

Sistemas de aprovechamiento de residuos líquidos para viviendas VIP y VIS

Elaborado por:

Félix Mendoza Polo

Sergio David Cárdenas Chaparro

Julio Cesar García Albarracín

Julio Enoc Parra Villamarin

Universidad Ean

Escuela de Formación en Investigación

Seminario de Investigación de Posgrado

Bogotá

2024

Contenido

RESUMEN.....	3
PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN:	7
OBJETIVOS	7
JUSTIFICACIÓN	8
MARCO INSTITUCIONAL	11
METODOLOGÍA.....	22
TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE DATOS	25
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	27
CONCLUSIONES.....	29

Lista de imágenes

Imagen 1 Separación de partículas, moléculas y iones según su tamaño, por medio de membranas o películas sintéticas. Ingeniería de Tratamiento de Aguas Residuales	5
Imagen 2 Observatorio Ambiental de Bogotá (OAB)- Datos e indicadores para medir la calidad del ambiente en Bogotá.....	6
Imagen 3 Método convencional de recuperación de agua. Sistema artesanal baja calidad de aprovechamiento de espacios	6
Imagen 4 http://institutodeestudiosurbanos.info/endatos/index.php - DADOS DE BOGOTÁ	10
Imagen 5. Render Sistema Modular	28
Imagen 6. Esquema de funcionamiento del Sistema Modular	28

Lista de tablas

Tabla 1 Top 5 Cantidad de Hogares Proyectados al 2024. Fuente: Elaboración propia	8
Tabla 2 Cantidad de Hogares Proyectados al 2024 de las UPZ de Suba. Fuente: Elaboración propia.....	9
Tabla 3 Características del módulo.....	27

RESUMEN

Un sistema modular de reutilización de agua para lavadoras permite que las familias reciclen el agua utilizada en sus apartamentos, reduciendo así el valor de su factura de acueducto y alcantarillado. Además, este sistema contribuye activamente a las soluciones ambientales, lo que podría permitir a los usuarios recibir beneficios del gobierno. Este producto, de rápido desarrollo e impacto en el mercado urbano, tiene una alta proyección tanto a nivel nacional como internacional.

El potencial de mercado abarca cerca del 80% de los hogares colombianos, especialmente aquellos con mayor probabilidad de interés en el producto. El diseño del modelo inicial se ajusta a lavadoras con una capacidad de 18 libras. Este modelo recicla 60 litros de agua por ciclo de activación y está diseñado para ocupar el menor espacio posible en apartamentos con zonas de lavado limitadas. Además, su operación manual es fácil y rápida, lo que lo hace ideal para viviendas de interés social (VIS) y viviendas de interés prioritario (VIP).

Este producto modular permite reciclar el agua de la lavadora, uno de los electrodomésticos de mayor consumo de agua en los hogares promedio. Puede ser instalado rápidamente sin necesidad de realizar adecuaciones en el inmueble y requiere un mantenimiento periódico de baja frecuencia. Hasta la fecha, no se ha encontrado un producto similar o sustituto disponible en el mercado.

Palabras Claves: *Reciclado de agua, consumo en viviendas VIP y VIS, sistemas modulares, electrodomésticos, lavado de ropa.*

Problema de Investigación

El desperdicio de agua potable utilizada por electrodomésticos para el lavado de ropa en Colombia es considerable. El país cuenta con acueductos que suministran agua de alta calidad, una de las más limpias del mundo, lo que la convierte en un recurso valioso y costoso. Sin embargo, esta agua es mal utilizada en lavadoras que no requieren una pureza tan alta para su funcionamiento, transformando el agua potable en agua contaminada que ya no es apta para el consumo humano o animal. Estas lavadoras emplean un promedio de 120 litros de agua por ciclo de lavado, la cual es desperdiciada a través de la red de alcantarillado.

En los últimos años, el gobierno nacional ha desarrollado diversas iniciativas para fomentar el buen uso y cuidado del agua. Por lo tanto, existe una necesidad imperiosa de ahorrar agua por razones ecológicas y económicas, convirtiéndose en una prioridad el desarrollo de métodos de ahorro de agua en viviendas.

ECOLÓGICO:

El desperdicio de agua potable en el uso de electrodomésticos para el lavado de ropa es alto en Colombia, incluyendo Bogotá, que cuenta con un acueducto que entrega una de las aguas más limpias del mundo. Esta agua es mal utilizada en lavadoras que no necesitan una calidad tan alta de pureza para su funcionamiento, como se muestra en la figura 1. Sin embargo, estas lavadoras transforman el agua potable en agua ligeramente contaminada que ya no es útil para el consumo humano o animal, lo que exige que estos 120 litros de agua (promedio por lavada) tengan que pasar de nuevo por un ciclo de recuperación.

Según un estudio de la Universidad del Valle, un hogar de estrato 3 en Bogotá consume $20 \text{ m}^3/\text{mes}$,

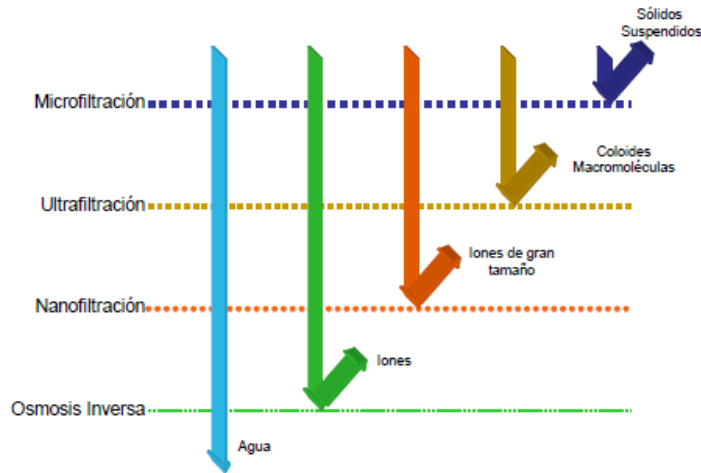


Imagen 1 Separación de partículas, moléculas e iones según su tamaño, por medio de membranas o películas sintéticas. Ingeniería de Tratamiento de Aguas Residuales

ECONÓMICO:

La necesidad de ahorro de agua por razones ecológicas y económicas se ha convertido en una prioridad. Como muestra de esto en el proyecto 134 del consejo de la ciudad de Bogotá, empieza a solicitar métodos de ahorro de agua en viviendas, incluyendo las VIP y VIS (viviendas de interés prioritario y viviendas de interés social, respectivamente). La necesidad ecológica está estrechamente ligada a la necesidad económica, ya que con la reducción de la oferta de agua potable también aumenta su tarifa. Por ello, es necesario implementar un plan preventivo antes de que esta necesidad se vuelva crítica. Teniendo en cuenta el incremento del precio del agua en la ciudad de Bogotá:

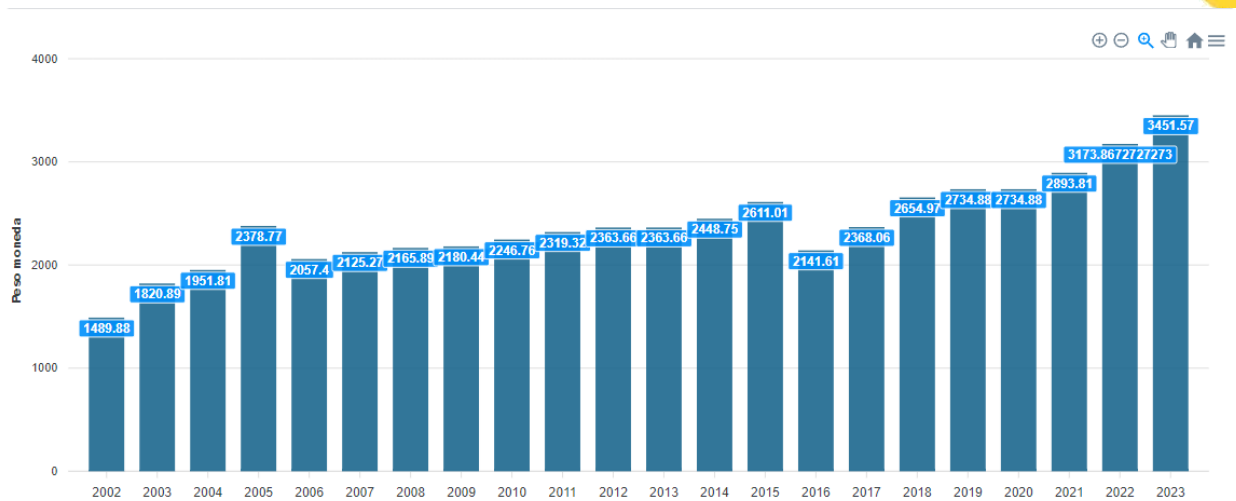


Imagen 2 Tarifa Media de Acueducto Estrato 3 - TMAE3 (Bogotá, 2024)

MÉTODOS DE AHORRO:

La reducción de reservas de agua nos obliga a ahorrar el consumo. Uno de los mayores consumos en las viviendas es el lavado de ropa, pero los métodos para este ahorro son muy artesanales en Colombia. Un alto porcentaje de hogares no los aplica debido a la incomodidad de espacio y método para utilizarlos, o por desconocimiento de estos métodos.



Imagen 3 Método convencional de recuperación de agua. Sistema artesanal baja calidad de aprovechamiento de espacios

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN:

¿Cómo lograr reducir el consumo de agua potable en sistemas de lavado de ropa, como sistema de aprovechamiento de residuos líquidos de manera eficiente y practica?

OBJETIVOS

Objetivo general:

Diseñar un sistema de aprovechamiento de residuos líquidos para viviendas VIP y VIS, aplicable al reciclaje del agua consumido en las lavadoras.

Objetivos específicos

- Esquematizar los procesos de reciclaje del agua consumida en las lavadoras, tanto de manera sistemática como artesanal.
- Definir los procesos físicos, mecánicos y químicos a integrar en un sistema de reciclaje de agua modular.
- Diseñar un sistema aplicable a las condiciones normalizadas de vivienda VIP y VIS.

JUSTIFICACIÓN

Tomando como referencia la ciudad de Bogotá, se puede calcular la cantidad de hogares donde se pueden implementar estrategias para reducir el consumo de agua potable en sistemas de lavado de ropa. Según las Proyecciones y retroproyecciones desagregadas de población Bogotá para el periodo 2018-2035 por localidades, se proyectan 3.061.931 hogares en la ciudad de Bogotá para el 2024 (DANE, 2018). Según la UPME (Unidad de Planeación Minero-Energética), el 64% de los hogares colombianos respondieron, para el año 2022 poseer lavadoras (UPME, 2024), lo que equivale a 1.959.636 hogares con la necesidad ecológica y económica de ahorrar agua, ahora, en la ciudad de Bogotá la mayor cantidad de hogares se encuentra en la localidad 11 Suba con 489.445 hogares, y de dicha localidad, la UPZ (Unidad de Planeación Zonal) con mayor cantidad de hogares proyectados por el DANE, es la 071 Tibabuyes con 108.895 hogares. Al menos la mitad del agua utilizada por lavada, que puede representar en promedio el 20% del consumo total por hogar, podría ser reciclada.

Localidad	Cantidad de Hogares Proyectados 2024
Suba	489.445
Kennedy	383.517
Engativá	312.424
Bosa	279.879
Usaquén	246.949

Tabla 1 Top 5 Cantidad de Hogares Proyectados al 2024. Fuente: Elaboración propia

Localidad / UPZ	Cantidad de Hogares Proyectados 2024
SUBA	489.445
TIBABUYES	108.895
EL RINCON	107.897
SUBA	69.120
EL PRADO	44.300
BRITALIA	39.425
NIZA	33.555
CASA BLANCA SUBA	23.849
LA ALHAMBRA	20.740
SAN JOSE DE BAVARIA	20.661
LA FLORESTA	18.609
LA ACADEMIA	1.675
GUAYMARAL	719

Tabla 2 Cantidad de Hogares Proyectados al 2024 de las UPZ de Suba. Fuente: Elaboración propia

De estos 1.959.636 hogares en Bogotá, ¿cuántos ahorran agua? Mediante el método artesanal con baldes, se puede ahorrar cerca del 50% del consumo de agua por lavada reutilizando el agua de la última etapa. Sin embargo, muy pocos utilizan este método debido a la incomodidad y al consumo de espacio que implica. En promedio, las viviendas nuevas para estratos 1, 2 y 3 tienen espacios limitados, lo que dificulta la implementación de este método. Además, muchos desconocen esta técnica. Este grupo social es el que más consume agua (Figura 4). Por lo tanto, es una necesidad para los hogares mejorar su método de reciclaje, tanto por razones de espacio como para mejorar la calidad de vida.

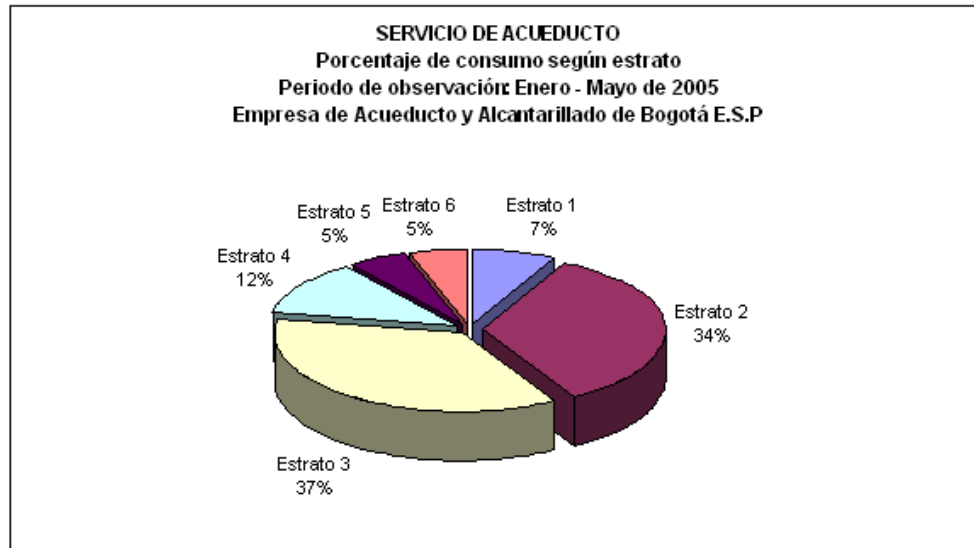


Imagen 4 <http://institutodeestudiosurbanos.info/endatos/index.php> - DADOS DE BOGOTÁ

Este método de reciclaje mecanizado, con un control sencillo de flujo de reciclaje o desagüe, permite garantizar el ahorro de agua en las viviendas en cada ciclo de lavado.

Por otro lado, en línea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible ODS, se hace necesario la implementación de sistemas que permitan garantizar una gestión sostenible del agua, lo cual se enmarca en el Objetivo 6. Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos, a través de las siguientes metas:

- ✓ 6.3 De aquí a 2030, mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentando considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial.

Es así, que el desarrollo de equipos o estrategias que en la cotidianidad logren reducción del consumo de agua, son clave para la implementación de los ODS y de la sostenibilidad de la ciudad de Bogotá.

MARCO INSTITUCIONAL

INFORMACIÓN GENERAL DISPOSITIVO

Nombre del Producto: Sistema Modular de Reutilización de Agua para Lavadoras

Ubicación: Colombia, con enfoque inicial en Bogotá.

Sector de la Economía (CIIU): Fabricación de maquinaria y equipo N.C.P. (Código CIIU: 2829)

Nichos de Mercado:

- Hogares colombianos, especialmente aquellos en viviendas de interés social (VIS) y viviendas de interés prioritario (VIP)
- Apartamentos con zonas de lavado limitadas

Principales Productos y Procesos:

- **Producto Principal:** Sistema modular para reciclar el agua utilizada en lavadoras
- **Proceso:** El sistema recicla 60 litros de agua por ciclo de activación, permitiendo su reutilización en el hogar. Está diseñado para ser instalado rápidamente sin necesidad de adecuaciones en el inmueble y requiere un mantenimiento periódico de baja frecuencia.

Estructura Organizacional

La organización detrás del desarrollo del sistema modular de reutilización de agua para lavadoras es una empresa innovadora en el sector de tecnologías sostenibles. La estructura organizacional incluye:

- **Departamento de Investigación y Desarrollo (I+D):** Encargado del diseño y mejora continua del sistema modular.
- **Departamento de Producción:** Responsable de la fabricación y ensamblaje del producto.

- **Departamento de Ventas y Marketing:** Enfocado en la promoción y comercialización del sistema en el mercado nacional e internacional.
- **Departamento de Servicio al Cliente:** Proporciona soporte técnico y mantenimiento a los usuarios del sistema.

Elementos Particulares del Área, Proceso o Tema Objeto del Estudio

Área de Estudio: Reutilización de agua en el hogar, específicamente en el uso de lavadoras.

Proceso:

- **Instalación:** El sistema se instala fácilmente sin necesidad de modificaciones en el inmueble.
- **Operación:** El sistema es manual y fácil de usar, ideal para viviendas con espacio limitado.
- **Mantenimiento:** Requiere un mantenimiento periódico de baja frecuencia, lo que lo hace conveniente para los usuarios.

Impacto Ambiental y Económico:

- **Ambiental:** Contribuye a la reducción del desperdicio de agua potable, un recurso valioso y costoso en Colombia. Ayuda a conservar el agua y a reducir la huella hídrica de los hogares.
- **Económico:** Permite a las familias reducir el valor de su factura de acueducto y alcantarillado. Además, los usuarios podrían recibir beneficios del gobierno por su contribución a las soluciones ambientales.

Proyección de Mercado:

- **Nacional:** El producto tiene una alta proyección en el mercado urbano colombiano, abarcando cerca del 80% de los hogares.
- **Internacional:** Existe un potencial significativo para la expansión internacional, dado el interés global en soluciones sostenibles y de ahorro de agua.

AGUA POTABLE

En Colombia, el tratamiento de agua potable se rige por el Decreto 1575 de 2007 y la Resolución 2115 de 2007, que establecen el marco legal y los estándares para garantizar la calidad del agua destinada al consumo humano. Estos regulan todo el proceso, desde la captación de agua en las fuentes naturales hasta su distribución a los usuarios.

Los principales procesos que se implementan para el tratamiento del agua potable incluyen:

1. Captación: El agua es tomada de fuentes naturales, como ríos, embalses o acuíferos subterráneos. En Colombia, se utiliza principalmente agua superficial debido a la abundancia de fuentes hídricas.
2. Pretratamiento:
 - Tamizado: Se retiran los residuos sólidos más grandes, como ramas, hojas y otros desechos flotantes, utilizando rejillas o mallas.
 - Aireación: Se inyecta aire en el agua para eliminar gases disueltos, como el dióxido de carbono, y mejorar la eficiencia en las etapas posteriores.
3. Coagulación y Floculación:
 - En esta etapa, se añaden productos químicos, como sulfato de aluminio o cloruro férrico, para agrupar partículas suspendidas finas (coloides) en flóculos más grandes y fáciles de separar. Estos químicos neutralizan las cargas eléctricas de las partículas.
 - La floculación es un proceso suave de agitación para permitir que las partículas se agrupen en flóculos visibles.
4. Sedimentación:
 - El agua tratada con los coagulantes se lleva a tanques de sedimentación donde los flóculos se asientan en el fondo por gravedad. El agua clara en la parte superior continúa hacia los siguientes pasos.

5. Filtración:

- El agua pasa a través de filtros de arena, grava o carbón activado para eliminar las partículas restantes. Esta etapa puede incluir filtros más avanzados, dependiendo de la calidad del agua.
- En algunas plantas, se emplea carbón activado para remover compuestos orgánicos y mejorar el sabor y olor del agua.

6. Desinfección:

- Se aplica cloro, hipoclorito de sodio o dióxido de cloro para eliminar bacterias, virus y otros patógenos. El cloro es el desinfectante más utilizado en Colombia.
- En algunos casos, también se puede emplear ozono o radiación ultravioleta (UV) para la desinfección final.

7. Ajuste de pH:

- En ocasiones, el pH del agua se ajusta utilizando productos químicos como la cal para evitar que sea demasiado ácida o alcalina, protegiendo así las tuberías y mejorando la calidad del agua.

8. Distribución:

- El agua tratada se bombea y distribuye a través de redes de tuberías hacia los hogares, oficinas e industrias. Durante esta etapa, se mantiene un nivel residual de cloro para garantizar la desinfección a lo largo de la red de distribución.

Otros documentos que forman la base normativa del tratamiento de agua potables y aguas residuales son:

1. Resolución 0844 de 2018 - *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS)*:

En Colombia, el tratamiento de agua potable y aguas residuales está regulado principalmente por normativas que buscan garantizar la calidad del agua y la protección del medio ambiente.

Esta resolución tiene un enfoque especial en los proyectos de agua y saneamiento básico en zonas rurales bajo esquemas diferenciales. Algunas de las características principales incluyen:

- **Requisitos técnicos:** Se establecen los lineamientos para diseñar, construir y operar sistemas de abastecimiento de agua y saneamiento en áreas rurales.
- **Sistemas de tratamiento:** Aborda los estándares para el tratamiento de agua potable y sistemas de disposición de aguas residuales en estas zonas.
- **Parámetros de calidad:** Define los niveles permisibles de sustancias químicas, contaminantes y parámetros microbiológicos que deben cumplir los proyectos de agua potable para asegurar la salud pública y protección ambiental.

2. Resolución 0631 de 2015 - *Normativa para vertimientos de aguas residuales:*

Esta resolución es uno de los marcos más relevantes en Colombia para el control de vertimientos de aguas residuales en cuerpos de agua y alcantarillados públicos. Algunas de las disposiciones clave incluyen:

- **Límites permisibles:** La norma establece límites de concentración de contaminantes como DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno), DQO (Demanda Química de Oxígeno), sólidos suspendidos totales y otros parámetros clave que afectan la calidad del agua.
- **Clasificación de aguas residuales:** Diferencia entre aguas residuales domésticas (ARD) y no domésticas (ARnD), con regulaciones específicas para cada tipo.
- **Sectores industriales:** La resolución menciona ocho sectores prioritarios que incluyen 73 actividades industriales y comerciales que deben cumplir con los parámetros establecidos para evitar sanciones.

- Cumplimiento y control: Se establece un marco de referencia para las autoridades ambientales para gestionar y supervisar el cumplimiento de la normativa, buscando mejorar la calidad de los vertimientos y reducir la contaminación en cuerpos de agua.

3. Decreto 1077 de 2015:

Este decreto regula de manera más amplia el sector de agua potable y saneamiento básico, incluyendo aspectos legales, financieros y técnicos para el desarrollo de proyectos hídricos. Es un complemento a la Resolución 0844 y el Reglamento Técnico (RAS) en cuanto a los criterios de sostenibilidad y acceso en áreas urbanas y rurales.

4. Beneficios del cumplimiento normativo:

- Protección de la salud humana: Al tratar las aguas residuales correctamente, se evita la propagación de enfermedades como el cólera y la hepatitis, y se asegura que el agua sea segura para consumo.
- Preservación de ecosistemas acuáticos: El tratamiento adecuado minimiza el impacto negativo en la vida acuática, protegiendo la biodiversidad y los cuerpos de agua.

Estas normas son estrictas y su incumplimiento puede conllevar sanciones severas, como multas, clausura de instalaciones, o incluso procesos penales en casos graves de contaminación.

La Resolución 0844 de 2018 establece los requisitos técnicos para los proyectos de agua potable y saneamiento básico en zonas rurales de Colombia. Los parámetros de calidad que menciona están orientados a garantizar la provisión de agua apta para el consumo humano y uso doméstico. Estos parámetros incluyen:

1. Agua para Consumo Humano: Se refiere a la calidad del agua destinada a beber, cocinar, lavar utensilios y para la higiene personal. La resolución asegura que el agua proporcionada debe cumplir con estándares microbiológicos, físicos y químicos adecuados para evitar riesgos a la salud.

2. **Proyectos de Saneamiento:** Para el tratamiento de aguas residuales y el manejo de residuos sólidos, se especifican soluciones individuales de saneamiento, especialmente en zonas rurales dispersas. Estos sistemas deben ser implementados para evitar la contaminación de fuentes hídricas y proteger la salud pública.
3. **Soluciones Diferenciales:** La resolución se enfoca en la implementación de sistemas adaptados a las condiciones particulares de las zonas rurales, garantizando la participación comunitaria y ajustando los proyectos a las características específicas de cada territorio.

La Resolución 0844 de 2018 establece los parámetros de calidad del agua potable para proyectos en zonas rurales de Colombia, garantizando que el agua suministrada sea apta para el consumo humano y el uso doméstico. Algunos de los principales parámetros que deben cumplirse son:

1. **Microbiológicos:** El agua debe estar libre de microorganismos patógenos como bacterias coliformes fecales y *Escherichia coli*, que pueden causar enfermedades graves.
2. **Físicos y Químicos:** Se regula la presencia de compuestos químicos y características físicas como el pH, la turbidez, y la concentración de cloro residual. Además, se establecen límites para metales pesados y otros contaminantes que podrían afectar la salud.
3. **Sólidos Disueltos y Sedimentos:** Se controla la turbidez y la presencia de sólidos en el agua, para asegurar que sea clara y segura para el consumo.

Estos parámetros aseguran que el agua cumpla con estándares nacionales e internacionales de salubridad, evitando riesgos para la salud pública en comunidades rurales. También, la resolución detalla los procedimientos de supervisión y monitoreo que deben ser implementados

para garantizar el cumplimiento de estas especificaciones de calidad en las etapas de diseño, construcción y operación de los sistemas

Los valores de los parámetros de calidad del agua potable en Colombia, que se aplican también en la Resolución 0844 de 2018 para zonas rurales, incluyen los siguientes rangos clave:

1. Cloro Residual: El agua debe tener entre 0.2 y 1.0 mg/L de cloro residual libre, y un máximo de 1.2 mg/L de cloro total. Este parámetro es esencial para asegurar la desinfección continua del agua.
2. pH: El rango permitido para el pH del agua es de 6.5 a 9.0, asegurando que el agua no sea ni demasiado ácida ni demasiado alcalina, lo cual podría afectar tanto a la salud humana como a la infraestructura de distribución.
3. Turbidez: Este parámetro controla la claridad del agua. Se busca que los niveles de turbidez no excedan 2 a 5 unidades de turbidez nefelométrica (NTU), dependiendo del sistema de abastecimiento.
4. Microorganismos patógenos: Se establecen límites estrictos para la presencia de coliformes fecales y *Escherichia coli*, que deben estar completamente ausentes en 100 mL de muestra de agua.

Estos valores son establecidos para garantizar que el agua distribuida sea segura para el consumo humano y cumpla con los estándares internacionales y nacionales en términos de calidad y seguridad.

Aguas residuales:

Los parámetros de calidad para aguas residuales en Colombia, establecidos por la Resolución 0631 de 2015, incluyen valores límites máximos permisibles para los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a sistemas de alcantarillado público. Algunos de los principales parámetros son:

1. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5): El límite máximo permisible para este parámetro es de 50 mg/L, esencial para medir la cantidad de materia orgánica en el agua que puede descomponerse por la acción de microorganismos.
2. Demanda Química de Oxígeno (DQO): Para aguas residuales industriales, el valor permitido es de hasta 250 mg/L, utilizado para evaluar la cantidad de materia orgánica e inorgánica presente en el agua.
3. Sólidos Suspendedos Totales (SST): El límite máximo es de 100 mg/L, lo que permite controlar la cantidad de sólidos presentes en el agua.
4. Aceites y Grasas: El límite permitido es de 10 mg/L, regulando la descarga de grasas y aceites que pueden obstruir el flujo de las aguas residuales.
5. pH: Los vertimientos deben tener un pH entre 6.0 y 9.0, asegurando que no sean excesivamente ácidos o alcalinos.
6. Temperatura: El límite máximo permitido es de 40°C para evitar que los vertimientos afecten la fauna y flora acuática al aumentar la temperatura de los cuerpos de agua receptores.

Estos parámetros varían ligeramente dependiendo de la actividad productiva y el tipo de vertimiento.

El tratamiento de aguas residuales en Colombia sigue un proceso estructurado que busca reducir contaminantes y devolver el agua tratada al medio ambiente en condiciones seguras. A

continuación, se describen los principales pasos que se implementan en las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR):

1. Pretratamiento:

- Tamizado: Se utilizan rejillas y mallas para eliminar sólidos grandes como plásticos, papeles y otros residuos sólidos que pueden dañar equipos o entorpecer los procesos siguientes.
- Desarenado: Se separa arena, grava y otras partículas pesadas que pueden causar abrasión en los sistemas mecánicos.
- Desengrasado: Se retiran grasas y aceites del agua utilizando trampas de grasa o mediante procesos de flotación.

2. Tratamiento Primario:

- Sedimentación primaria: El agua residual pasa a tanques donde se permite que los sólidos suspendidos se asienten por gravedad, formando lodos en el fondo del tanque, que son luego retirados para su tratamiento.

3. Tratamiento Secundario:

- Tratamiento biológico: Se utiliza para reducir la materia orgánica disuelta mediante microorganismos que consumen estos contaminantes. Hay dos métodos principales:
 - Lodos activados: Se airea el agua residual para estimular el crecimiento de microorganismos que consumen la materia orgánica.
 - Sistemas de lechos percoladores o filtros biológicos: El agua pasa a través de lechos donde crecen bacterias que consumen los contaminantes.
- Decantación secundaria: Después del tratamiento biológico, los sólidos restantes son removidos en tanques de decantación.

4. Tratamiento Terciario (Opcional):

- Desinfección: Se aplican productos químicos (como cloro) o luz ultravioleta para eliminar microorganismos patógenos.
- Eliminación de nutrientes: En algunos casos, se eliminan nitrógeno y fósforo que pueden causar eutrofización en cuerpos de agua receptores.

5. Tratamiento y disposición de lodos:

- Los lodos generados en las etapas de sedimentación y tratamiento biológico son estabilizados, deshidratados y, en algunos casos, incinerados o dispuestos en rellenos sanitarios.

6. Vertido o reutilización:

- El agua tratada puede ser devuelta a cuerpos de agua naturales (ríos, lagos, etc.) o reutilizada para actividades agrícolas o industriales, dependiendo de su nivel de tratamiento.

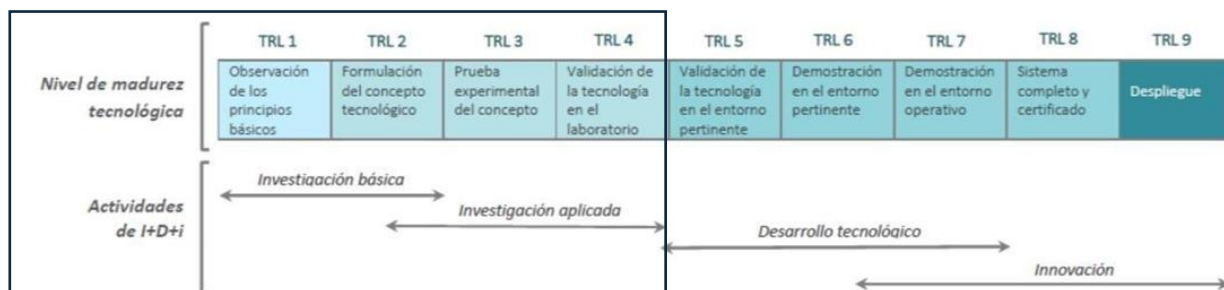
Este proceso está regulado por la Resolución 0631 de 2015, que establece los límites máximos permisibles para los vertimientos de aguas residuales en Colombia. Las plantas de tratamiento deben cumplir con estos parámetros para garantizar la protección del medio ambiente y la salud pública.

METODOLOGÍA

El desarrollo de un sistema de reutilización de agua para lavadoras en viviendas de interés social (VIS) y de interés prioritario (VIP) requiere un enfoque metodológico claro basado en el Nivel de Madurez Tecnológica (TRL, por sus siglas en inglés), que permite medir el avance de la tecnología a lo largo de diferentes fases, desde la investigación básica hasta su validación y comercialización. Este enfoque es ampliamente utilizado en proyectos de investigación aplicada y ha sido adaptado por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia para promover la innovación en diversos sectores (COLCIENCIAS, 2016).

Metodología basada en el modelo TRL

El modelo TRL, desarrollado inicialmente por la NASA en los años 70, ha demostrado ser una herramienta valiosa para estructurar proyectos tecnológicos, permitiendo un seguimiento detallado del progreso y la viabilidad de una tecnología en entornos controlados y luego reales. En el caso del sistema de reutilización de agua en lavadoras, se espera avanzar desde un **TRL 1** (observación de principios básicos) hasta un **TRL 4** (validación en laboratorio), siguiendo las siguientes etapas:



1. TRL 1 - Observación de principios básicos

En esta etapa, se inicia con la observación de los principios fundamentales que guían el desarrollo del sistema de reutilización. Por ejemplo, se exploran las propiedades de los materiales de filtrado y los mecanismos de recirculación del agua. La investigación aquí es puramente teórica, donde se define el concepto base a nivel cualitativo, sin experimentación. Las áreas aplicadas incluyen la **arquitectura ambiental**, aspectos **fisicoquímicos** relacionados con el tratamiento de agua, y la evaluación de **sistemas electromecánicos** para el funcionamiento del sistema en las lavadoras (COLCIENCIAS, 2016)

2. TRL 2 - Formulación del concepto

A medida que los principios fundamentales se consolidan, el concepto de reutilización de agua comienza a tomar forma con posibles aplicaciones prácticas. Se desarrollan estudios que permiten una mejor comprensión de los sistemas de filtrado, la durabilidad de los componentes y el diseño de las conexiones hidráulicas entre la lavadora y el sistema de almacenamiento de agua. Aquí se perfila un plan de desarrollo más detallado, se analizan las primeras simulaciones y se identifican potenciales impactos ambientales y sociales, claves para su aplicación en VIS y VIP. Las áreas aplicadas incluyen el diseño estructural de los sistemas y procesos, así como la **adaptabilidad del sistema hidráulico** (COLCIENCIAS, 2016).

3. TRL 3 - Prueba experimental del concepto

Esta fase es crucial, ya que implica la experimentación directa con prototipos a escala de laboratorio. El sistema de reutilización de agua, integrado con las lavadoras, se somete a pruebas en condiciones controladas. Los modelos y simulaciones complementan los experimentos físicos, permitiendo evaluar la eficiencia del sistema de

recirculación y su capacidad para reducir el consumo de agua. En esta etapa, se identifican los posibles problemas en la escalabilidad del proyecto, el rendimiento del sistema de filtrado y el impacto en el ciclo de vida de la lavadora. Las áreas clave incluyen el **modelado y simulación de sistemas** y la evaluación de **cuestiones operativas** relacionadas con la implementación del prototipo en un entorno de laboratorio (COLCIENCIAS, 2016)

4. TRL 4 - Validación en entorno de laboratorio

En este punto, el sistema se valida en un entorno controlado que simula el uso real de las lavadoras en viviendas VIS y VIP. Se integran los componentes fundamentales, como el sistema de filtrado, la unidad de almacenamiento y el circuito de recirculación, evaluando su rendimiento conjunto. El objetivo es asegurar que todos los componentes funcionen de manera coordinada para maximizar la reutilización del agua y minimizar el impacto en el uso del electrodoméstico. Las simulaciones del ciclo de vida y las evaluaciones preliminares sobre la viabilidad económica y social también son fundamentales en esta etapa, asegurando que el sistema sea escalable y económicamente viable para las viviendas VIS y VIP. Áreas como la **evaluación del ciclo de vida** y los **modelos económicos** son críticas aquí. (COLCIENCIAS, 2016)

ÁREAS APLICADAS Y ENFOQUE INTERDISCIPLINARIO

El desarrollo de este sistema involucra múltiples áreas de conocimiento, lo que lo convierte en un proyecto interdisciplinario. Estas áreas incluyen:

- **Arquitectura ambiental:** Diseño del sistema para integrarse con las viviendas VIS y VIP, optimizando el espacio y asegurando un impacto ambiental mínimo.
- **Aspectos fisicoquímicos:** Procesos de tratamiento del agua residual, incluyendo métodos de filtración y purificación.

- **Sistemas electromecánicos:** Diseño e implementación del sistema de bombeo y recirculación de agua dentro de la lavadora.
- **Adaptabilidad de sistemas hidráulicos:** Capacidad del sistema para ajustarse a diferentes tipos de lavadoras y viviendas.
- **Evaluación de ciclo de vida y viabilidad económica:** Estudio del impacto ambiental y el costo-beneficio del sistema a largo plazo.

TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE DATOS

Para el diseño del sistema de aprovechamiento de residuos líquidos para viviendas VIP y VIS, aplicable al reciclaje del agua consumido en las lavadoras, el análisis de datos puede resultar prescindible debido a varias razones técnicas fundamentales:

1. **Diseño Determinístico del Sistema** El módulo de reúso de agua presenta un comportamiento altamente predecible y controlado, basado en principios de ingeniería hidráulica y mecánica. Los componentes como válvulas, filtros y bombas operan con parámetros técnicos claramente definidos, lo que reduce la necesidad de un análisis estadístico complejo.
2. **Caracterización Física Directa** Las propiedades del sistema pueden evaluarse mediante métodos de medición directa y pruebas físicas. La eficiencia del módulo, su capacidad de filtración, y la calidad del agua reutilizada se pueden determinar mediante:
 - Mediciones de turbidez
 - Pruebas de conductividad
 - Análisis de presión
 - Evaluaciones de flujo

3. **Protocolos Estandarizados de Evaluación** Existen normas técnicas y protocolos internacionales que proporcionan metodologías precisas para evaluar sistemas de reúso de agua, eliminando la necesidad de análisis de datos extensivos. Estos protocolos incluyen criterios específicos de:
 - Rendimiento hidráulico
 - Eficiencia de filtración
 - Seguridad sanitaria
4. **Simulación y Modelado Computacional** Las herramientas de modelado computacional actuales permiten simular el comportamiento del módulo con alta precisión, reduciendo la dependencia del análisis estadístico tradicional. Los modelos pueden predecir:
 - Patrones de flujo
 - Comportamiento de filtración
 - Rendimiento bajo diferentes condiciones
5. **Requisitos Normativos Predefinidos** Las regulaciones técnicas establecen parámetros específicos que el módulo debe cumplir, los cuales pueden verificarse mediante pruebas determinísticas y no requieren análisis estadístico extensivo.

En conclusión, la naturaleza técnica y altamente controlada del módulo de reúso de agua permite una evaluación precisa mediante métodos directos de medición, simulación computacional y protocolos estandarizados, minimizando la necesidad de un análisis de datos complejo.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Conforme a la aplicación del enfoque metodológico Nivel de Madurez Tecnológica (COLCIENCIAS, 2016) se pudo llegar hasta una etapa TRL 4 - Validación en entorno de laboratorio, donde se identificaron características que debe tener el módulo para cumplir su función:

Característica	Descripción
MEDIDAS h (ALTURA)	1,47m
MEDIDAS A (ANCHO)	0,60m
MEDIDAS P (PROFUNDO)	0.70m
PESO	15 Kg aprox. (vacía)
PIEZAS DE ARMADO	3 módulos de ensamble y accesorios
ACCESORIOS DE SOSTENIMIENTO	piezas en caucho anti resbalantes de fácil despiece para caso de mantenimiento
MATERIAL ESTRUCTURAL	Ángulos $\frac{3}{4}$ " x $\frac{1}{2}$ " en acero y platinas $\frac{1}{2}$ " recubierto con protector anticorrosivo ensamblado con soldadura MIG o SMAW según modelo
LAMINADO	Laminado galvanizado 100% recubierto con protector anticorrosivo, laca y protector externo de acabado según solicitud de modelo en tono blanco o gris
CONDUCTORES HIDRICOS	Conductores hídricos de $\frac{3}{8}$ " de área transversal libre con ensamble a $\frac{1}{2}$ " y complemento mecánico de abrazadera para garantizar hidrostática
CONECTOR ELECTRICO	cable encauchetado 2X18 de cobre
INTERRUPTOR	Interruptor ON/OFF para inicio de bombeo de operación
CONECTOR HIDRICO	2 conectores IN $\frac{1}{2}$ " rosca macho PVC conectados a puntos hidráulicos de servicio público 2 conectores OUT $\frac{1}{2}$ " rosca macho PVC para conexión con el equipo de lavadora y/o conexión a accesorio de apoyo o de reutilización de agua Conector unión lisa PVC IN para recolección de agua Dispositivo de desagüe 1"
FILTRO	Filtro a carbón activado personalizado para limpieza de agua
TRATAMIENTO	Tratamiento químico inodorizante, contra químicos que afecten colores y contra bacterias
CAPACIDAD	60 LTS por ciclo de funcionamiento
VOLTAJE	120 V
CONTROL DE OPERACIONES	2 válvulas Bola PVC de $\frac{1}{2}$ " 1 válvula Bola PVC de $\frac{3}{4}$ "
POTENCIA BOMBA	85W

Tabla 3 Características del módulo. Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presentan renders sobre el posible diseño del módulo:

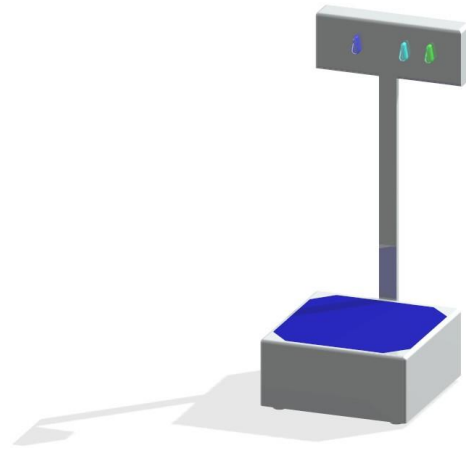


Imagen 5. Render Sistema Modular

El sistema modular es el primer producto diseñado que permite reciclar el agua de la lavadora (siendo la lavadora uno de los puntos de mayor consumo de agua en los hogares promedio), que puede ser instalado rápidamente sin realizar adecuaciones en el inmueble y que requiere mantenimiento periódico de baja frecuencia. Del cual no se ha encontrado un producto similar o sustituto ofertado o reportado por internet.

Esta mejora las condiciones de trabajo doméstico para hogares promedio, porque permite el reciclaje de agua por ciclo de lavado.

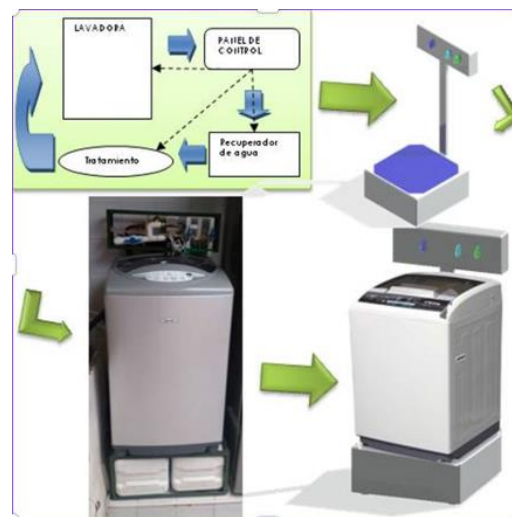


Imagen 6. Esquema de funcionamiento del Sistema Modular

CONCLUSIONES

- Se identificó que el sistema modular de reciclaje de agua ayuda a reducir el consumo de agua potable en sistemas de lavado de ropa, como sistema de aprovechamiento de residuos líquidos aplicando a una actividad común en los estratos 1, 2 y 3, con tratamiento de agua primario, dentro del manejo de aguas residuales (aguas grises).
- Se diseñó un sistema modular de reciclaje de agua para el aprovechamiento de residuos líquidos proveniente de lavadoras para viviendas VIP y VIS.
- Se diseñó el esquema de los procesos de reciclaje del agua consumida en las lavadoras, que permite sistematizar una práctica artesanal.
- Se definieron como procesos físicos y mecánicos un tratamiento primario para el agua residual, lo que permite su filtración y reutilización de manera directa a la lavadora e indirecta con otros canales de accesibilidad.
- Se identificó que las condiciones de trabajo y bajo volumen del sistema modular facilita su implementación en las condiciones normalizadas de vivienda VIP y VIS, estratos 1, 2 y 3.
- Se considera que el desarrollo de esta tecnología facilita el aumento de esta práctica de reutilización de Agua en más viviendas y estratos socioeconómicos.
- Si esta tecnología se aplica en la localidad de estudio, impactaría al 78% de habitantes que representan las viviendas en estrato 1, 2 y 3, lo que correspondería a 69.693 hogares.
- Este desarrollo tecnológico permite recuperar el 30% del agua utilizada para el lavado de ropas, lo cual corresponde a un promedio de 60 Litros de agua por lavado.
- Este desarrollo tecnológico aporta al ODS número 6 de Agua Limpia y saneamiento y de manera directa al ODS 11 y 13, Ciudades y comunidades sostenibles y Acción por el clima, respectivamente.

LISTA DE REFERENCIAS

- Bogotá, O. A. (10 de 2024). *Observatorio ambiental*. Obtenido de <https://oab.ambientebogota.gov.co/tarifa-media-de-acueducto-estrato-3/>
- COLCIENCIAS. (2016). *NIVELES DE MADUREZ TECNOLÓGICA (TRL) Y DE MANUFACTURA (MRL)*.
- DANE. (2018). *Departamento Administrativo Nacional de Estadística*. Obtenido de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion/proyecciones-de-poblacion-bogota>
- UPME. (01 de 2024). *Unidad de Planeación Minero Energética* . Obtenido de https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/Proyecciones_de_Demanda_Final_v_31_01_2024.pdf