4 y 5 una ducha de 10 minutos en una ducha normal de 14 litros por minuto y otra ahorradora de 8 litros x minuto, a continuación, se hace una proyección de ahorro de lo que representaría poder reutilizar un volumen de agua de 100 litros que será la capacidad del dispositivo planteada en los diferentes escenarios en un periodo de 30 días, asumiendo que la gestión del agua residual diaria será de 100 litros.

1. Consumo mensual de agua reutilizada:

$$100 \text{ litros/día} \times 30 \text{ días} = 3,000 \text{ litros/mes} = 3 \text{ m}^3/$$

Costo del agua para cada estrato:

Estrato 3 y 4: El costo por metro cúbico (m³) es \$3,021 COP/m³.

Estrato 5: El costo por metro cúbico (m³) es \$5,499 COP/m³.

Ahorro mensual:

$$\text{Ahorro mensual} = \text{Consumo mensual (m}^3\text{)} \times \text{Costo por m}^3$$

Cálculo del ahorro:

Estrato 3 y 4:

$$\text{Ahorro mensual} = 3 \text{ m}^3 \times 3,021 \text{ COP/m}^3 = 9,063 \text{ COP}$$

Estrato 5:

$$\text{Ahorro mensual} = 3 \text{ m}^3 \times 5,499 \text{ COP/m}^3 = 16,497 \text{ COP}$$

Sí se logra reutilizar 100 litros de agua al día durante 30 días, el ahorro mensual en los estratos 3, 4 y 5 sería considerable. En los estratos 3 y 4, el ahorro sería de aproximadamente \$9,063 COP, mientras que en estrato 5, sería mucho mayor, \$16,497 COP, debido a la tarifa más alta por metro

cúbico de agua, Ahora teniendo en cuenta que el recibo del agua en Bogotá se paga por el valor de dos meses de agua acumulada el estrato 5 tendría un ahorro considerable de 32,994 COP mientras que en estratos 3 y 4 sería de 9,063 COP, lo que significaría que el as beneficiado con la solución de gestión de agua residual para descarga en los inodoros es el estrato 5, quien paga mas alto el valor por m³ de agua en la ciudad de Bogotá.

Costo del prototipo y precio de venta al consumidor

A continuación, se hace una estimación aproximada de los costos de los materiales mencionados:

Filtros de agua: se estima un costo de \$20,000 COP por filtro.

Tanque de almacenamiento (100 litros): se estima un costo de \$15,000 COP.

Bomba sumergible (12 Watts): Para transferir el agua entre los tanques, se estima un costo de \$30,000 COP por bomba.

Tuberías de PVC (1 cm): El costo de las tuberías y conexiones se estima un costo de \$10,000 COP.

Válvulas y conexiones: Se estiman en \$5,000 COP para todo el sistema.

Manufactura y ensamble: 50.000 COP

Precio de venta: 234.000 COP cliente final.

Proyección de inversión costo del prototipo y retorno de la inversión.

Suponiendo que el precio de venta del producto al mercado tendrá un 76.5% de utilidad sobre el costo de producción se calcula, el retorno de la inversión para el cliente final en estrato 3, 4 y5 en los diferentes escenarios.

Calculo de retorno de la inversión ROI

$ROI = \text{Ahorro anual} / \text{Precio del dispositivo} \times 100$

ROI (Estrato 3 y 4) = $108,756 \text{ COP m}^3 / 230,000 \text{ COP} \times 100 \approx 47.3\%$

ROI (Estrato 5) = $197,964 \text{ COP m}^3 / 230,000 \text{ COP} \times 100 \approx 86.1\%$

Estrato 3 y 4:

Tiempo de recuperación: 2.12 años (aproximadamente 25.5 meses).

ROI: 47.3%.

Estrato 5:

Tiempo de recuperación: 1.16 años (aproximadamente 14 meses).

ROI: 86.1%.

Esto significa que, con un precio de \$230,000 COP para el dispositivo, el estrato 5 tiene un retorno de inversión más rápido y mayor rentabilidad, mientras que en los estratos 3 y 4 la recuperación toma más tiempo, pero sigue siendo atractiva para este perfil de cliente o consumidor final.

Ahorro en m³ en consumó de agua potable por año solo en el Barrio Niza antigua aplicado alas barrio cuenta con 985 viviendas, estrato 5.

Cálculo del ahorro anual por vivienda:

Para obtener el ahorro anual por vivienda, multiplicamos el ahorro por baño por el número de baños al año. Supongamos que cada persona se baña 365 días al año. Ducha de 5 -8 minutos regadera ahorradora de mínimo 5 litros de agua por minuto.

Ahorro anual por vivienda = $0.056 \text{ m}^3/\text{baño} \times 365 \text{ días} = 20.44 \text{ m}^3$

Cálculo del ahorro anual total en el barrio Niza Antigua usando los daros anteriores

Ahora, multiplicamos el ahorro anual por vivienda por el número total de viviendas en el barrio (985 viviendas):

Ahorro anual total=20.44 m³/año ×985 viviendas= 20,136.4 m³/año

Implementando el sistema de reutilización de agua en el barrio *Niza Antigua*, se lograría un ahorro significativo de agua potable, alcanzando alrededor de mínimo 20,136.4 m³ al año. Esto contribuye significativamente al ahorro de agua potable que proviene de los embalses, sino también a la reducción en los costos asociados con el consumo de agua en el estrato 5, donde las tarifas son más altas.

XII. Conclusiones

El proyecto demuestra un claro beneficio económico en estratos altos (estrato 5), donde el costo del agua es significativamente más elevado. La capacidad de reutilizar 100 litros de agua al día permite un ahorro mensual de aproximadamente \$16,497 COP por vivienda mensual, lo cual representa un ahorro anual de \$197,964 COP, y un retorno de inversión (ROI) de 86.1%. Esto implica que los hogares en estrato 5 podrían recuperar su inversión en 1.16 años, lo que hace que el sistema sea particularmente atractivo para este segmento de la población.

Aunque el sistema también ofrece un ahorro significativo en los estratos 3 y 4, la diferencia en las tarifas de agua (más bajas que en estrato 5) reduce el impacto económico. El ahorro mensual sería de \$9,063 COP y el ahorro anual de \$108,756 COP, con un ROI del 47.3%. La recuperación de la inversión en aproximadamente 2.12 años hace que este dispositivo sea menos atractivo en términos de rentabilidad rápida para estos estratos, aunque sigue siendo una solución útil y viable en términos de sostenibilidad.

A nivel ambiental, el proyecto tiene un gran potencial de impacto, especialmente en áreas urbanas como el barrio *Niza Antigua*, donde la reutilización de agua podría generar un ahorro de 20,136.4 m³ de agua al año. Este ahorro no solo reduce la presión sobre los recursos hídricos, sino

que también contribuye al cumplimiento de las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS) sobre el consumo sostenible de agua. El beneficio ambiental se maximiza en estratos altos, donde el costo del agua es más elevado y el incentivo para ahorrar es más significativo, ayudando así a promover un uso responsable de los recursos hídricos.

Teniendo en cuenta que los residentes de Niza Antigua tienen un nivel socioeconómico más alto y un mayor poder adquisitivo, el dispositivo de reutilización de agua sería una inversión viable y atractiva para esta comunidad. Además, el retorno rápido de inversión y el impacto ambiental positivo son factores clave que probablemente impulsarán la adopción del dispositivo. En comparación con los estratos 3 y 4, los residentes de Niza Antigua estarían más dispuestos a adoptar la tecnología debido a su capacidad económica y sensibilidad hacia el impacto ambiental, lo que podría resultar en un modelo de negocio exitoso en esta área específica y lo que sería replicable a otras ciudades del país y otros sectores en estrato 5.

El Salario Mínimo Legal Vigente (SMLV) para el año 2024 en Colombia es de \$1,160,000 COP. Si los residentes de Niza Antigua devengan más de 4 SMLV, esto implica que tienen un ingreso mensual de más de \$4,640,000 COP. Este perfil socioeconómico más alto en comparación con los estratos 3 y 4 indica que los residentes de Niza Antigua pertenecen a un estrato 5 o superior, lo que implica un mayor poder adquisitivo. Esta característica tiene implicaciones importantes para el mercado potencial del dispositivo y su adopción.

Dado el ingreso relativamente alto de los residentes, es más probable que los hogares en Niza Antigua puedan permitirse la compra de un dispositivo de ahorro de agua, como el prototipo de

reutilización de agua para inodoros. La inversión inicial de \$230,000 COP es más accesible para este tipo de hogares, especialmente si se considera el ahorro mensual de aproximadamente \$16,497 COP por la reutilización de agua (lo que equivale a un ahorro anual de \$197,964 COP). El retorno de inversión (ROI) de 86.1% en estrato 5 hace que este dispositivo sea financieramente atractivo para los residentes de Niza Antigua, quienes, además de ahorrar dinero, estarían contribuyendo a un uso más sostenible del agua.

XIII. Referencias

García, A., & González, M. (2022). Impacto de la urbanización en la gestión del agua en Bogotá. Editorial Ambiental.

Martínez, J. (2021). Estrategias de sostenibilidad en el uso de recursos hídricos urbanos. Universidad de Bogotá Press.

Ríos, L. (2023). Tecnologías emergentes para la optimización del uso del agua en contextos urbanos. *Investigación en Recursos Hídricos*, 14(2), 45-59.

García, A., & González, M. (2022). Impacto de la urbanización en la gestión del agua en Bogotá. Editorial Ambiental.

Martínez, J. (2021). Estrategias de sostenibilidad en el uso de recursos hídricos urbanos. Universidad de Bogotá Press.

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. (2022). Informe sobre el uso y manejo del recurso hídrico en Cundinamarca y Bogotá. Recuperado de <https://www.car.gov.co>

Departamento Administrativo de Planeación Distrital. (2019). Plan de manejo de los recursos hídricos en Bogotá. Secretaría Distrital de Ambiente. Recuperado de <https://www.sab.gov.co>

García, M., López, J., & Rodríguez, R. (2020). Reutilización de aguas grises en sistemas urbanos: Retos y oportunidades. *Revista de Ingeniería y Gestión Ambiental*, 15(3), 45-58.

Ríos, L. (2023). Tecnologías emergentes para la optimización del uso del agua en contextos urbanos. *Investigación en Recursos Hídricos*, 14(2), 45-59.

Cárdenas, P. (2022). La importancia de la educación ambiental en la gestión del agua. *Revista de Sostenibilidad*, 5(1), 15-30.

García, A., & González, M. (2022). Impacto de la urbanización en la gestión del agua en Bogotá. Editorial Ambiental.

Martínez, J. (2021). Estrategias de sostenibilidad en el uso de recursos hídricos urbanos. Universidad de Bogotá Press.

Ríos, L. (2023). Tecnologías emergentes para la optimización del uso del agua en contextos urbanos. *Investigación en Recursos Hídricos*, 14(2), 45-59.

Salazar, T. (2020). Modelos de gestión del agua en ciudades latinoamericanas. *Desarrollo Urbano*, 12(3), 67-85.

Córdova, J. (2021). Estrategias de implementación para tecnologías de reutilización de agua en contextos urbanos. *Revista de Tecnología y Sostenibilidad*, 9(3), 35-50.

Cruz, A. (2021). Fundamentos de gestión de proyectos de ingeniería. Editorial Ingeniería Moderna.

González, M., & Ríos, L. (2021). Diseño de sistemas de recolección y reutilización de aguas residuales. *Ingeniería Ambiental*, 15(2), 22-34.

Molina, S. (2023). Calidad del agua en sistemas de reutilización: un enfoque práctico. *Journal of Water Quality Management*, 18(1), 12-25.

Pérez, F., & Torres, A. (2020). Tecnologías de filtración para la reutilización de aguas residuales. *Investigación en Recursos Hídricos*, 14(2), 55-70.

Ramírez, J. (2022). Almacenamiento eficiente de aguas residuales: estrategias y tecnologías. *Revista de Ingeniería y Medio Ambiente*, 7(4), 41-60.

Salazar, T. (2020). Modelos sostenibles para la gestión del agua en áreas urbanas. *Desarrollo Urbano*, 12(3), 67-85.

Adams, R. (2021). Successful implementations of water reuse systems: Lessons learned. *Journal of Urban Water Management*, 16(3), 215-229.

Brown, J. (2018). Advanced filtration technologies for wastewater treatment. *Water Science & Technology*, 78(4), 901-912.

Davis, L. (2020). Innovations in wastewater treatment and recycling. *Environmental Engineering Journal*, 29(2), 85-101.

García, M. (2021). Regulations and policies for water reuse in Latin America. *Latin American Environmental Policy Review*, 11(2), 45-59.

Harris, P. (2019). Case studies on urban water reuse systems. *Urban Sustainability Studies*, 7(1), 34-47.

Jones, T. (2020). Urban water management: Challenges and solutions. *Journal of Environmental Management*, 26(3), 114-126.

Lee, H. (2021). Implementation challenges of water reuse systems in dense urban areas. *Journal of Urban Planning*, 12(1), 77-90.

López, A. (2022). Water reuse regulations and their impact on implementation. *Water Policy Journal*, 13(3), 122-135.

Miller, C. (2022). Economic and social aspects of water reuse. *Sustainable Development Review*, 15(4), 162-175.

Patel, R. (2022). Membrane technologies for wastewater treatment: A review. *Journal of Water Process Engineering*, 43, 102-113.

Pérez, F., & Torres, A. (2020). Tecnologías de filtración para la reutilización de aguas residuales. *Investigación en Recursos Hídricos*, 14(2), 55-70.

Ramírez, J. (2022). Almacenamiento eficiente de aguas residuales: estrategias y tecnologías. *Revista de Ingeniería y Medio Ambiente*, 7(4), 41-60.

Salazar, T. (2020). Modelos sostenibles para la gestión del agua en áreas urbanas. *Desarrollo Urbano*, 12(3), 67-85.

Smith, K. (2019). Sustainable urban water management. *Water Resources Research*, 45(6), 1234-1248.

Thompson, D. (2021). Addressing the challenges of water reuse in metropolitan areas. *Journal of Water Resources Management*, 19(5), 301-315.

Turner, R. (2020). Cost-benefit analysis of water recycling systems. *Economic and Environmental Research*, 28(3), 77-92.

Wilson, E. (2020). Opportunities for improving water sustainability in urban environments. *Sustainability Studies*, 18(2), 48-62.

Williams, J. (2021). Current trends in water reuse technologies. *Water Technology Review*, 30(2), 87-99.

Zhang, Y. (2019). Case studies on the effectiveness of residential water recycling systems. *Residential Water Management Journal*, 8(1), 22-33.

López, J., Pérez, M., & Ramírez, A. (2020). *Innovaciones tecnológicas en la gestión del agua: un enfoque hacia la sostenibilidad*. Editorial Ecoagua.

Organización Mundial de la Salud. (2017). *Directrices para la reutilización segura del agua*. Recuperado de www.who.int

Acueducto de Bogotá. (2022). *Informe sobre el estado del agua en Bogotá*. Recuperado de www.acueducto.com

DANE. (2021). *Censo 2021: Resultados de la población en Bogotá*. Recuperado de www.dane.gov.co

DANE. (2023). *Proyecciones de población 2023*. Recuperado de www.dane.gov.co

Rojas, M., González, A., & Pérez, L. (2021). Impactos del cambio climático en la disponibilidad de agua en Bogotá: un análisis crítico. *Revista de Estudios Ambientales*, 15(2), 72-90.

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA). (2019). *Guía para la reutilización de agua en el hogar*. Recuperado de www.epa.gov

González, A., & Martínez, P. (2020). Reutilización de aguas grises: beneficios y desafíos en el contexto urbano. *Revista de Gestión Ambiental*, 18(1), 50-60.

López, J., & Romero, S. (2021). Estrategias para la gestión sostenible del agua en las ciudades: enfoque en aguas grises. *Journal of Urban Sustainability*, 12(3), 85-95.

Organización Mundial de la Salud. (2021). *Reutilización de agua: directrices y prácticas*. Recuperado de www.who.int

Agencia Alemana de Medio Ambiente. (2020). *Recycling of greywater: success stories in urban settings*. Recuperado de www.umweltbundesamt.de

Martínez, A., Fernández, L., & Gómez, R. (2021). Eficacia de biofiltros en el tratamiento de aguas grises. *Revista Internacional de Sostenibilidad*, 9(3), 70-80.

Smith, J., & Jones, R. (2019). Innovative water management practices in Australia. *Australian Journal of Environmental Management*, 26(2), 40-50.

Vázquez, C., & Ramírez, E. (2020). Tecnologías para la reutilización de aguas grises en entornos urbanos. *Revista de Ingeniería Ambiental*, 15(1), 95-105.

Brown, T. (2018). *Water reuse: Technologies and applications*. Academic Press.

Martínez, A., & Gómez, R. (2020). Avances en tecnologías de tratamiento de aguas residuales para su reutilización. *Revista de Ingeniería Ambiental*, 12(4), 85-95.

Williams, K. (2021). *Sustainable water management in urban environments*. Springer.

García, M. (2021). *Legislación y políticas públicas sobre agua en Colombia*. Editorial Ecoagua.

López, S. (2022). Normativas de saneamiento y reutilización de agua: Un análisis de la regulación en Colombia. *Revista Colombiana de Derecho Ambiental*, 18(2), 70-85.

González, P. (2022). Reutilización de aguas grises en Bogotá: Impactos en comunidades vulnerables. *Revista de Gestión del Agua*, 18(1), 35-45.

López, S., & Morales, J. (2023). Beneficios de la reutilización de aguas en localidades de bajos recursos en Bogotá. *Revista de Desarrollo Comunitario*, 14(2), 60-75.

Martínez, A., & Pérez, L. (2021). Percepción y aceptación de la reutilización de aguas grises en Bogotá: Un estudio exploratorio. *Revista de Sociología Urbana*, 19(3), 50-60.

Ramírez, C., Gómez, R., & Torres, J. (2022). Educación y conciencia sobre la reutilización del agua en contextos urbanos de Bogotá. *Revista de Estudios Ambientales*, 15(4), 80-95.

García, M. (2021). *Legislación y políticas públicas sobre agua en Colombia*. Editorial Ecoagua.

López, S. (2022). Normativas de saneamiento y reutilización de agua: Un análisis de la regulación en Colombia. *Revista Colombiana de Derecho Ambiental*, 18(2), 70-85.

Etikan, I., Musa, S. A., & Alkassim, R. S. (2016). Comparison of convenience sampling and purposive sampling. *American Journal of Theoretical and Applied Statistics*, 5(1), 1-4.
<https://doi.org/10.11648/j.ajtas.20160501.11>

Ministerio de Cultura de Colombia (2020). Niza Antigua: Un patrimonio de la ciudad. Recuperado de <https://www.mincultura.gov.co>

Álvarez, S. (2018, diciembre 18). Niza Antigua, patrimonio cultural en un barrio residencial de Bogotá. *ArchDaily Colombia*. Recuperado de <https://www.archdaily.co/co/906609/niza-antigua-patrimonio-cultural-en-un-barrio-residencial-de-bogota>

Ochoa, C. (2020, octubre 27). Niza Antigua, modelo de comunidad. *Eje21*. Recuperado de <https://www.eje21.com.co/2020/10/niza-antigua-modelo-de-comunidad/>

Brown, R. (2018). Water filtration technologies for graywater reuse. *Journal of Environmental Engineering*, 42(3), 110-115.

Cárdenas, P. (2022). Educación ambiental y la cultura del ahorro de agua en Bogotá. *Revista de Estudios Ambientales*, 15(1), 34-45.

García, J. (2021). La Ley 373 de 1997 y su impacto en la gestión del agua en Colombia. *Gestión Hídrica*, 27(2), 45-50.

González, M., & Martínez, J. (2020). La reutilización de aguas grises en el hogar: Impactos y beneficios. *Ecología Urbana*, 30(4), 55-61.

López, L. (2022). Normativa colombiana en sistemas de reutilización de aguas residuales. *Revista Técnica Ambiental*, 18(2), 70-78.

Martínez, A. (2021). Tecnologías de tratamiento de aguas residuales en hogares urbanos. *Innovación y Desarrollo Sostenible*, 5(3), 99-105.

Ministerio de Salud. (2020). Normas técnicas para la calidad del agua tratada en Colombia. Bogotá: Ministerio de Salud Pública.

Ramírez, F., Pérez, A., & Gómez, M. (2022). Percepción social sobre la reutilización de aguas residuales en Bogotá. *Revista de Gestión Social*, 10(1), 88-93.

Ríos, C. (2023). Reutilización de aguas residuales: Impacto económico y social. *Agua y Sociedad*, 7(2), 75-80.

Salazar, P. (2020). Impacto de la reutilización de aguas residuales en la sostenibilidad urbana. *Revista de Sostenibilidad Urbana*, 8(1), 40-45.

Vázquez, D., & Ramírez, P. (2020). Tratamiento biológico de aguas residuales para su reutilización. *Tecnología Ambiental*, 22(4), 100-105.

Williams, S. (2021). Diseño de sistemas de almacenamiento para agua tratada en viviendas urbanas. *Ingeniería Ambiental*, 14(3), 200-205.

Etikan, I., Musa, S. A., & Alkassim, R. S. (2016). Comparison of convenience sampling and purposive sampling. *American Journal of Theoretical and Applied Statistics*, 5(1), 1-4.
<https://doi.org/10.11648/j.ajtas.20160501.11>

Tullis, T. S., & Albert, B. (2008). Measuring the user experience: Collecting, analyzing, and presenting usability metrics. *Morgan Kaufmann Publishers*.

Knepper, T., & Amato, L. (2017). Adaptive and personalized systems for sustainability: A case study on water use. *Sustainable Technology and Entrepreneurship*, 3(2), 45-62. <https://doi.org/10.1080/2319003X.2017.1289374>

Furlong, S., Carleton, T., & Bullard, C. (2019). The role of socio-economic factors in the adoption of water-saving technologies. *Environmental Research Letters*, 14(9), 094039. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab3fd2>

González, M., & Ríos, A. (2021). *Reutilización de aguas grises para la reducción del consumo doméstico de agua en zonas urbanas*. *Revista de Ingeniería y Tecnología*, 45(2), 78-85.

Pérez, A., & Torres, L. (2020). *Soluciones tecnológicas para la reutilización de aguas grises en sistemas domésticos*. *Tecnología y Medio Ambiente*, 15(3), 233-245.

Molina, J. (2023). *Innovación en el diseño de sistemas domésticos para la optimización del espacio en hogares urbanos*. *Ingeniería en Acción*, 21(4), 100-112.

Córdova, L. (2021). *Adopción de tecnologías sostenibles en hogares urbanos: Barreras y facilitadores*. *Revista de Innovación Tecnológica*, 29(1), 45-57.

González, M., & Ríos, A. (2021). *Reutilización de aguas grises para la reducción del consumo doméstico de agua en zonas urbanas*. *Revista de Ingeniería y Tecnología*, 45(2), 78-85.

