

PROYECTO DE GRADO
PROTOTIPO AUTOMÁTICO DE CIRCULACIÓN DE
AGUA PARA LAVADORAS DOMÉSTICAS EN
BOGOTÁ – 2021

AUTOMATIC PROTOTYPE CIRCULATION OF WATER FOR DOMESTIC
WASHING MACHINES ON BOGOTA - 2021

MISAEEL HURTADO RÍOS
CC: 1082126840

Docente:
C. PhD Giovanna del Pilar Garzón Cortés

Universidad Santo Tomás
Administración Ambiental y de Recursos Naturales
Centro de Atención Universitario Bogotá
Bogotá D.C.
2021

TABLA DE CONTENIDO

1	RESUMEN.....	5
2	ABSTRACT.....	5
3	INTRODUCCIÓN.....	7
4	PROBLEMA.....	9
4.1	Descripción problema.....	9
4.2	Planteamiento del problema.....	11
4.3	Formulación del problema.....	12
5	JUSTIFICACIÓN.....	13
6	OBJETIVOS.....	15
6.1	Objetivo general:.....	15
6.2	Objetivos específicos:.....	15
7	MARCOS REFERENCIALES.....	16
7.1	Marco de referencia.....	16
7.2	Marco teórico.....	18
7.3	Marco conceptual.....	20
7.4	Marco Legal.....	22
8	METODOLOGÍA.....	26
8.1	Etapas 1. Filtro de agua.....	26
8.2	Etapas 2. Análisis de aguas.....	27
8.3	Etapas 3. Sistema de circulación automático.....	28
8.3.1	Lavado:.....	29
8.3.2	El Enjuague:.....	29
8.4	Etapas 4. Prototipo digital.....	32
9	RESULTADOS.....	33
9.1	Etapas 1. Filtro de agua.....	33
9.2	Etapas 2. Análisis de eficiencia del filtro a partir de la calidad de agua.....	33
9.3	Etapas 3. Sistema de circulación automático.....	43
9.4	Etapas 4. Prototipo digital.....	43
10	CONCLUSIONES.....	45
11	RECOMENDACIONES.....	46
12	BIBLIOGRAFÍA.....	47
13	ANEXOS.....	52

13.1 Etiquetas energéticas de lavadoras	52
13.2 Fotografías.....	52
13.3 Matriz Excel de resultados	55
13.4 Encuesta ahorro de agua Ecowash.....	55
13.5 Cadena de custodia de muestras de agua residual	58

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tarifas de la empresa de acueducto Bogotá.....	10
Tabla 2. Consumo de agua.	13
Tabla 3. Marco legal ambiental	23
Tabla 4. Tipos de ahorro establecidos.....	31
Tabla 5. Parámetros y niveles permisibles de la resolución 631 de 2015	34
Tabla 6. Resultados muestras PRE.....	35
Tabla 7. Resultados muestras POST	36

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Consumo de agua de lavadora por estratos sociales.	10
Figura 2. Abastecimiento de agua para la ciudad de Bogotá y municipios cercanos	17
Figura 3. Consumo de agua residencial por habitante en la ciudad de Bogotá	18
Figura 4. Tubo adsorbente de carbón activado.....	27
Figura 5. Algoritmo de reciclaje de agua automático	30
Figura 6. Porcentaje de remoción de los contaminantes.....	37
Figura 7. Variación pH	37
Figura 8. Variación Demanda Química de Oxígeno (DQO)	38
Figura 9. Variación Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	39
Figura 10. Variación Sólidos Suspendidos Totales (SST).....	40
Figura 11. Variación Sólidos Sedimentables (SSD)	41
Figura 12. Variación Aceites y Grasas (AyG).....	41
Figura 13. Variación Sustancia Activas al Azul de Metileno (SAAM).....	42
Figura 14. Lavadora digital - conexiones principales	44

AGRADECIMIENTOS

El paso por la universidad ha sido de gran satisfacción, espacios llenos de conocimiento y experiencias que logran forjar el carácter profesional, un complemento necesario en el desarrollo académico de una persona, por ello me siento agradecido con la experiencia brindada por la universidad, a los docentes que con su dedicación y compromiso laboran arduamente para brindar todo su conocimiento, gracias por el apoyo durante estos años y por creer en la juventud de este país.

Alcanzar objetivos tan grandes como terminar una carrera profesional no es para nada fácil, y a pesar que en gran medida cada quien es responsable de superar las adversidades, siempre se requiere del apoyo de los profesores. Las huellas generadas por su tenacidad permanecerán en mis recuerdos con una alegría infinita y con la fe que también habré dejado una huella y un grato recuerdo.

Infinitas gracias a mi madre María Lourdes Ríos quien desde la distancia siempre estuvo a mi lado y mucho más en los momentos más complicados de mi carrera profesional, principalmente los últimos semestres, de alguna u otra forma me brindó ese apoyo incondicional necesario para ahondar mayores esfuerzos y finalizar esta etapa de mi vida.

1 RESUMEN

El agua potable debería ser exclusiva para la alimentación, sin embargo, en los hogares con conexión a un acueducto emplean en su mayoría este recurso para diferentes servicios, como higiene personal y aseo de prendas de vestir, siendo caso particular el agua de la lavadora. El presente documento describe un experimento llevado a cabo en un apartamento familiar en la ciudad de Bogotá, cuya propuesta inicial fue presentada en la XIII Feria de Empresarismo y el Emprendimiento de la Universidad Santo Tomás, bajo el nombre Ecowash. De dicha iniciativa, se ha propuesto como objeto principal, proponer un prototipo automático de recirculación de agua gris para lavadora mediante la implementación de un filtro casero, que permita aprovechar el líquido para emplearse en un nuevo ciclo de lavado. El filtro casero es fabricado a partir de botellas de plástico y carbón activado, verificando su viabilidad mediante pruebas de laboratorio y posterior análisis del porcentaje de remoción; la propuesta permite reducir tanto el consumo de agua potable como el costo del servicio, además, optimizar el recurso hídrico fomentando la conservación del mismo y las reservas de agua dulce, considerando esta opción y oportunidad como una estrategia en virtud de la economía circular. Los análisis de laboratorio muestran resultados favorables en términos de reducción de carga contaminante superiores al 50% en parámetros como material suspendido, evidenciando la viabilidad de la propuesta planteada a partir del filtro, junto al sistema automático facilita el aprovechamiento de agua residual, resultando práctico para reducir el consumo de agua.

Palabras clave: agua residual, aprovechamiento de recursos, consumo sostenible, contaminación, economía medioambiental, optimización de recursos.

2 ABSTRACT

Drinking water should be exclusively for food, however, in homes with connection to an aqueduct, most of them use this resource for different services, such as personal hygiene and garment cleaning, in a particular case the water from the washing machine. This document describes an experiment carried out in a family apartment in the city of Bogotá, whose initial proposal was presented at the XIII Entrepreneurship and Entrepreneurship Fair of the Santo Tomás University, under the name Ecowash. The main objective of this initiative has been to propose an automatic

prototype of gray water recirculation for washing machines through the implementation of a home filter, which allows the liquid to be used in a new washing cycle. The home filter is manufactured from plastic bottles and activated carbon, verifying its viability through laboratory tests and subsequent analysis of the removal percentage; The proposal allows reducing both the consumption of drinking water and the cost of the service, in addition, optimizing the water resource by promoting its conservation and fresh water reserves, considering this option and opportunity as a strategy under the circular economy. The laboratory analyzes show favorable results in terms of reducing the pollutant load of more than 50% in parameters such as suspended material, evidencing the viability of the proposal raised from the filter, together with the automatic system, it facilitates the use of residual water, being practical for reduce water consumption.

Keywords: waste water, use of resources, sustainable consumption, pollution, environmental economics, optimization of resources.

3 INTRODUCCIÓN

El agua es considerada como un recurso necesario para la existencia de la vida misma, todos los seres vivos requieren del líquido tanto plantas como animales, el ser humano requiere del agua en su diario vivir para: el aseo personal, la alimentación, las actividades domésticas, además de las actividades económicas como las industriales, etc., sin embargo, se le ha dado un uso inadecuado a este recurso natural, causado por dichas actividades antes enunciadas, por consumo excesivo y la contaminación de fuentes hídricas, por tal motivo algunas personas buscan de una u otra manera reutilizar el agua residual producto del lavado.

En busca de alternativas para reducir y optimizar el consumo de agua, teniendo en cuenta la problemática mencionada anteriormente, surge la idea de diseñar un prototipo digital de circulación automática de agua residual doméstica generada por el uso de la lavadora, para emplear nuevamente el agua en próximos ciclos de lavado, los cuales permiten reducir el consumo, disminuyendo a su vez costos por el servicio público en un hogar de la ciudad de Bogotá.

Con un software se diseña un modelo digital en tercera dimensión que permite visualizar lo que sería un prototipo de recirculación de agua, este tendría como accesorio principal un sistema de tratamiento casero, diseñado a partir de material reciclable y elementos que fungirán como filtro para reducir trazas de partículas y otros contaminantes de lavados previos.

A partir del modelo anterior, se desarrolla una acción exploratoria con una prueba piloto en un hogar, con toma de muestras de agua residual antes y después del filtro para demostrar el porcentaje de remoción del mismo, validando su funcionamiento y considerando el conocimiento adquirido en la formación del programa de Administración Ambiental y de los Recursos Naturales (AARN) y el optimismo de plantear alternativas de protección del ambiente bajo la premisa del desarrollo sostenible.

Los resultados del análisis de laboratorio fueron comparados antes versus después de la instalación del filtro, adicionalmente teniendo en cuenta la normatividad ambiental aplicable, la resolución 631 del 17 de marzo de 2015 la cual estipula los parámetros y límites permisibles más relevantes. Estos demostraron un cumplimiento normativo y también una reducción superior al 50% en algunos casos, logrando el resultado esperado del experimento.

El documento en general cuenta con los siguientes apartados: inicialmente se abordará el planteamiento del problema, el cual describe la situación que pretende solucionar el presente proyecto y datos específicos que demuestran la importancia del mismo, seguidamente, la justificación el cual plantea argumentos que motivaron realizar este experimento, los objetivos general y específicos indicarán la finalidad de la investigación, posteriormente, los marcos referenciales asociados al proyecto, continuando con la metodología la cual indicará las etapas de desarrollo del proyecto, y finalmente serán expuestos los resultados del experimento junto con las conclusiones y recomendaciones.

4 PROBLEMA

4.1 Descripción problema

Mediante los avances tecnológicos el ser humano ha buscado reducir esfuerzos y tiempos en actividades básicas asociadas a acciones del hogar, entre ellas se encuentran instrumentos que han sido de gran ayuda y reducido horas de dedicación humana a estas funciones. Para el caso de estudio, se hace énfasis en la lavadora, cuya máquina desarrolla procesos de limpieza de prendas de vestir y telas en general. El proceso de lavado de ropa, varía dependiendo de la máquina, donde:

- El consumo de agua oscila entre 100 hasta 136 litros de agua por ciclo completo para una capacidad respectiva de 7 a 13 kg de capacidad de la máquina. (Basado en las tarjetas energéticas de lavadoras, ver anexos).
- La frecuencia de uso de la máquina depende del número de integrantes de la familia, esta varía de 1 a 3 veces por semana, principalmente¹.
- El agua residual doméstica de dicho proceso en su mayoría contiene grandes cargas de grasas, tensoactivos o detergentes, sólidos suspendidos totales y sedimentables, los cuales afectan directamente los cuerpos de agua como ríos y quebradas al carecer de algún sistema de tratamiento previo².

Otro aspecto importante es el costo del consumo de agua en el sector residencial, en una vivienda de estrato bajo (1, 2 o 3); sin bien la tecnología de las lavadoras avanza a pasos agigantados, la mayoría de los hogares de dichos estratos cuentan con una lavadora convencional, o carecen de la misma, por otra parte, en la ciudad de Bogotá se otorga 6 metros cúbicos de agua sin costo bajo el decreto 064 de 2012 el concede el derecho al mínimo vital para estratos 1 y 2, lo anterior refleja un alivio económico, adicional al subsidio en la tarifa por cada \$100 que un usuario consume en estrato 1 el Distrito reconoce \$70, para estrato 2 se subsidia \$40 por cada \$100 y para el estrato 3 se reconoce un valor de \$15 por el consumo de cada \$100, los cuales serán descontados en la factura del servicio. (Empresa Acueducto y Alcantarillado de Bogotá EAAB ESP, 2021).

¹ Datos tomados de encuesta realizada en 2019, para la presentación del proyecto en la feria de emprendimiento Ver Encuesta en anexos 13.4

² La resolución 631 de 2015 del Ministerio de Medio Ambiente, artículo 8, estipula estos parámetros como contaminantes criterios debido a las soluciones individuales de saneamiento de viviendas familiares.

A pesar que la administración distrital ofrece algunos beneficios mediante subsidios y el mínimo vital el costo sigue siendo elevado, teniendo en cuenta los ingresos de una familia de estrato socioeconómico bajo; la Tabla 1, muestra los valores de referencia para cada uno de los tipos de costos que aplica en la ciudad de Bogotá para los estratos del 1 al 3, desde diciembre de 2020 hasta marzo de 2021.

Tabla 1. Tarifas de la empresa de acueducto Bogotá.

R	CARGO FIJO/2 Meses \$	diciembre-2020	enero-2021	febrero-2021	marzo-2021
E	Estrato 1	1,893.58	1,893.58	1,950.78	1,950.78
S	Estrato 2	3,787.18	3,787.18	3,901.54	3,901.54
I	Estrato 3	5,365.16	5,365.16	5,527.20	5,527.20
D	CONSUMO BÁSICO \$/m ³	diciembre-2020	enero-2021	febrero-2021	marzo-2021
E	Estrato 1	818.79	818.79	838.51	838.51
N	Estrato 2	1,637.58	1,637.58	1,677.01	1,677.01
C	Estrato 3	2,319.91	2,319.91	2,375.77	2,375.77
I	CONSUMO NO BÁSICO \$/m ³	diciembre-2020	enero-2021	febrero-2021	marzo-2021
A	Estrato 1	2,729.30	2,729.30	2,795.02	2,795.02
L	Estrato 2	2,729.30	2,729.30	2,795.02	2,795.02
	Estrato 3	2,729.30	2,729.30	2,795.02	2,795.02

Fuente: Tomado de Empresa Acueducto y Alcantarillado de Bogotá EAAB ESP, 2021. Tarifas del servicio en (\$) con base a la modalidad de servicio prestado.

Como lo evidencia la tabla anterior, las tarifas presentan un aumento progresivo en el cargo fijo de agua, sumado a ello que el consumo del agua en la lavadora es mucho mayor en los estratos más bajos en comparación con los altos, tal cual lo refleja la Figura 1.

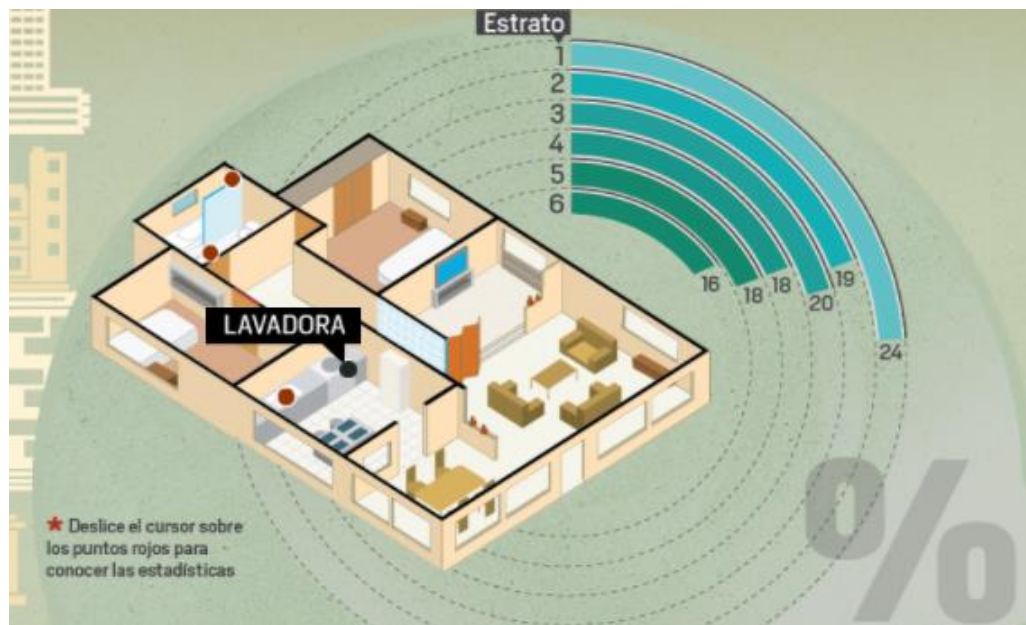


Figura 1. Consumo de agua de lavadora por estratos sociales.

Fuente: Tomado de la web www.eltiempo.com, 2014.

Los estratos más bajos presentan mayor consumo de agua al hacer uso de la lavadora en sus hogares.

En resumen, la Figura 1 muestra que el consumo de agua por el uso de la lavadora es mayor en los estratos 1, 2 y 3 probablemente porque hay mayor población en dichos estratos socioeconómicos, tal cual lo demuestra el censo nacional de población y vivienda del 2018 (Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE, 2018), de manera que del 100% del consumo de agua, estrato 1 emplea un 24% en dicha actividad, el estrato 2 alcanza un 19% de total del consumo de agua, por su parte el estrato 3 emplea un 20%, mientras que un hogar de estrato 4 y 5, sólo emplean 18% al usar la lavadora, por último, en el estrato 6, del 100% de agua consumida sólo 16% está dirigido al lavado de ropa.

4.2 Planteamiento del problema

Muchos hogares en la ciudad por economía, buscan alternativas para reutilizar el agua de la lavadora, las familias recurren a canecas y operación manual que implica la intervención de la máquina y en algunos casos tiempo al lado de la misma para manipularla en el momento oportuno, para evitar que el agua termine en el desagüe desperdiciando litros valiosos del preciado líquido que podrían ser reutilizados. El consumo de agua potable es un factor relevante y está asociado a la capacidad de la lavadora, esta información es suministrada por las tarjetas energéticas y para el presente proyecto se tienen como base una lavadora con 7 kg de capacidad y un consumo de 100 litros de agua por ciclo (Haceb, 2019), otra máquina de mayor capacidad con 13kg y 136 litros por cada ciclo (Whirlpool 2019), siendo el uso de la lavadora una de las actividades que más impactan sobre el consumo de agua potable en una vivienda. (Eltiempo.com, 2014)

Los hogares de estrato socioeconómico 1, 2 o 3, cuentan con limitados recursos económicos que se han visto acentuados a partir de la Covid 19, para acceder a tecnologías que le permitan disminuir el consumo de agua o instalar sistemas robustos de recirculación del fluido, que puedan ser aprovechadas en próximos ciclos de lavado.

El costo de producción para 1 metro cúbico en la ciudad de Bogotá es de \$2784, por su parte el beneficio por subsidio estipulado en el distrito capital bajo el rango de consumo básico, cuesta \$835 para el estrato uno, un metro cúbico, para el 2 cuesta \$1670 y para el estrato 3, \$2366. (Empresa Acueducto y Alcantarillado de Bogotá EAAB E.S.P., 2021)

4.3 Formulación del problema

Lo anterior, hace que este estudio considere la siguiente pregunta de investigación, la cual refiere a ¿Cómo estructurar un prototipo automático de recirculación de agua para lavadoras domésticas en la ciudad de Bogotá, cuyo diseño genere un beneficio económico y ambiental?, ¿Cómo debe ser el filtro casero que permita reducir significativamente las trazas contaminantes presentes luego del lavado, y su vez facilite el uso en un próximo lavado reduciendo costos y consumo de agua?

5 JUSTIFICACIÓN

Las lavadoras han sido diseñadas para reducir trabajo, tiempo y consumo de agua en el proceso de lavado de prendas de vestir en general, permitiendo lavar varias piezas de tela al mismo tiempo optimizando recursos, en la medida que la tecnología avanza los diseñadores de estas máquinas hacen lo suyo.

Con base en la información obtenida de las tarjetas energéticas (ver anexos 13.1) una lavadora con capacidad de 7 kg necesita cerca de 100 litros de recurso hídrico en cada ciclo, por su parte una máquina con capacidad de trabajo de 13 kg requiere aproximadamente 136 litros para el mismo trabajo; la frecuencia de lavado depende de la cantidad de personas que habitan una vivienda, sin embargo, la periodicidad puede ser alrededor de una (1) a tres (3) veces cada semana de acuerdo con una encuesta realizada en 2019 (ver anexos 13.4); con una frecuencia de uso máxima de (3) tres veces a la semana una máquina de lavado de 7kg emplearía 300 litros por semana o 1200 litros cada mes, a su vez la máquina de 13 kg de capacidad, requeriría de 408 litros/semana o cerca de 1.6 m³/mes.

Generalmente los ciclos de lavado se fraccionan en 3 partes: el primero es el lavado, seguido de dos enjuagues, estos últimos implican remojar, enjuagar, un lavado y por último exprimir las prendas –todas las fases necesitan agua limpia– sin embargo, sólo la primera – el lavado– emplea detergente, ello posibilita el reciclaje del agua de las fases restantes. La Tabla 2 describe un resumen con los tipos de lavadora y el posible consumo de agua.

Tabla 2. Consumo de agua.

TIPO DE LAVADOR A	CONSUMO AL USAR LA LAVADORA 3 VECES POR SEMANA		
	CICLO (l) ³	(l/ Semana)	(l/Mes) ⁴
7kg	100	300,0	1200,0
13Kg	136	408,0	1632,0

Fuente: Diseño Propio, 2021, basado en las etiquetas energéticas de lavadoras de las marcas Haceb y Whirlpool.

³ A partir de las etiquetas energéticas de lavadoras de 7 y 13 kg, ver etiquetas en anexos. (Haceb, 2019) (Whirlpool, 2019)

⁴ Consumo aproximado ya que depende del tipo de ciclo seleccionado.

Como se evidencia en la tabla anterior, el consumo de agua en una lavadora teniendo en cuenta la información suministrada por los fabricantes, alcanza hasta los 136 litros por ciclo, de los cuales hasta el 60% podría ser reutilizado en otras etapas de un nuevo lavado, lo anterior permite reducir el consumo de agua por uso de lavadora, ayudando en gran medida a la conservación y protección del recurso

Conservación porque se emplea menos agua para la misma actividad, aprovechando al máximo su beneficio y permitiendo que las reservas de agua potable se mantengan en el tiempo, garantizando el suministro del recurso en un futuro. Protección porque al consumir menos agua se reduce la cantidad de agua residual doméstica que llegaría a las plantas de tratamiento y por ende a los afluentes.

Adicional y quizá la razón principal, es el ahorro económico que representaría el reducir el consumo de agua, al disminuir hasta un 60% el valor que costo del servicio por concepto de uso del recurso hídrico, desde el aspecto social, es posible instalar en cualquier vivienda independiente de su tamaño o estrato socioeconómico, logrando mayores beneficios para aquellos de escasos recursos económicos, por último, ambientalmente significa una reducción de la cantidad de aguas grises a tratar, conservación y uso sostenible del recurso hídrico.

6 OBJETIVOS

6.1 Objetivo general:

Diseñar un prototipo digital de circulación automática de agua para lavadoras domésticas que permita reutilizar este recurso en próximos ciclos de lavado.

6.2 Objetivos específicos:

1. Implementar un filtro de agua que funcione como sistema de control o tratamiento y permita reducir componentes fisicoquímicos del agua residual doméstica producto del lavado de prendas.
2. Analizar la efectividad del filtro a partir de una prueba piloto mediante análisis de laboratorio del agua residual antes y después de estar instalado, y proponer ajustes dependiendo de los resultados.
3. Proponer un sistema de circulación de agua residual para una lavadora con ayuda de un algoritmo que permita su almacenamiento y reutilización automáticamente.

7 MARCOS REFERENCIALES

Los marcos enumerados a continuación, buscan facilitar la comprensión de este proyecto y describir la situación colombiana en la implementación de sistemas de aprovechamiento de aguas grises, producto del lavado de prendas de vestir, partiendo de investigaciones o propuestas de desarrollo tecnológico, que faciliten la actualización, optimización o propuesta alterna teniendo en cuenta el objetivo de la pregunta de investigación y los objetivos de este estudio. Es así, que a continuación se desarrollan los siguientes marcos: referencia, teórico, conceptual y legal.

7.1 Marco de referencia

Algunos sistemas de tratamiento y reutilización de aguas residuales de la lavadora han sido propuestos en diferentes ámbitos, por ejemplo, un estudio que tuvo por objeto diseñar un sistema para aprovechamiento de agua residual de lavadora para hogares de Bogotá en el año 2006, la propuesta presentada por Díaz & Ramírez, pretende aprovechar de forma más eficiente el agua generada por el uso de la lavadora para ser empleada en el inodoro, jardines, aseo, entre otras alternativas. Un sistema robusto que requiere espacio para dos tanques con capacidad de 350 litros cada uno, el cual tendría capacidad para almacenar agua residual, un tanque para la captación de esta y otro luego del tratamiento empleado para reducir algunos contaminantes, el cual emplea al menos 6 filtros, el 1, con grava, el 2 con gravilla, 3 y 4 arena, 5 carbón activo y el 6 arena, logrando reducir en un 30% los sólidos suspendidos totales (Díaz & Ramírez, 2016); dentro de las conclusiones manifiestan que es más viable para casas con terraza y que el sistema está limitado por su tamaño, debido a su complejidad en la instalación para apartamentos pequeños, otro resultado que se destaca es el ahorro del 25,5 % en consumo general de agua que se obtendría. (Díaz & Ramírez, 2016)

Otro referente del proyecto, es un estudio de eficiencia técnica y económica realizado para un sistema de recolección, tratamiento y posterior uso de agua proveniente de la lavadora, desarrollado para un conjunto multifamiliar con tipo de vivienda de interés social, en la localidad de Usme de la capital del país. El estudio presentado en el año 2018 para la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, estipula una reducción esperada de consumo de agua de 2850 m³ al año, así mismo, que sería nulo el vertimiento de esta agua, minimizando la huella hídrica, adicional un ahorro del 28% en la factura del servicio y agua y acueducto (Salazar & Parra, 2018). Los materiales filtrantes

empleados para el prototipo del filtro, fueron Carbón Activado, Arena Torpedo y Grava en tanque de almacenamiento de 1m x 2m (Salazar & Parra, 2018), un proyecto aún más robusto que el anterior para el tratamiento de aguas residuales producto del uso de la lavadora y como factor común el uso de carbón activado.

La propuesta de investigación en el presente estudio es desarrollada en una vivienda de alrededor de 50 m², habitada por tres (3) personas, categorizada como estrato socioeconómico tres (3), ubicada en la ciudad de Bogotá D.C., empleando una lavadora de 13 kg de capacidad.

El agua potable consumida por los habitantes de la ciudad de Bogotá proviene de páramos cercanos como el Chingaza, Guerrero y Sumapaz (Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá EAAB ESP, 2006), la Figura 2 muestra las diferentes fuentes de abastecimiento de agua potable la capital colombiana.

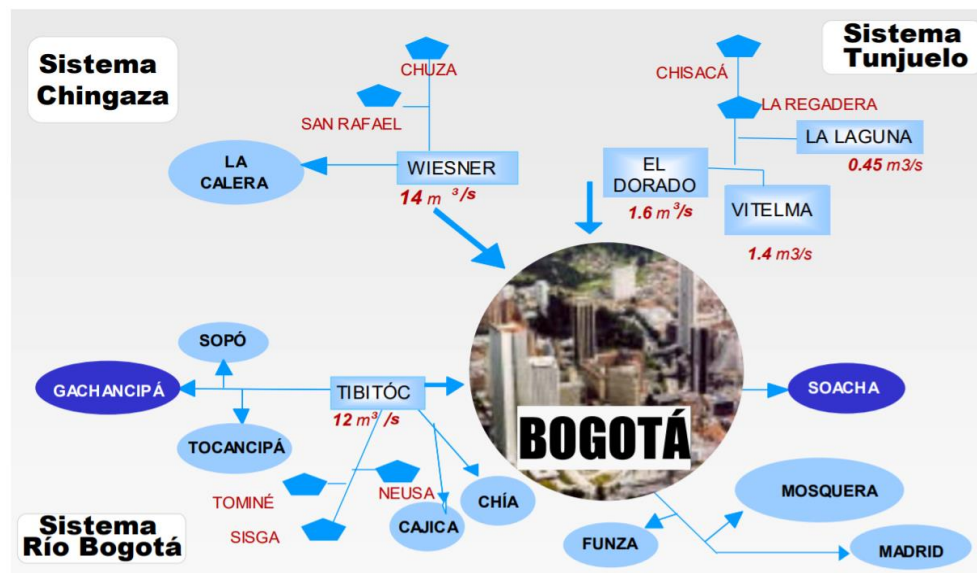


Figura 2. Abastecimiento de agua para la ciudad de Bogotá y municipios cercanos

Fuente: Tomado de Empresa Acueducto y Alcantarillado de Bogotá EAAB ESP, 2006

Bogotá y municipios cercanos se abastecen de agua potable de tres sistemas: Sistema Chingaza, Sistema Norte⁵ y Sistema Sur⁶

El agua proviene principalmente de páramos, uno de ellos ubicado en Parque Natural Chingaza, exactamente de los embalses San Rafael y Chuza, el páramo de Chingaza provee cerca del 80% de

⁵ Cuenca del Río Bogotá (Tominé, Sisga y Neusa)

⁶ Sistema Tunjuelo (Chisacá, La Regadera)

agua a la ciudad de Bogotá (Zamora, 2016), por otra parte el consumo de agua en zona residencial por habitante alcanzó 80,5 litros por habitante al día (Observatorio Ambiental de Bogotá, 2021) tal cual se ilustra en la Figura 3.

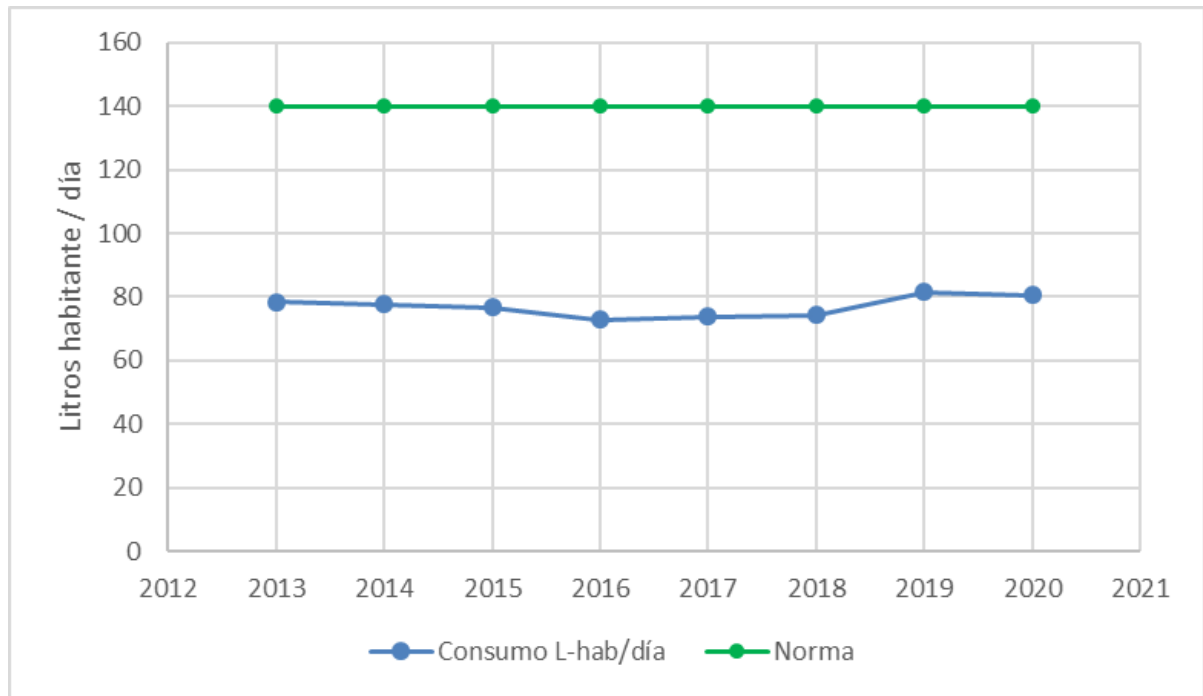


Figura 3. Consumo de agua residencial por habitante en la ciudad de Bogotá

Fuente: Diseño propio, 2021. Basado en los indicadores del observatorio ambiental de la ciudad de Bogotá. Registro del consumo promedio anual de agua por habitante en zona residencial.

La figura muestra el consumo de agua por habitante en litros por día, registrado en promedio desde el 2013 al 2020, también se tiene como referente la norma de 140 litros, siendo ésta la dotación neta máxima requerida para satisfacer las necesidades por habitante, de acuerdo a la resolución 2320 de 2009 del Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), actual Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). Sin embargo, cada persona necesita máximo 50 litros de agua al día tanto para beber como para la higiene (Organización Mundial de la Salud, OMS, 2021), una cifra muy por debajo de los 80.5 litros que consume en promedio un habitante de la ciudad de Bogotá.

7.2 Marco teórico.

Las investigaciones en busca del aprovechamiento de aguas grises domésticas son primordiales para beneficiar tanto comunidades de bajos recursos como la protección del recurso hídrico; para

alcanzar ese punto de declive, se emplean algunos tipos de tratamiento de aguas residuales que pueden ir de los más básicos hasta sistemas automatizados; como datos destacables se encuentra que a nivel mundial más del 80% de las aguas residuales por actividad de los seres humanos termina en los ríos sin algún tratamiento, y cerca del 70% del agua extraída de cuerpos de agua incluidos los ríos es empleado para riego (Naciones Unidas, 2021), por otra parte, la escasez de agua es un problema que afecta a cerca del 40% de la población mundial (Naciones Unidas, 2021), estos datos están muy alineados al 6 Objetivo de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas: Agua Limpia y Saneamiento; de manera que el aprovechamiento al máximo del recurso hídrico hace parte del objetivo deberá convertirse en prioridad mundial.

A nivel general los tipos de tratamiento de agua residual para reducir contaminantes es denominado procesos unitarios (Ramírez & Mendoza, 2005) cada uno presenta una característica diferente: inicialmente el nivel preliminar busca retener material sólido grueso, seguidamente, un nivel primario reduce material orgánico y una pequeña parte de sólidos suspendidos, el primario avanzado emplean compuestos químicos para mejorar la remoción de contaminantes del nivel anterior, un nivel secundario permite remoción de material orgánico biodegradable y sólidos tanto suspendidos totales, el nivel secundario con inclusión de remoción de nitrógeno y fósforos, luego un nivel de tratamiento terciario y por último un nivel avanzado, estos últimos implican tratamientos anaerobios, ultra filtraciones e incluso adsorción de carbono (Ramírez & Mendoza, 2005).

Partiendo de lo anterior, los procesos de tratamiento de agua residual doméstica son poco robustos para alcanzar por lo menos un nivel secundario de eficiencia en los métodos de tratamientos. Los hogares que implementan sistema de aprovechamiento de agua residual cuentan con tres principios: captación, tratamiento y recirculación (Díaz & Ramírez, 2016).

Este tipo de procesos se emplean en sistemas de tratamientos con ciclos complejos los cuales requieren de al menos dos tanques de almacenamiento de agua, uno para el agua de salida de la lavadora y otro para el agua luego del proceso de tratamiento o filtración, en ambos casos es reflejado el principio de la captación, entre los dos tanques se ubica el tratamiento del agua, este proceso busca reducir la carga contaminante del agua residual, el cual puede ser filtración,

sedimentación, destilación; el proceso de filtración es biológico y emplea un filtro de arena o de carbón activo, (Spenagroup, 2016).

Los sistemas de aprovechamiento implementan un filtro carbón activado ya sea fino o granulado, para la eliminación de contaminantes, sabores y olores, –inclusive material orgánico– mediante la adsorción, es frecuente el uso de este elemento empleando filtración de agua (Orellana, 2005).

El agua residual generada al norte de la ciudad recibe un tratamiento Primario Químicamente asistido, lo cual permite una remoción del 40% de materia orgánica (DBO), y cerca de 60% de Sólidos Suspendidos Totales (SST), (Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá - EAAB, 2021), lo que indica el uso de sustancias químicas para la reducción de contaminantes presentes en el afluente, sin embargo el tratamiento de agua residual está muy ligado la estrategia nacional de economía circular, ya que el uso de agua residual a través de la recirculación mantener la disponibilidad del recurso, mientras reducen los costos los impactos ambientales, (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019), por tanto la recirculación de agua residual para nuevos usos es indispensable en el marco de un gestión sostenible para la conservación y protección de agua.

7.3 Marco conceptual

En este marco se contemplan algunas terminologías que facilitan la comprensión del estudio y que especifican claridad de procesos, que han enmarcado la temática asociada.

El *agua potable* es la que por sus condiciones fisicoquímicas y microbiológicas es apta para el consumo humano sin afectar la salud, estas condiciones están descritas bajo el decreto 1575 y la resolución 2115 del 2007 (Empresas Públicas de Medellín E.S.P., 2016). En otras palabras, coloquialmente se conoce como agua limpia apta para beber, es usada en la mayoría de hogares que tienen conexión a un acueducto. Sin embargo, como se expresó antes el proceso de tratamiento de potabilización es costoso e infiere en uso ineficiente de tratar agua para lavar la ropa, aun cuando existen personas sin acceso a agua potable; puesto que toda agua tomada del servicio de acueducto y alcantarillado (Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá EAAB ESP, 2006), debe ser

devuelta al sistema que en el caso particular de Bogotá va al alcantarillado, el cual logra cobertura del 98,4 en su zona urbana (Superintendencia de Servicios Públicos domiciliarios, 2019).

El uso del agua potable o no apta para el consumo humano en las viviendas o zonas industriales que haya sido empleada para el baño, cocina, lavamos genera vertimientos, es denominada agua residual doméstica (ARD) según la resolución 631 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, por lo general este tipo de agua está cargada de contaminantes y materia orgánica proveniente de la cocina, los principales parámetros estipulados en dicha resolución son:

- Potencial de Hidrógeno (pH), el cual determina el grado de alcalinidad o acidez (Bello, 2019)
- Demanda Química de Oxígeno (DQO), es la cantidad necesaria de oxígeno para oxidar materia orgánica presente en el agua, teniendo en cuenta el tiempo y la temperatura (IDEAM, 2007).
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), es la determinación de oxígeno requerido por microorganismos para estabilización de materia orgánica biodegradable en condiciones aerobias en incubación de 5 días (IDEAM, 2007).
- Sólidos Suspendidos Totales (SST), es material en suspensión presente en el agua (DANE, 2010) es decir es material particulado que por su densidad no logra llegar al fondo de los cuerpos de agua.
- Sólidos Sedimentables (SSED), es material particulado que tiene suficiente peso para que la gravedad lo lleve hasta el fondo de cuerpos de agua.
- Grasas y Aceites (GyA), es la concentración de en mg/l de grasa y aceite que puede contener el agua residual doméstica.
- Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM), es la sustancia utilizada para determinar la presencia o ausencia de detergentes en un cuerpo.

Todos los componentes mencionados anteriormente son determinados por análisis en un laboratorio para identificar su carga contaminante en mg/l, luego comparar con los límites expuestos en el artículo 8 la resolución 631 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Las aguas grises domésticas identificadas como ARD (agua residual doméstica), deben pasar a través de unos procesos de tratamiento, los cuales consisten en reducir la carga de contaminantes y posteriormente podrán ser devueltas a un cuerpo de agua (Rodríguez, 2020), la filtración es uno de esos procesos de tratamiento, que en pocas palabras es pasar agua por un material filtrante que puede ser arena o carbón activado, este último es un material usado para atrapar compuestos orgánicos, ya que su aspecto poroso funciona muy bien en un proceso de adsorción (Zannie, 2020), es decir que los compuestos orgánicos se adhieren fácilmente al carbón activado.

Otro de los procesos es la sedimentación, un proceso que se lleva a cabo por efecto de la gravedad sobre un cuerpo de agua (Pérez Farrás, 2005), y son llevadas hasta el fondo del recipiente que contiene líquido. La destilación emplea temperatura para la separación de líquidos solubles entre sí, es decir que se encuentran mezclados teniendo en cuenta la volatilidad (Noguera, 2020).

El término circulación está ligado a la acción de circular o transitar (Definición.de, 2021) y automático hace referencia a un mecanismo que funciona por sí mismo, qué es átomo (Real Academia Española - RAE, 2021), de manera que la circulación automática del agua significa el tránsito continuo y autónomo del líquido en el sistema, con poca o nula intervención de personas para su correcto funcionamiento. En medio del sistema se encuentra un filtro de agua, este dispositivo es diseñado para limpiar o purificar el agua y existen diferentes tipos de filtros, los más comunes son: filtro de agua de ósmosis inversa, filtros de luz ultravioleta, esta emplea rayos de luz para eliminar bacterias, y también existen filtros carbón, es usado principalmente en hogares ya que elimina bacterias y reduce partículas sólidas y suspendidas (Buch, 2017)

El sistema automático conectado con el filtro funcionará mediante un algoritmo, este es una secuencia de instrucciones que deberá ejecutarse en un orden adecuado hasta terminar el proceso (Hernández, Carreras Riudavets, Rodríguez Rodríguez, & Daniel González, 2009), resulta ser el paso a paso que se llevará a cabo para lograr que agua sea vertida, almacenada o empleada en un nuevo ciclo de lavado.

7.4 Marco Legal

Colombia cuenta con un marco ambiental robusto para la preservación, protección y restauración del medio ambiente. La normativa ambiental abarca la mayoría de las matrices tales como aire,

agua, suelo, para efectos del presente proyecto, este marco legal buscará describir la normativa ambiental más relevante aplicable a la matriz agua y que es considera acorde al proyecto de investigación tal se evidencia en la Tabla 3.

Tabla 3. Marco legal ambiental

Norma/Entidad	Descripción
Constitución Política Colombiana de 1991 Asamblea Nacional Constituyente	Los ciudadanos tienen derecho a disfrutar de un ambiente sano, la ley deberá garantizar la participación de la comunidad cuando este se vea afectado. El estado debe garantizar la protección del medio ambiente su biodiversidad e importancia ecológica
Ley 9 de 1979 (enero 24) Congreso de la República.	Establece las disposiciones generales respecto a la legislación y control de la descargas y residuos que afecten las condiciones sanitarias del medio ambiente
Ley 79 de 1989 (diciembre 30) Congreso de la República .	Establece la protección áreas de reserva forestal para conservar y preservar el agua en el país
Ley 99 de 1993 (diciembre 12) Congreso de la República.	Permite la creación del ministerio de medio ambiente el cual será ente rector de la gestión ambiental y recursos naturales de Colombia, adicional organiza el Sistema Nacional (SINA) quien orienta los principios y normativa ambiental del país.
Ley 142 de 1994 (julio 11) Congreso de la República.	Garantizar la prestación de servicios públicos incluidos agua potable y saneamiento básico, e intención del estado en lo referente a la protección de recursos naturales.
Ley 373 de 1997 (junio 06) Congreso de la república.	Los planes ambientales tanto regionales como municipales deberán incluir un programa obligatorio para el ahorro y uso eficiente del agua, teniendo como base la oferta hídrica, el programa deberá contar con metas anuales de reducción de pérdidas y educación ambiental en lo referente al uso del agua.
Decreto 2811 de 1974 (diciembre 18) Presidencia de la República.	Considera el medio ambiente como un patrimonio común, por tanto, el estado y comunidad en general deben participar en la preservación, manejo y restauración del mismo. Previene y controla los efectos nocivos de la explotación de los recursos no renovables.
Decreto 3102 de 1997 (diciembre 30) Presidencia de la República.	Reglamenta el uso de equipo y sistemas de bajo consumo de agua e inclusión en programa de uso eficiente y ahorro de agua de este tipo de equipos.
Decreto 155 de 2004 (enero 22) Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.	Reglamenta el artículo 43 de la ley 99 de 1993 en lo referente a las tasas por utilización de aguas superficiales y subterráneas.
Decreto 1575 de 2007 (mayo 09) Presidencia de la República.	Establece el sistema de protección de la calidad de agua potable, para prevenir, controlar y monitorear los riesgos a la salud humana.
Decreto 3930 de 2010 (octubre 25) Presidencia de la República.	Establece las disposiciones asociadas con los usos del recurso hídrico, su ordenamiento y los vertimientos al suelo y al alcantarillado.
Decreto 3573 de 2011 (septiembre 27) Presidencia de la República.	Decreto que permite la creación de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales, encargada de que los proyectos y actividades sujetas a licenciamiento cumplan con la normatividad ambiental vigente.

Norma/Entidad	Descripción
Decreto 1640 de 2012 (agosto 02) Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.	Reglamenta instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de cuenca hidrográficas, adicional las comisiones conjuntas y procedimientos para el manejo de área de influencia de cuencas comunes, bajo jurisdicciones entre CAR y Parques Nacionales.
Decreto 2667 de 2012 (diciembre) Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Reglamenta la tasa retributiva por el uso del agua como receptor en vertimientos puntuales, recursos destinados a mejorar la calidad del agua y análisis fisicoquímicos.
Decreto 1076 de 2015 (mayo 26) Presidencia de la República	Expide el decreto único reglamentario del sector ambiente y del desarrollo sostenible el cual compila toda la normativa a nivel nacional.
Decreto 475 de 2015 (marzo 17) Presidencia de la República. Resolución 2314 de 1986 (febrero 24) Ministerio de Salud	Establece el Mecanismo de evaluación y viabilización para proyectos de agua potable y saneamiento básico que puedan ser financiados con recursos privados, como la construcción de alcantarillado y sistemas de acueducto. Reglamenta el uso de productos químicos para el tratamiento de agua potable, como la cal viva, el sulfato de aluminio, cloro hipoclorito.
Decreto 1090 de 2018 (junio 28) Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.	Reglamentó el programa para el uso eficiente y ahorro de agua (PUEAA), con enfoque de minimización, reducción del desperdicio de agua y la recirculación.
Resolución 0866 de 2004 (julio 22) Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.	Adopta el formulario de la información relacionada al cobro de tasas por utilización de aguas y el estado del recurso hídrico que se refiere el Decreto 155 de 2004.
Resolución 1433 de 2004 (diciembre 13) Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.	Reglamenta el plan de saneamiento y manejo de vertimientos PSMV, que incluye construcción y operación para poblaciones iguales o superiores a 200.000 habitantes y su licencia ambiental.
Resolución 3956 de 2009 (junio 19) Secretaría Distrital de Ambiente.	Establece la norma técnica para el control y manejo de vertimientos realizados a cuerpos de agua en el perímetro de la ciudad de Bogotá D.C., fijando estándares máximos para su vertido.
Resolución 955 de 2012 (junio 21) Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.	Adopta el formato para el Registro de Usuarios del Recurso Hídrico en concesiones de agua y autorizaciones para el respectivo vertimiento.
Resolución 631 de 2015 (marzo 17) Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.	Establece los parámetros y límites permisibles en vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y sistema de alcantarillado público a nivel nacional.
Resolución 1508 de 2018 (agosto 4) Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.	Establece el sobrecosto al agua potable para incentivar el uso eficiente y ahorro del agua, y desestimular su uso excesivo, recursos que serán girados al Fondo Nacional Ambiental (Fonam).

Fuente: Diseño Propio, 2021, basado en la normatividad ambiental colombiana del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). El marco legal está enfocado a la matriz agua.

El marco legal se basa en la normatividad ambiental asociada al uso del agua potable, debido a que la mayoría de hogares emplea este recurso directamente de la red del acueducto para uso de la lavadora, el residuo generado durante los ciclos de lavado hace parte del agua residual doméstica ARD, principalmente por la carga de sólidos y detergentes, al generar este subproducto con dichas características cambia automáticamente la normatividad, específicamente aplica la resolución 631 de 2015 del Ministerio de Ambiente.

8 METODOLOGÍA

Este es un estudio de investigación cuantitativo y cualitativo que tiene un diseño metodológico con enfoque descriptivo, prospectivo y evaluativo, desarrollado en cuatro (4) etapas, *i.* la primera consistió en presentar un filtro con carbón activado natural, *ii.* la segunda es un análisis mediante laboratorio de aguas arriba y aguas debajo del filtro propuesto en la primera parte, *iii.* En la 3 etapa se propuso un sistema de recirculación automático de agua en un modelo digital con ayuda de un algoritmo y *vi.* como etapa final, se diseñó el prototipo digital que funcione junto al filtro y el sistema de circulación de agua, formando un sistema automatizado. Seguidamente se profundiza en cada uno de los mismos.

8.1 Etapa 1. Filtro de agua

A partir de la revisión bibliográfica de los prototipos de filtros empleados por Díaz & Ramírez en 2016 –los cuales emplearon grava, arena y carbón activado⁷–, Pérez & Duarte en 2018 –quienes emplearon diferentes materiales filtrantes entre ellos carbón activado⁸– y Orellana Jorge en 2005 quien explica el uso del carbón activado en diferentes tratamientos de aguas, se tomó como base el siguiente sistema para fabricar un filtro de agua a modo experimental, por lo cual se requirió de los materiales que se exponen a continuación:

Las botellas de plástico de 3L (ver anexos 13.2), son un material que pocas veces se reutiliza, es ideal como propuesta para la implementación del filtro, su boca tiene un diámetro muy similar a la manguera de desagüe de la lavadora, el espacio interno de la botella es la cámara donde se depositó el material filtrante.

La sustancia propuesta para filtrar y reducir carga contaminante es carbón activado natural, envuelto en tela de media velada, adicional guata para relleno, la base de inspiración fue un tubo adsorbente de carbón activado como se muestra en la Figura 4, empleado para monitoreos de calidad de aire y filtros de agua potable, el costo de carbón activado es bajo resultando ser económicamente viable. Este tubo es comúnmente usado en laboratorios ambientales para capturar muestras.

⁷ Diseño de un sistema para aprovechamiento de agua residual de lavadora para hogares de Bogotá en el año 2006, Díaz & Ramírez, 2016.

⁸ Sistema de recolección, tratamiento y posterior uso de agua proveniente de la lavadora, desarrollado para un conjunto multifamiliar con tipo de vivienda de interés social, Pérez & Duarte, 2018.



Figura 4. Tubo adsorbente de carbón activado

Fuente: Fotografía propia, 2021. Tubo en vidrio, 7 cm de longitud.
 Contiene carbón activado y algodón para mantenerlo dentro de la cámara.

El carbón activado fue almacenado al interior de la botella, igual que la imagen anterior, forrado en tela de media velada, y con guata de relleno en la entrada y salida del filtro, el cual servirá para retener sólidos suspendidos.

El filtro fabricado fue conectado a la manguera del desagüe de la lavadora, se debió garantizar ausencia de fugas en la conexión con ayuda de un neumático. Luego de instalado correctamente, procedió las pruebas de laboratorio que permitieron determinar la eficiencia del mismo, mediante un porcentaje de remoción analizado en la siguiente etapa.

8.2 Etapa 2. Análisis de aguas

Para analizar el agua producto del lavado y verificar el porcentaje de remoción del filtro, fue necesario tomar muestras antes y después de montar el filtro, con el fin de demostrar estadísticamente valores de concentración lo más cercano a realidad posible, el muestreo de agua fue realizado por triplicado, es decir tres muestras sin la implementación del filtro, denominado en adelante como “PRE” y tres muestras luego que este haya sido instalado, denominado como “POST”

Los parámetros a analizar fueron: potencial de hidrógeno (pH), demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), sólidos suspendidos totales (SST), sólidos sedimentables (SSED), grasas y aceites (GYA) y sustancias activas al azul de metileno (SAAM), estipulados en el artículo 8 de la resolución 631 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, el cual establece los parámetros fisicoquímicos y los valores máximos permitidos en vertimientos puntuales de agua residual domésticas, provenientes de las soluciones individuales de saneamiento de viviendas.

El tipo de muestreo fue puntual, el cual consiste en tomar la muestra directamente del desagüe de la lavadora antes y después de instalado el filtro. Las muestras serán tomadas, conservadas en hielo

y enviadas al Instituto de Higiene Ambiental S.A.S. entidad acredita por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, el cual reportará la concentración en mg/l O₂, mg/l o ml/l dependiendo del parámetro, las unidades (mg/l) son establecidas por la misma resolución 631 de 2015, esto facilitará el comparativo con límite permisible como un referente.

El resultado final será el promedio de las tres muestras tanto en PRE como en POST, posterior a ello, se realiza un comparativo de los datos para determinar la eficiencia del filtro calculando un porcentaje de remoción, empleando la siguiente fórmula:

Ecuación 1. Porcentaje de remoción

$$\%_r = \frac{x_i - x_f}{x_i} * 100$$

Donde:

$\%_r$ = Porcentaje de remoción.

x_i = Promedio “PRE” de las muestras por cada parámetro.

x_f = Promedio “POST” de las muestras por cada parámetro.

100 = Constante de conversión a porcentaje.

Fuente: Tomado de Mathispower4u, 2011, determinación de porcentaje de variación

De esta manera se podrá determinar, en porcentaje, la cantidad de contaminante presente en el agua que ha sido retenida por el filtro a base de carbón activado y a su vez, con estos resultados será posible dictaminar si el filtro es adecuado para el propósito del proyecto. Los resultados serán registrados en una matriz de Excel (ver anexo 13.3), la cual facilitará los medios gráficos para su análisis y descripción, indicando el estado de agua antes y después de usar el filtro, las ventajas y desventajas o en su defecto los errores cometidos con el mismo.

8.3 Etapa 3. Sistema de circulación automático.

Para implementar un sistema de circulación de agua automático se generó un algoritmo que facilite el uso de la lavadora, el usuario sólo necesitará operar una tarjeta electrónica en la cual indicará a la máquina cuando almacenar, desechar o reutilizar el agua. El algoritmo desarrollado se encuentra en la Figura 5, y describe el paso a paso que se ejecutará al momento de usar la lavadora junto con el sistema de circulación. El sistema de circulación automático es planteado en forma de modelo digital.

El funcionamiento del algoritmo parte de dos posibilidades de ahorro, con base en el funcionamiento de la lavadora empleada para el experimento, por lo general, los ciclos de lavado se distribuyen de la siguiente manera:

8.3.1 Lavado:

Esta primera parte consiste en remojar la prenda con adición de detergente (líquido o en polvo), refregarla y por último exprimirla. El producto de esta fase es un agua de un color oscuro con grandes cantidades de suciedad (jabón y material suspendido), que es desechada.

8.3.2 El Enjuague:

La máquina empleada para en la investigación cuentan con dos enjuagues, inicialmente frega nuevamente las prendas con agua limpia, eliminando la mayor cantidad posible de jabón y mugre, el producto (agua), presenta menor cantidad de suciedad, de color un poco más claro que en el lavado; el siguiente enjuague se encarga de expulsar las trazas restantes de detergente, – en este momento del lavado el suavizante es adicionado al proceso– el agua residual resultante contiene menor carga contaminante aunque con trazas de suavizante –siempre y cuando sea usado– y material suspendido. Generalmente las aguas grises del enjuague, son descargadas por el alcantarillado, desconociendo que este residuo tiene potencial suficiente para emplearse nuevamente ya sea en otro proceso de lavado u otra actividad. Principalmente el algoritmo se encargará de guiar el agua a un tanque de almacenamiento, usarla en un nuevo proceso de lavado o tomarla directamente del suministro del acueducto.

Partiendo de lo anterior, el proceso plasmado en algoritmo será el siguiente:

- I. Identificar si hay agua en el tanque de almacenamiento, de lo contrario tomar del tubo (red de acueducto).
- II. Lavar (proceso normal de lavadora con jabón).
- III. Reconocer selección usuaria (Ahorro PRO o ESTÁNDAR) desechar o almacenar.
- IV. Cargar nuevamente agua del acueducto (ESTÁNDAR), del tanque (PRO).
- V. Enjuague 1 (proceso normal de lavadora).
- VI. Desechar o almacenar (PRO o ESTÁNDAR).
- VII. Enjuague 2 (proceso normal de lavadora).
- VIII. Desechar o almacenar (PRO o ESTÁNDAR).

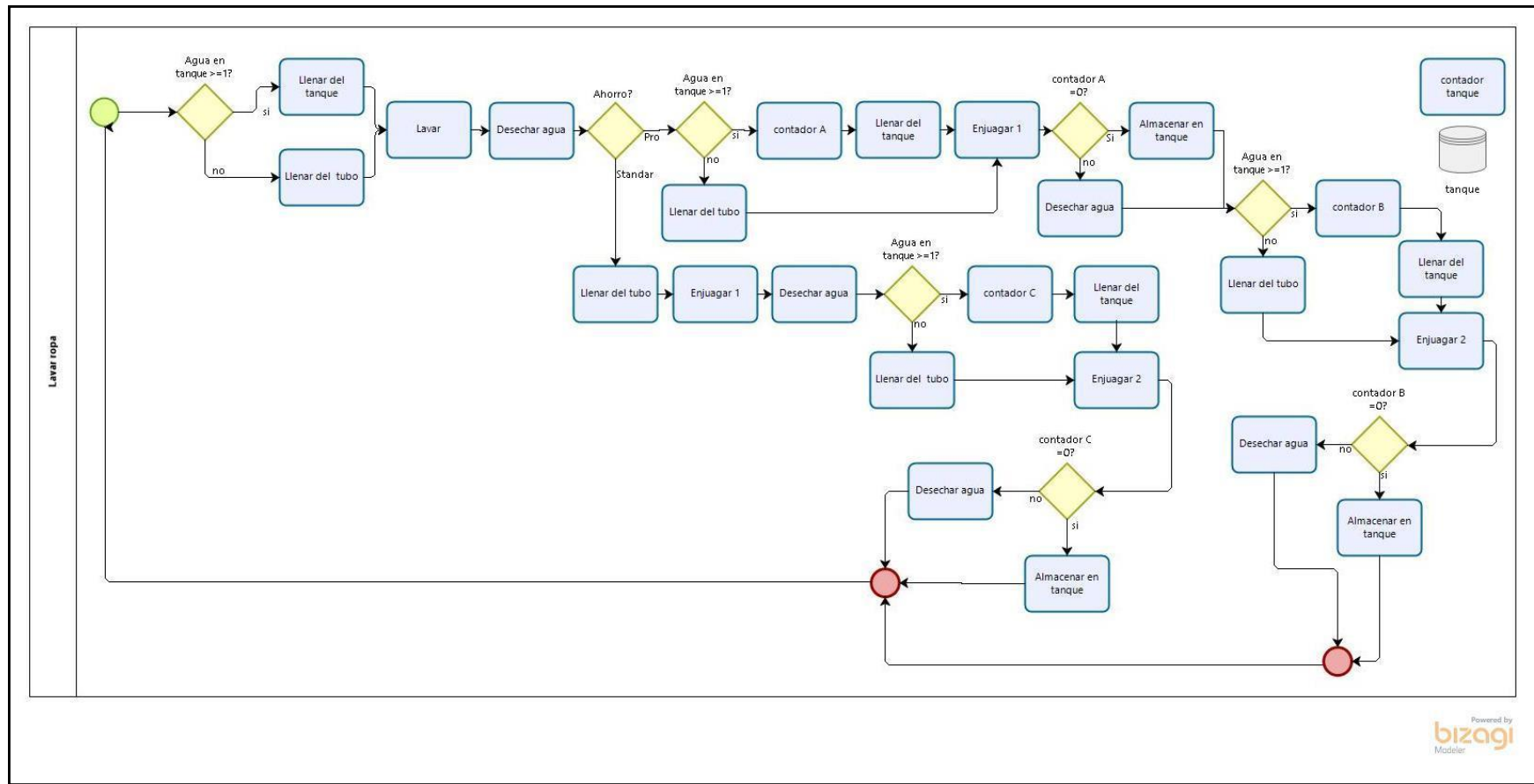


Figura 5. Algoritmo de reciclaje de agua automático

Fuente: Diseño propio a través de Bizagi. Algoritmo encargado de almacenar, reusar o tomar del tubo de suministro, agua para el proceso de lavado.

● Inicio proceso. ◆ Toma de decisión. □ Proceso. ● Fin proceso.

La lavadora en la cual se realiza el experimento emplea un ciclo de lavado compuesto por tres etapas principales:

i. Lavado: la primera etapa implica la aplicación del detergente sobre las prendas, momento en el cual la lavadora empleando agua y jabón retirará la mugre y posteriormente exprime el agua con gran cantidad de suciedad.

ii. Enjuague 1: Ocurre inmediatamente que la lavadora finaliza la etapa anterior, descargando agua limpia sobre las prendas para retirar trazas de jabón y mugre.

iii. Enjuague 2: La última etapa la cual lava finalmente las prendas dejándolas libres de jabón y mugre.

Teniendo en cuenta que son tres momentos (100%), cada uno de ellos representa una tercera parte (33,3%) del ciclo total de lavado. Los enjuagues 1 y 2, se encuentran libres de detergentes, sólo necesitan agua para completar la etapa; siendo estos los momentos de interés para el desarrollo del experimento; aprovechar el agua residual del último enjuague genera una clase de ahorro standard (33,3%) y al aprovechar los dos enjuagues, el ahorro podría catalogarse como pro (66.6%). De tal forma, el algoritmo cuenta con las dos posibilidades de ahorro explicadas anteriormente, **STANDARD** y **PRO**. La Tabla 4 muestra en resumen las posibilidades de ahorro anteriormente descritas.

Tabla 4. Tipos de ahorro establecidos

CICLO DE LAVADO	PORCENTAJE (%)	CLASE DE AHORRO	
		STANDARD	PRO
Lavado (detergente)	33.3		
Enjuague C ₁	33.3		X
Enjuague C ₂	33.3	X	X
Total (%)	100	33.3	66.6

Fuente: Hurtado, 2019. Posibilidades de ahorro de agua de la lavadora.

De esta manera, el operario de la lavadora con ayuda del algoritmo indicará a la máquina cuál proceso deberá ejecutar para el ahorro o reciclaje del agua residual producto del lavado.

8.4 Etapa 4. Prototipo digital.

Con ayuda del software denominado Sketchup Pro se diseña un prototipo digital en tercera dimensión (3D) con los componentes requeridos y de importancia para su óptimo funcionamiento. El programa empleado, un software especializado en diseños digitales en tercera dimensión, facilita la visualización y personalización (Trimble, 2020) de diferentes prototipos, este programa inicialmente fue desarrollado por Last Software luego fue comprado por Google y en la actualidad pertenece a la empresa Trimble. (3dnatives, 2020)

Las componentes importantes con las conexiones de tubería entre la lavadora y el tanque de almacenamiento, este debe tener la capacidad de al menos dos cargas de la lavadora en su máxima carga de trabajo; de acuerdo con la etiqueta energética de la máquina empleada para el experimento, esta cuenta con una capacidad de 13 kg y usa aproximadamente 136 litros de agua por ciclo de lavado, es decir que el tanque debe contar con una capacidad de al menos 91 litros. El diseño digital también indica la ubicación del filtro, sus salidas y entradas de agua.

9 RESULTADOS

A continuación, los resultados se describen en el mismo orden presentados en la metodología acorde los objetivos planteados, iniciando desde los específicos para culminar con el objetivo general del proyecto planteado.

9.1 Etapa 1. Filtro de agua

El filtro empleado para la realización del presente proyecto, fue inspirado a partir de un filtro de carbón activado, generalmente usado como medio de captación de carbonos orgánicos volátiles (COV) en estudios ambientales de calidad de aire o en filtros de agua potable. Como se expresó en la metodología en la etapa 1, el filtro se elaboró mediante una botella plástica de gaseosa de 3 litros (ver anexos 13.2) fue considerada la más apta para tal fin principalmente por su capacidad de almacenamiento, fue necesario dejar un espacio libre al interior de la botella para permitir poca resistencia de flujo de agua y que el caudal del desagüe fuera siempre el mismo, evitando posibles daños en la máquina de lavado.

La cantidad de carbón activado depositado al interior del filtro fue de 400 gr aproximadamente con una capa entre 5 y 10 cm de guata, la base de la botella cuenta con 5 soportes principales los cuales fueron perforados para permitir 5 salidas de agua (ver anexo 13.2 fotografías), como elemento adicional se emplea la tela velada la cual cubre toda la botella.

Antes del montaje del filtro se tomaron muestras puntuales del agua residual, denominadas PRE posterior a ello, fue necesario ensamblarlo a la boca de salida del desagüe, para ello se emplearon elementos que evitan la filtración de agua.

9.2 Etapa 2. Análisis de eficiencia del filtro a partir de la calidad de agua

El experimento inicia con la toma de muestras antes de instalar el filtro para realizar un análisis del laboratorio que fue denominado PRE, y después, otra toma de muestras luego su instalación denominado POST, lo cual consistió en pasar agua residual de lavado de ropa por el mismo, y luego almacenar el líquido en un tanque de capacidad de 100 litros.

Los parámetros a determinar de acuerdo 631 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible son:

- Potencial de Hidrógeno (pH).
- Demanda Química de Oxígeno (DQO).
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅).
- Sólidos Suspendidos Totales (SST).
- Sólidos Sedimentables (SSED).
- Grasas y Aceites (GyA).
- Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)

La resolución 631 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, en el artículo 8 estipula los parámetros fisicoquímicos y los valores máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales domésticas ARD, tal cual se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5. Parámetros y niveles permisibles de la resolución 631 de 2015

PARÁMETRO	UNIDADES	ARD DE LAS SOLUCIONES INDIVIDUALES DE SANEAMIENTO DE VIVIENDAS UNIFAMILIARES O BIFAMILIARES
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidades de pH	6,00 a 9,00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l O ₂	200.00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/l O ₂	-
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/l	1.00
Sólidos Sedimentables (SSD)	ml/l	5.00
Aceites y Grasas (AyG)	mg/l	20.00
Sustancias Activas al azul de Metileno (SAAM)	mg/l	-

Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), 2015. Los parámetros como DBO y SAAM se incluyen como informativos, estos no cuentan con límites permisibles para este tipo de vertimientos

Las muestras para determinar los parámetros mencionados anteriormente, son tomadas en recipientes con características específicas:

- Para la determinación de Aceites y grasas(AyG) es empleado un frasco de cristal boca ancha de 1000 ml de capacidad, el cual cuenta con un preservante de muestra denominado ácido clorhídrico (HCL) en concentración pura.

- Para determinar la demanda química de oxígeno (DQO), se emplea un frasco ámbar en vidrio de boca angosta con 250 ml de capacidad, como preservante se emplea ácido sulfúrico (H_2SO_4) en concentración pura.
- Los recipientes donde se almacena la muestra para determinar los demás parámetros, son garrafas de plástico de 2 litros de capacidad.

A continuación la Tabla 6 muestra los resultados de las muestras tomadas antes de instalar el filtro, y cantidad de muestras tomadas, cada parámetro fue analizado para hallar su concentración en unidad correspondiente teniendo como referencia la resolución 631 de 2015.

Tabla 6. Resultados muestras PRE

PRE⁹						
PARÁMETRO	UNIDADES	M₁	M₂	M₃	PROMEDIO	NORMA
pH	-	6.76	6.4	6.51	6.56	6,00 a 9,00
DQO	mg/l O ₂	43.3	<32	<32	<35.77	200.00
DBO ₅	mg/l O ₂	22.5	16	13.7	17.40	-
SST	mg/l	19.4	21	21.2	20.53	100.00
SSED	ml/l	4	5	4	4.33	5.00
GYA	mg/l	<10	<10	<10	<10.00	20.00
SAAM	mg/l	3.08	3.66	3.53	3.42	-

Fuente: Diseño propio a partir de los resultados de laboratorio, 2021.
Resumen de los resultados de cada uno de los parámetros analizados.

Las muestras fueron tomadas por triplicado, el resultado final será el promedio de los datos reportados. Los resultados promedio se encuentran por debajo de los límites permisibles estipulados en la normatividad ambiental aplicable, evidenciando el cumplimiento en cuanto a la calidad de agua vertida al alcantarillado.

La Tabla 7 muestra los resultados de laboratorio de cada uno de los parámetros, posterior a la instalación e implantación del filtro, junto con los límites permisibles aplicables por normatividad.

⁹ Para el caso de los resultados presentados con el símbolo (<) indica que el valor hallado está por debajo del límite de cuantificación de la técnica analítica empleada para su determinación, la comparación se realiza de forma indicativa.

Tabla 7. Resultados muestras POST

POST						
PARÁMETRO	UNIDADES	M ₁	M ₂	M ₃	PROMEDIO	NORMA
pH	-	6.67	6.43	6.65	6.58	6,00 a 9,00
DQO	mg/l O ₂	42.5	37.9	0.192	26.86	200.00
DBO ₅	mg/l O ₂	22	19	21	20.67	-
SST	mg/l	5	<5	5.2	5.07	100.00
SSED	ml/l	<1	<1	<1	<1.00	5.00
GYA	mg/l	<10	<10	<10	<10.00	20.00
SAAM	mg/l	1.99	2.27	2.09	2.12	-

Fuente: Diseño propio a partir de los resultados de laboratorio, 2021.

Resumen de los resultados de cada uno de los parámetros analizados después de instalar el filtro.

El resultado promedio de las muestras es comparado con los límites permisibles, la variación respecto a los resultados PRE, se evidencia en una reducción del contaminante, exceptuando la demanda bioquímica de oxígeno, sin embargo, en ningún caso las concentraciones superaron los límite permisibles.

Luego de realizar el análisis tanto PRE como POST, mediante la siguiente fórmula, procede determinar el porcentaje de remoción (%r) y verificar la eficiencia del filtro implementado.

$$\%_r = \frac{x_i - x_f}{x_i} * 1$$

Donde:

$\%_r$ = Porcentaje de remoción.

x_i = Promedio “PRE” de las muestras por cada parámetro.

x_f = Promedio “POST” de las muestras por cada parámetro.

1 = Constante de conversión a porcentaje.

La Figura 6 muestra los porcentajes de remoción hallados para cada parámetro, realizando la comparación entre los resultados del análisis de laboratorio.

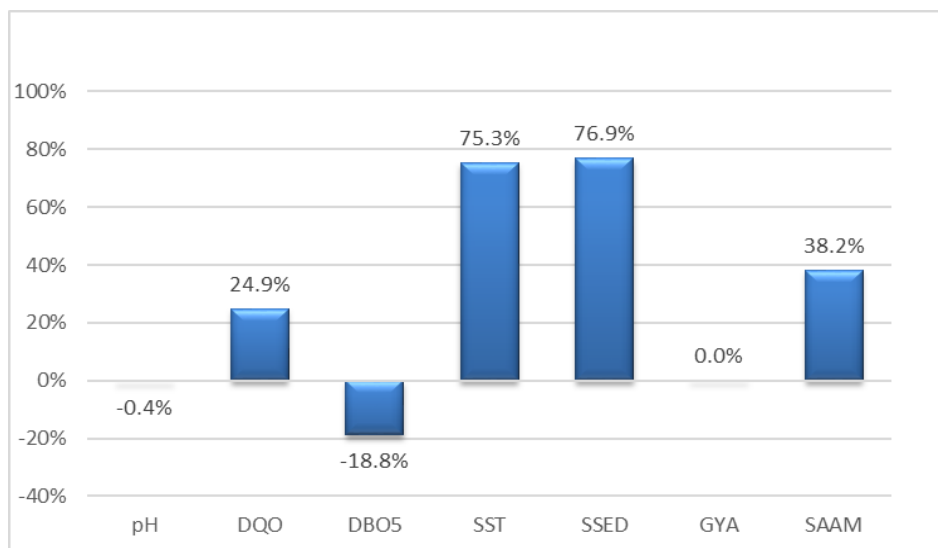


Figura 6. Porcentaje de remoción de los contaminantes
Fuente: Diseño propio a partir de los resultados de laboratorio, 2021.

Cada uno de los parámetros presenta una variación ya sea positiva o negativa, es de aclarar que el cálculo realizado para el potencial del hidrógeno, sólo se realiza de carácter informativo, debido a que el filtro no cuenta con un sistema que modifique dicha característica química del agua, sin embargo, el único control que se realiza es su variación ya sea por debajo o por encima de los valores de referencia estipulado en la resolución 631 de 2015.

La Figura 7 evidencia la variación del potencial de hidrógeno medido en el agua residual de la lavadora.

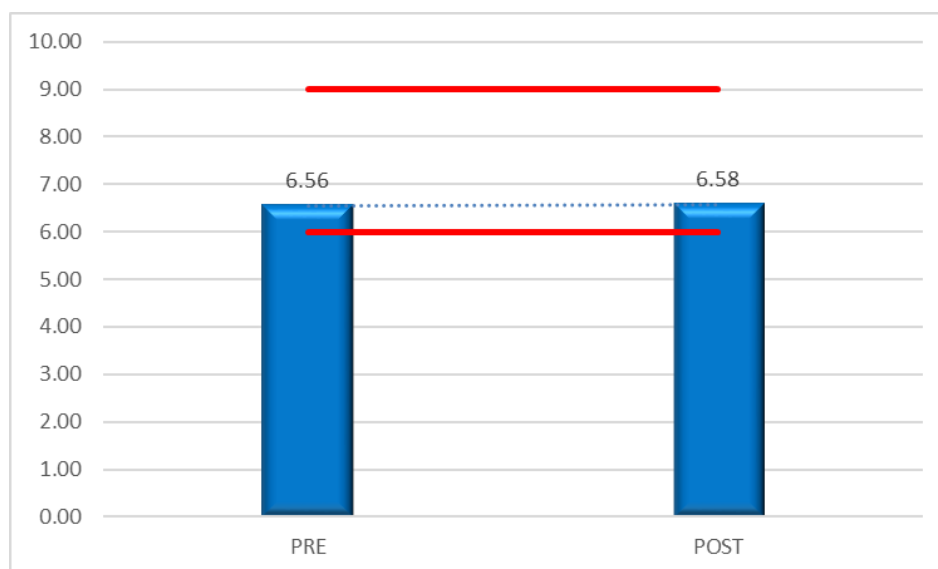


Figura 7. Variación pH
Fuente: Diseño propio a partir de los resultados de laboratorio, 2021.

El resultado muestra que el valor de pH se encuentra dentro de los valores estipulados por la normatividad, garantizando que el agua al estar en contacto con el material filtrante mantiene sus propiedades. La Figura 8 muestra la variación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno.

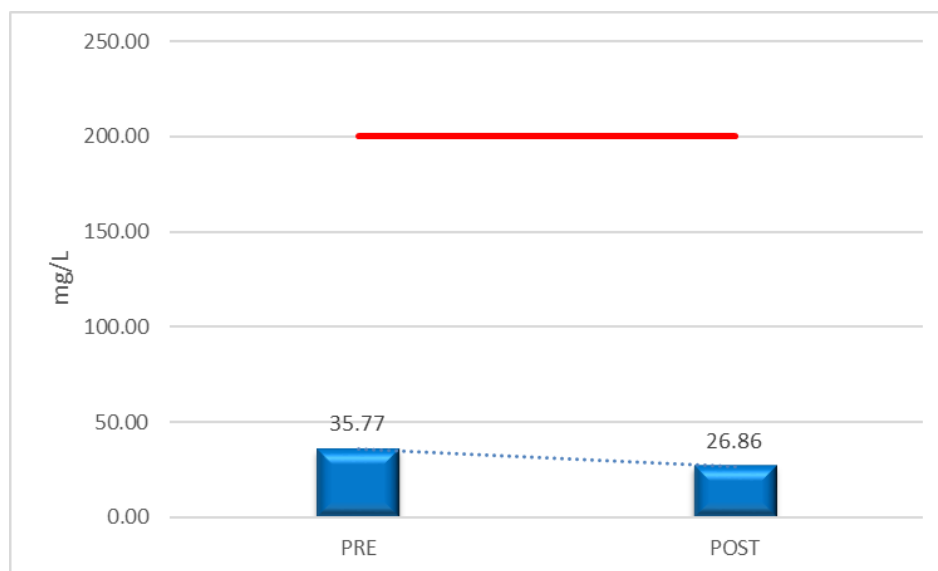


Figura 8. Variación Demanda Química de Oxígeno (DQO)
Fuente: Diseño propio a partir de los resultados de laboratorio, 2021.

La concentración expresada en mg/l de O₂, está por debajo del límite permisible estipulado en la resolución 631 de 2015, el resultado muestra una reducción del 24,9%, en comparación con el proyecto de recolección de aguas grises obtenidas de lavadora para un conjunto multifamiliar Salazar & Parra, 2018, encontraron un porcentaje de remoción del 89%, usando carbon activado, un porcentaje considerablemente alto respecto al hallado en el presente proyecto, se debe tener en cuenta las proporciones ya que filtro es mucho mas grande y cuenta con otros grava y arena torpeda (Salazar & Parra, 2018).

La Figura 9 muestra la variación de concentración de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en las muestras analizadas en el laboratorio.

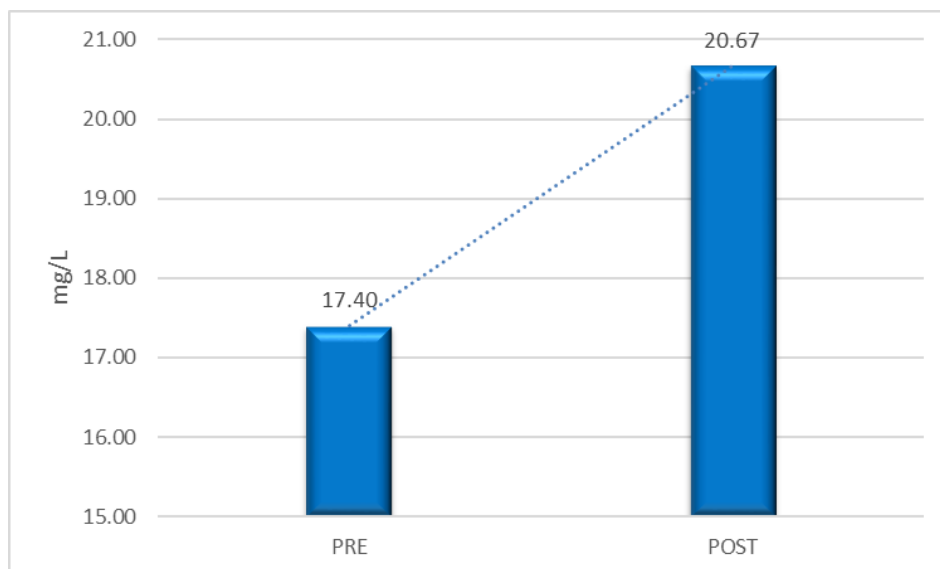


Figura 9. Variación Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)
Fuente: Diseño propio a partir de los resultados de laboratorio, 2021.

Debido al tipo de vertimiento la resolución exige de límites permisibles al parámetro DBO_5 por tal motivo el análisis se realiza de forma indicativa. La carga contaminante aumento cerca de 3 mg/l aproximadamente un 18%, las razones pueden ser variadas, aun así, cabe aclarar que el carbón activado es 100% vegetal, al entrar en contacto con la corriente de agua puede arrastrar consigo materia orgánica del mismo carbón como remanente del su proceso de fabricación, otra posibilidad que podría repercutir en el aumento del DBO es la concentración de sólidos suspendidos totales atrapados en el filtro. En la Figura 10 muestra el comparativo entre el análisis PRE y POST, referente a Sólidos Suspendidos Totales (SST).

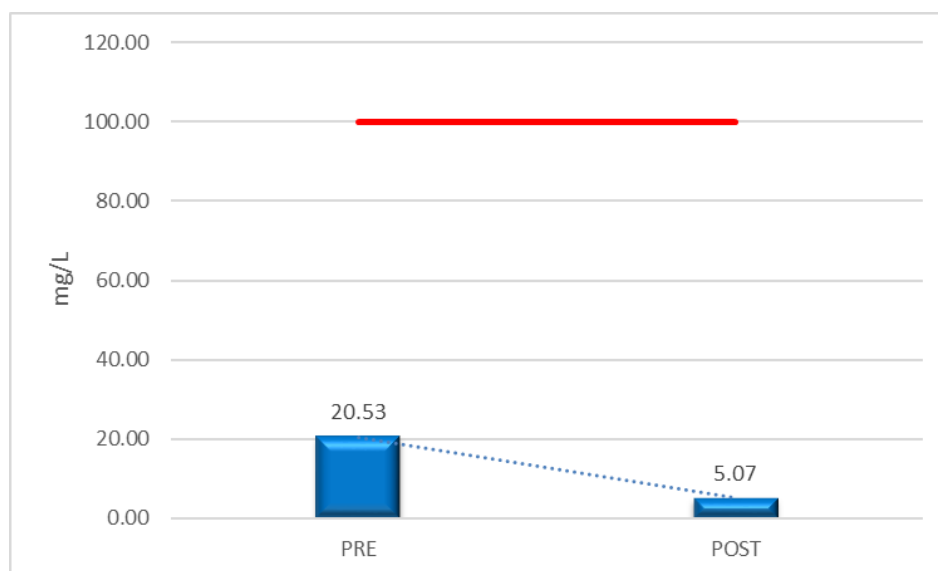


Figura 10. Variación Sólidos Suspendidos Totales (SST)
Fuente: Diseño propio a partir de los resultados de laboratorio, 2021.

El resultado de los sólidos suspendidos totales muestra una notable tendencia a la baja, con una remoción del 75% entre análisis PRE y el POST, este porcentaje es similar al 70% de material que podría ser removido en el sistema de tratamiento y reutilización del agua de lavadora en la ciudad de Bogotá (Díaz & Ramírez, 2016, pág. 61) aun cuando en dicho proyecto se cuenta con grava, gravilla, carbón activado y arena, evidentemente un sistema mucho más robusto que sería desarrollado en vivienda grandes y con terraza. El resultado se encuentra muy por debajo del límite permisible estipulado en la normatividad aplicable, al menos 15 mg/l quedaron reteniendo en el filtro, lo demuestra que material filtrante cumplió su función, aunque, es evidente que afectó únicamente y gran medida a los sólidos presentes en el agua de descarga. La Figura 11 muestra la variación de los Sólidos Sedimentables (SSD) y la comparación normativa.

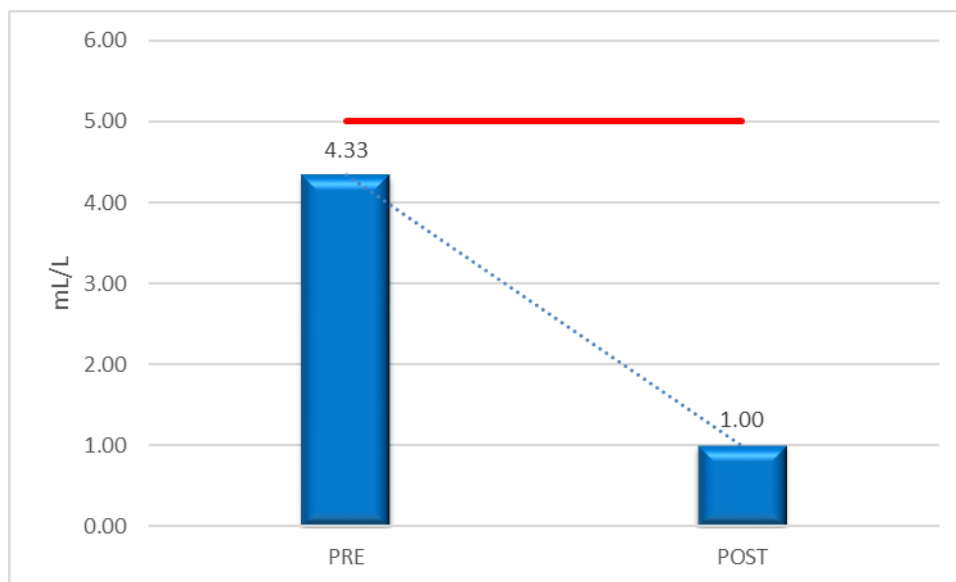


Figura 11. Variación Sólidos Sedimentables (SSD)

Fuente: Diseño propio a partir de los resultados de laboratorio, 2021.

Los sólidos sedimentables se analizan empleando un cono imhoff, el resultado evidencia una reducción de al menos 3 ml/l de los sedimentos que puede estar presentes en el agua residual de la lavadora, los resultados en ambos momentos, se encuentran por debajo los 5 ml/l que estipula la norma. La Figura 12 muestra los resultados del parámetro Aceites y Grasas y la comparación normativa.

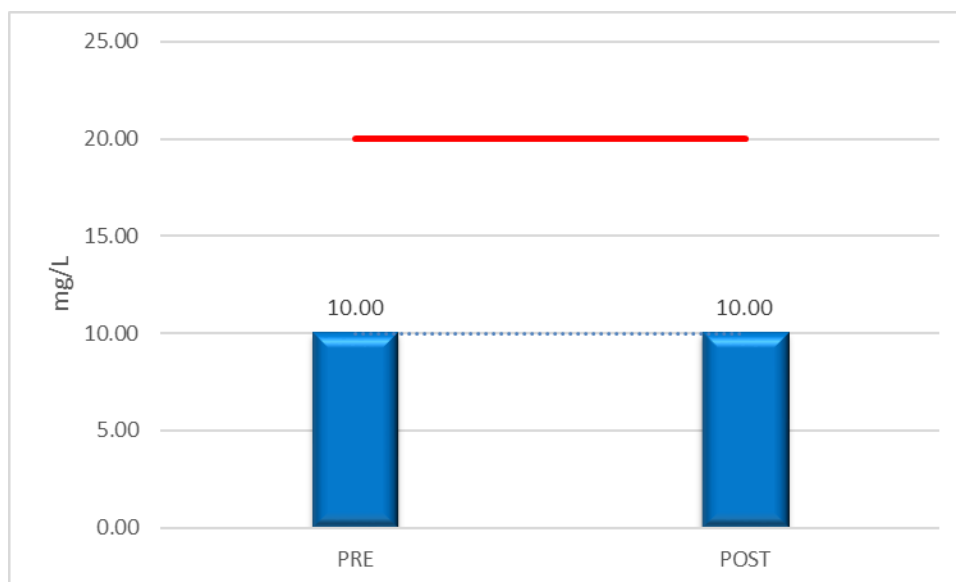


Figura 12. Variación Aceites y Grasas (AyG)

Fuente: Diseño propio a partir de los resultados de laboratorio, 2021.

El análisis de laboratorio determinó que su concentración dada en mg/l, se encuentra por debajo del límite de detección de la técnica analítica aplicada (10 mg/l) y a su vez por debajo del límite permisible por normatividad, indicando una posible ausencia de grasas y aceites en el agua residual producto de la lavadora, cabe aclarar que las prendas de vestir empleadas en el experimento fueron tomadas al azar y usadas en condiciones normales de actividades diarias, evidenciando poco o nulo contacto con grasas, por tal motivo, bajo el experimento desarrollado es complejo afirmar o denegar la viabilidad del filtro en general para este parámetro específicamente. La Figura 13 muestra los valores hallados en el análisis de laboratorio para las Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM).

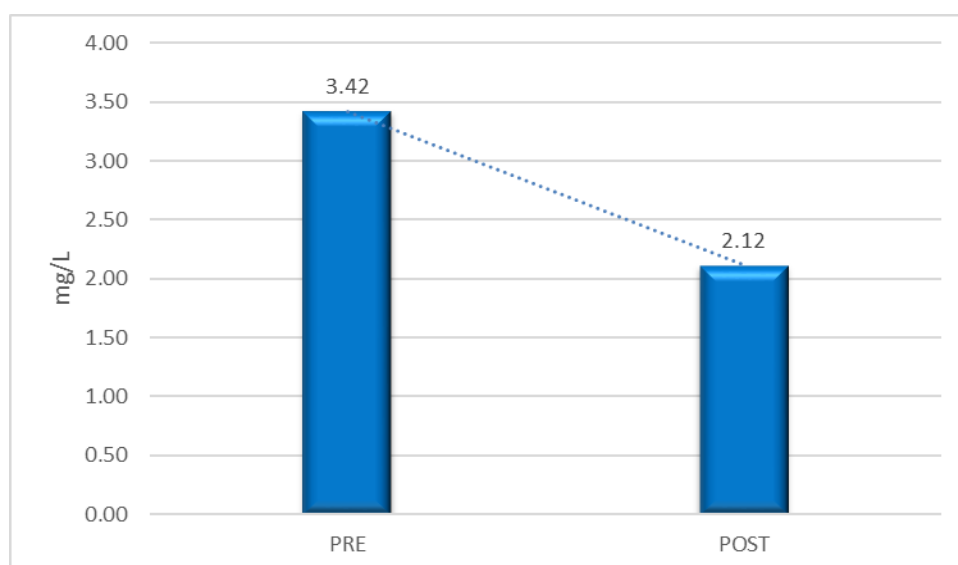


Figura 13. Variación Sustancia Activas al Azul de Metileno (SAAM)
Fuente: Diseño propio a partir de los resultados de laboratorio, 2021.

Considerando que este parámetro es para determinar los detergentes en el agua, está incluido como un contaminante necesario de análisis puesto que el lavado de prendas es realizado con detergentes ya sea líquido o en polvo, y teniendo en cuenta que la normatividad para agua residual doméstica excluye como parámetro obligatorio, el análisis fue realizado en forma indicativa para verificar su comportamiento al paso por el filtro casero; los resultados descritos en la gráfica demuestran una reducción de 1,3 mg/l de detergentes, cerca de un 38%, notablemente poca reducción, ello indica que el filtro de carbón activado es insuficiente para la retención de este contaminante y posiblemente deberán plantearse algunos ajustes.

9.3 Etapa 3. Sistema de circulación automático.

La propuesta del sistema de recirculación está ligada a un sistema automatizado que permita al usuario configurar la lavadora que tipo de ahorro de agua desea realizar, (STANDARD o PRO)¹⁰, el ESTÁNDAR ahorra un 33% de agua aproximadamente mientras que el PRO puede alcanzar hasta un 66% de agua.

El algoritmo inteligente diseñado sería capaz inicialmente de identificar si en el tanque de almacenamiento hay agua ya tratada o por el contrario requiere agua directamente de la tubería, posterior a ello permitirá almacenar el agua de la segunda y tercera descarga (PRO) o por el contrario sólo la tercera descarga (ESTÁNDAR), el algoritmo propuesto sería instalado en una tarjeta board, y esta controlará unas electroválvulas que darían apertura y cierre para el paso del agua, ya sea al tanque de almacenamiento o ducto que conduce al alcantarillado. El algoritmo se puede observar en la Figura 5, la cual muestra textualmente y paso a paso el comportamiento que tendría.

9.4 Etapa 4. Prototipo digital.

El prototipo fue realizado empleando un programa de digitalización 3D denominado SketchUp Pro, el cual permite crear diseños que pueden acercarse a la realidad (Trimble, 2020) La muestra la lavadora digital propuesta. El agua será controlada mediante el algoritmo diseñado en la etapa anterior, el cual deberá ser instalado en una tarjeta board, con las secuencias de instrucción determinará el lugar donde depositar el agua residual, (tanque de almacenamiento o desagüe).

El usuario de la lavadora indicará en el panel de control el ciclo habitual de lavado (operación normal) y en la tarjeta de control del sistema de circulación automática adicional (conectada a las electroválvulas) indicará el tipo de ahorro que desea realizar, el proceso de lavado se realizará de forma habitual y al momento de realizar las descargas, el algoritmo automáticamente desechará o almacenará el agua producto del lavado.

¹⁰ El ahorro dependerá de dos factores, la necesidad del usuario y el tipo de lavadora, puesto que algunas lavadoras generan menos o más de tres descargas, cabe recordar que la propuesta presentada aplica para lavadoras con tres descargas.

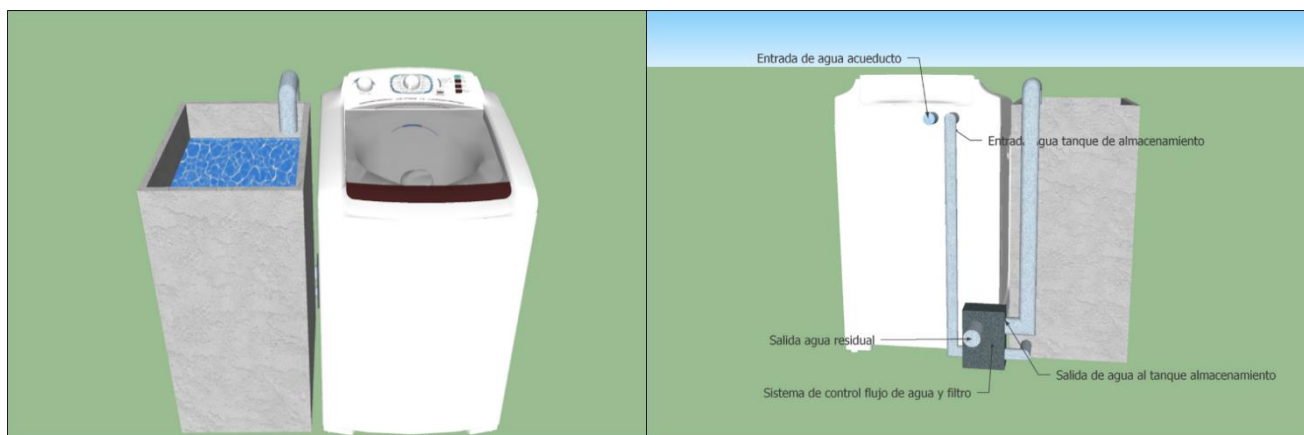


Figura 14. Lavadora digital - conexiones principales

Fuente: Hurtado, 2019. Imagen tomada del programa 3D, izquierda parte frontal, derecha parte posterior.

La máquina digitalizada tendría en la parte posterior las tuberías de conexión entre el tanque de almacenamiento y la lavadora, el tanque de almacenamiento tendría cerca de los 100 litros de capacidad como máximo, garantizando que el sistema pueda instalarse en una vivienda pequeña o de amplio espacio.

El sistema de circulación automático resulta ser muy práctico para cualquier tipo de lavadora, teniendo en cuenta la capacidad de la misma, puesto que ello repercute en el tamaño de del tanque de almacenamiento, por otra parte, se podría instalar en viviendas de cualquier estrato socioeconómico sin importar la disponibilidad de espacio.

Al comparar con algunos diseños como los presentados por (Díaz & Ramírez, 2016) y por (Salazar & Parra, 2018), estos demuestran una gran diferencia, en el caso de Diaz & Ramirez, explícitamente sostienen una mayor viabilidad para viviendas con terrazas, excluyendo a apartamentos o viviendas que no cuenten con un área lo suficientemente amplia, mientras que el diseño presentado por Salazar & Parra es a una escala mucho mayor que involucra a un conjunto residencial, lo anterior demuestra que el sistema automático planteado en el presente proyecto a menor escala tienen la posibilidad de abarcar una mayor población u hogares, destacando en dos aspectos importantes, primero un mayor impacto en la optimización del recurso hídrico y segundo un ahorro económico debido a la reducción del consumo de agua.

10 CONCLUSIONES

El filtro diseñado alcanzó las expectativas propuestas, demostrando ser funcional para propósito del proyecto, este accesorio fue considerado de vital importancia para el experimento, de fallar habría que replantear la propuesta y los materiales empleados. El carbón activado es un excelente material filtrante combinado con los demás materiales reduce en gran medida los contaminantes criterios.

Los parámetros analizados a través de laboratorio presentaron una reducción desde el 24% hasta el 76%, los contaminantes que mayor porcentaje de remoción presentaron fueron los sólidos suspendidos sedimentables con 76,9%, seguido de sólidos suspendidos totales con 75,3%, estos dos parámetros fueron considerados junto con los detergentes (SAAM) con 38,2%, los que más relevantes, partiendo del hecho que el lavado de prendas de vestir puede contener sólidos y que los detergentes son empleados precisamente para ayudar a limpiar las telas, sería los contaminantes con resultados más elevados y su vez quienes presentan un mayor reto para el filtro. Por su parte la demanda bioquímica de oxígeno presentó un valor atípico, aumentando su concentración luego de pasar por el filtro, las posibles causas pueden ser el uso del mismo carbón activado por su origen vegetal y la acumulación excesiva de sólidos suspendidos en mismo filtro, lo que puede indicar colmatación del mismo.

El prototipo digital de circulación automático para lavadoras domésticas, es un sistema que facilita el aprovechamiento del agua residual, evitando una operación manual del usuario en los intervalos del ciclo de lavado y a su vez resulta práctico para quienes deseen reducir el consumo de agua en las viviendas.

Los diseños digitales tanto del algoritmo y la máquina de lavar fueron realizados y presentados a modo propuesta, dentro del diseño de la lavadora fue incluido el tanque de almacenamiento el cual debe ser de alrededor de 100 litros, considerando que la investigación experimental tiene un enfoque en apartamentos o residencias pequeñas, las cuales cuentan con poco espacio.

11 RECOMENDACIONES

Lo botella de plástico empleada para fabricar el filtro, presentó un problema durante el tiempo que la máquina realizaba el proceso denominado “exprimir” en este punto prácticamente la parte del agua usada para lavar la ropa ya ha sido evacuada, sin embargo lo que realiza máquina es tratar de sacar la mayor cantidad de agua posible exprimiendo muy bien las telas, para ese momento existe un cambio de presión en todo el sistema desde el tanque lavado hasta el ducto de salida del agua, afectado la condición física del filtro, al succionar el aire que existe dentro de toda la línea de desagüe, este cambio de presión puede deteriorar el filtro artesanal y su instalación –cabe recalcar nuevamente que se debe asegurar muy bien para evitar fugas– generando fugas en las uniones entre el filtro y el tubo de salida del agua residual, por esta razón es necesario reconsiderar el uso de botellas de plástico o buscar alternativas como válvulas que regulan la presión para evitar posibles fallas o escapes de agua luego de la primera descarga de agua.

El carbón activado empleado para el experimento fue en estado granulado, sin embargo, al momento de entrar en contacto con el agua, durante los primeros segundos el líquido presentaba una coloración negra debido, color asociado al carbón, para evitar que las muestras tuvieran aporte de material suspendido por parte del filtro, este se retiró del tanque de almacenamiento en el primer intento. Para subsanar el inconveniente el carbón activado debió pasar por un previo lavado y así evitar que aporte de sólidos en el agua a reutilizar

Al fabricar todo el sistema de recirculación, se debe tener en cuenta la altura de desagüe recomendá por el fabricante con el fin evitar afectaciones a la lavadora y posible pérdida del agua al momento de realizar el lavado

12 BIBLIOGRAFÍA

- 3dnatives. (12 de febrero de 2020). <https://www.3dnatives.com>. Recuperado el 15 de septiembre de 2021, de <https://www.3dnatives.com/es/caracteristicas-del-software-sketchup-120220202/#!>
- Bello, D. G. (28 de noviembre de 2019). *culturacientifica.com*. Recuperado el 17 de abril de 2021, de <https://culturacientifica.com/2019/11/28/que-es-el-ph/>
- Buch, W. (5 de mayo de 2017). <https://aquasistemas.com.gt>. Recuperado el 22 de agosto de 2021, de <https://aquasistemas.com.gt/filtros-de-agua/que-son-los-filtros-de-agua>
- DANE. (2010). *Sistema de Información del Medio Ambiente*. Bogotá. Recuperado el 17 de abril de 2021
- Definición.de. (2021). <https://definicion.de/>. Recuperado el 22 de agosto de 2021, de <https://definicion.de/circulacion/>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE. (2018). <http://dane.gov.co>. Recuperado el 22 de agosto de 2021, de http://systema59.dane.gov.co/redcol/CNPV2018/VIVIENDAS_Cuadros%20CNPV_2018.htm
- Díaz, J. J., & Ramírez, L. Y. (14 de Mayo de 2016). Diseño de un sistema de tratamiento y reutilización del agua de la lavadora aplicado a los hogares de Bogotá D.C. Bogotá. Recuperado el 14 de Abril de 2021
- El Tiempo. (25 de abril de 2018). www.eltiempo.com. Recuperado el 07 de 11 de 2019, de <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/mapa-los-rios-mas-contaminados-en-el-pais-209310>
- Eltiempo.com. (2014). www.eltiempo.com. Recuperado el 27 de 03 de 2021, de www.eltiempo.com: https://www.eltiempo.com/Multimedia/especiales/salvar_agua_bogota/#:~:text=El%20consumo%20promedio%20de%20una,en%20los%20ba%C3%B1os%20y%20duchas.
- Empresa Acueducto y Alcantarillado de Bogotá EAAB E.S.P. (2021). www.acueducto.com.co. Recuperado el 27 de 03 de 2021, de www.acueducto.com.co: https://www.acueducto.com.co/wps/portal/EAB2/institucionales/la-empresa/m%C3%ADnimo%20vital!/ut/p/z1/fY9LD4JADIR_DUdpWRU33hCJxBciEbQ

XAwZWI7IGV4n_XnxcTJTe2pnOlwGCNVAR3w4iVgdZxHm9b8jcTrjJ3BFnc48NOfq
O6w26gWVgaEL0MuCfsRColk3fRoMjm2OH2egHi8HSW9nGdNSDEAjooj45DS

Empresa Acueducto y Alcantarillado de Bogotá EAAB ESP. (2021). www.acueducto.com.co.
Recuperado el 27 de 03 de 2021, de www.acueducto.com.co:
https://www.acueducto.com.co/wps/portal/EAB2/institucionales/la-empresa/m%C3%ADnimo%20vital!/ut/p/z1/fY9LD4JADIR_DUdpWRU33hCJxBciEbQXAwZWI7IGV4n_XnxcTJTe2pnOlwGCNVAR3w4iVgdZxHm9b8jcTrjJ3BFnc48NOfqO6w26gWVgaEL0MuCfsRColk3fRoMjm2OH2egHi8HSW9nGdNSDEAjooj45DS

Empresa de Acueducto y Alcantarillado Bogotá - EAAB ESP. (2021). www.acueducto.com.co.
Recuperado el 27 de 03 de 2021, de www.acueducto.com.co:
https://www.acueducto.com.co/wps/portal/EAB2/institucionales/la-empresa/m%C3%ADnimo%20vital!/ut/p/z1/fY9LD4JADIR_DUdpWRU33hCJxBciEbQXAwZWI7IGV4n_XnxcTJTe2pnOlwGCNVAR3w4iVgdZxHm9b8jcTrjJ3BFnc48NOfqO6w26gWVgaEL0MuCfsRColk3fRoMjm2OH2egHi8HSW9nGdNSDEAjooj45DS

Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá - EAAB. (2021). [tps://www.acueducto.com.co](https://www.acueducto.com.co).
Recuperado el 23 de agosto de 2021, de https://www.acueducto.com.co/wps/portal/EAB2/Home/ambiente/saneamiento/rio-bogota/ptar-salitre!/ut/p/z1/tZRdl5owEIb_ijdcYkY-IvYOKdWuX4uudc2NJ8Gs0gJhQ9S2v37DbtvTWpW2W3MOcJLMvDOZPAwi6B6RnO6TDVWJyGmq50uCVzgKoOWBNe6F7zFEvnXXC8dzazSw0QdEEClV9Y5zVagtWhZCKprmchW

Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá EAAB ESP. (Agosto de 2006). www.acueducto.com.co. Recuperado el 17 de Abril de 2021, de <https://www.acueducto.com.co/wps/wcm/connect/EAB2/222e18eb-2283-460e-beb2-73adedc59464/DocumentotecnicoDTS.pdf?MOD=AJPERES&CVID=mGvpNn4&id=1557452494730>

Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá - EAAB ESP. (09 de 02 de 2021). www.acueducto.com.co. Recuperado el 27 de 03 de 2021, de https://www.acueducto.com.co/wps/portal/EAB2/Home/atencion-al-usuario/tarifas/tarifas_2021!/ut/p/z1/nZFN4NAEIZ_Sw8e68xuNrL0tgqxTUCzSSV2LkWD2QjGDcZU-

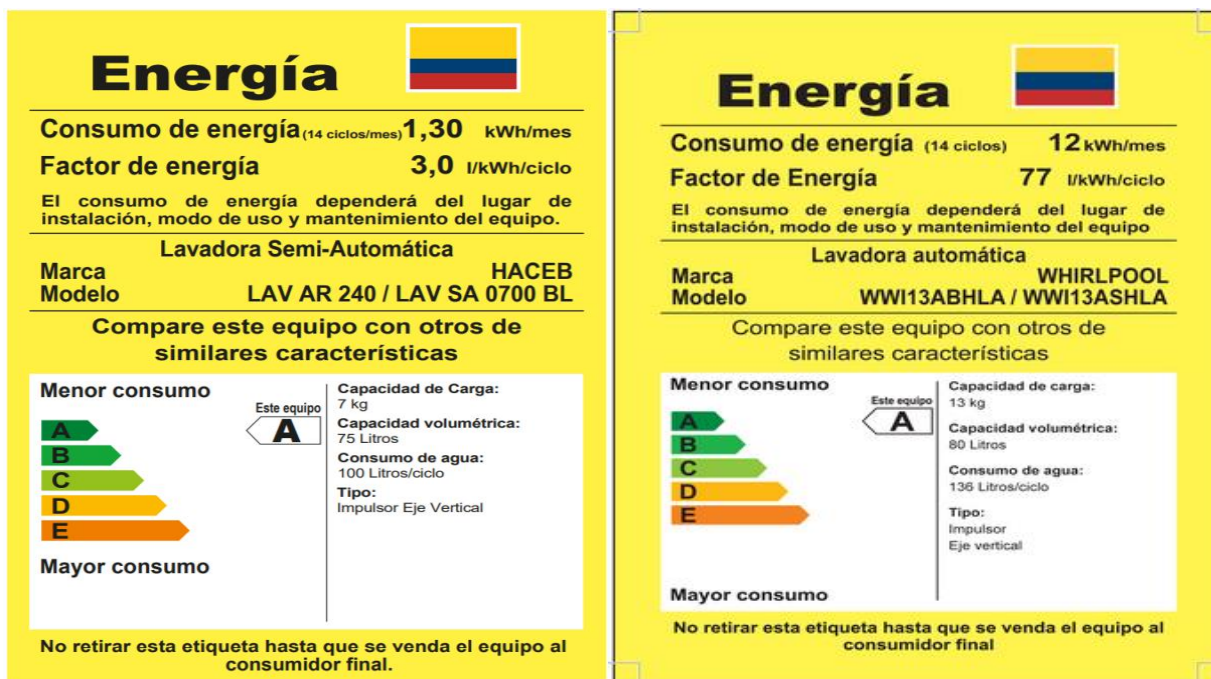
- u8rKZQaJA2d2wzPOx_vAEEKVGcfpcna0tZZ1edv5L0vpMefQ8mjeMY56le2ZpFQTM
YCNhfA0wEyiTxCwQPU66W_ipOALZkAukePg1Dor7g
- Empresas Públicas de Medellín E.S.P. (2016). *Preguntas frecuentes sobre calidad de agua*. Medellín. Recuperado el 17 de abril de 2021, de <https://www.grupo-epm.com/site/portals/23/documentos/Boletines/ABC-%20Calidad%20de%20Agua.pdf>
- Haceb. (2019). *apps.haceb.co*. (E. d. Energía, Editor) Recuperado el 05 de 11 de 2019, de https://apps.haceb.com/DI/Etiquetas_RetiQ/7704353362404.pdf
- Hernández, Z., Carreras Riudavets, F., Rodríguez Rodríguez, G., & Daniel González, J. (2009). *Iniciación a la programación. Ada como primer lenguaje* (Segunda ed.). Lulu.com. Recuperado el 23 de agosto de 2021
- IDEAM. (2007). *Demanda Bioquímica de oxígeno 5 días, incubación y electrometría*. Bogotá D.C. Recuperado el 17 de abril de 2021
- IDEAM. (2007). *Demanda Bioquímica de oxígeno 5 días, incubación y electrometría*. Bogotá D.C. Recuperado el 17 de abril de 2021
- Mathispower4u. (22 de junio de 2011). Example 1: Determine a Percent of Change (decrease). Recuperado el 2021 de julio de 6, de <https://www.youtube.com/watch?v=gH7XJFdMsRc>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2019). *Estrategia Nacional de Economía Circular*. Bogotá. Recuperado el 23 de Agosto de 2021, de http://www.andi.com.co/Uploads/Estrategia%20Nacional%20de%20EconA%CC%83%C2%B3mia%20Circular-2019%20Final.pdf_637176135049017259.pdf
- Naciones Unidas. (2021). <https://www.un.org>. Recuperado el 23 de agosto de 2021, de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>
- Noguera, I. B. (22 de Mayo de 2020). *www.ingenieriaquimicareviews.com*. Recuperado el 17 de Abril de 2021, de <https://www.ingenieriaquimicareviews.com/2020/05/destilacion-definicion.html>
- Observatorio Ambiental de Bogotá. (2021). *oab.ambientebogota.gov.co*. Recuperado el 17 de Abril de 2021, de <https://oab.ambientebogota.gov.co/indicadores/?id=977&v=l#info>
- Orellana, J. A. (2005). Tratamiento de Aguas. Rosario. Recuperado el 17 de Abril de 2021
- Organización Mundial de la Salud, OMS. (2021). *www.who.int*. Recuperado el 17 de Abril de 2021, de <https://www.who.int/globalchange/ecosystems/water/es/>

- Pérez Farrás, I. L. (Agosto de 2005). *www.fi.uba.ar*. Recuperado el 17 de Abril de 2021, de http://www.fi.uba.ar/archivos/institutos_teoria_sedimentacion.pdf
- Ramírez, R. d., & Mendoza, L. G. (2005). Economía del Agua en Baja California. En R. d. Ramírez Acosta, & L. G. Mendoza Espinoza, *Economía del agua en Baja California: reúso de aguas residuales tratadas bajo mecanismo de mercado* (pág. 112). Mexicali, Baja California: Tomás Di Bella. Recuperado el 14 de abril de 2021, de https://www.researchgate.net/profile/Leopoldo-Mendoza-Espinosa/publication/236578757_Economia_del_Agua_en_Baja_California_Reuso_de_Aguas_Residuales_Tratadas_Bajo_Mecanismos_de_Mercado_Seleccion_Anual_del_Libro_Universitario_2003-2004/links/5bc54bc4299bf17
- Real Academia Española - RAE. (2021). <https://dle.rae.es>. Recuperado el 22 de agosto de 2021, de <https://dle.rae.es/autom%C3%A1tico>
- Rodríguez, a. (15 de diciembre de 2020). *www.iagua.es*. Recuperado el 20 de abril de 2021, de <https://www.iagua.es/blogs/lander-rodriguez-jorge/proceso-tratamiento-aguas-residuales-y-eliminacion-contaminantes>
- Salazar, J. A., & Parra, J. S. (2018). *Evaluación de la eficiencia técnica y económica de un sistema de recolección, tratamiento y reúso de aguas grises obtenidas del uso de la lavadora, para el conjunto multifamiliar Icaro, tipo vivienda de interés social (VIS)*,. Bogotá. Recuperado el 17 de Abril de 2020
- Spenagroup. (11 de Diciembre de 2016). *Spenagroup.com*. Recuperado el 17 de Abril de 2021, de <https://spenagroup.com/tratamiento-primario-aguas-residuales-sistemas-filtracion/#:~:text=El%20SISTEMA%20DE%20FILTRACI%C3%93N%20se,presentan%20en%20las%20aguas%20residuales>.
- Superintendencia de Servicios Públicos domiciliarios. (2019). *Estudio sectorial de los servicios públicos domiciliarios de Acueducto y Alacantarillado*. Bogota. Recuperado el 23 de agosto de 2021, de https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/Publicaciones/Publicaciones/2020/Ene/informe_sectorial_aa_2018-20-12-2019.pdf
- Trimble. (2020). *www.sketchup.com*. Recuperado el 17 de mayo de 2021, de <https://www.sketchup.com/es/products/sketchup-pro>

- UNFCCC. (s.f.). *www.wwf.org.py*. Recuperado el 07 de 11 de 2019, de http://www.wwf.org.py/informate/cambio_climatico/la_temperatura_media_de_la_tierra/
- Whirlpool. (2019). *www.whirlpool.com.co*. (E. energética, Editor) Recuperado el 05 de 11 de 2019, de <https://www.whirlpool.com.co/lavadora-impeller-13kg-color-blanco-wwi13abhla/p>
- Zamora, A. R. (27 de Abril de 2016). *bogota.gov.co*. Recuperado el 17 de Abril de 2021, de <https://bogota.gov.co/mi-ciudad/ambiente/chingaza-un-frio-paraiso-que-alberga-una-potente-fabrica-de-agua>
- Zannie, M. (11 de agosto de 2020). *www.eluniversal.com.mx*. Recuperado el 20 de abril de 2021, de <https://www.eluniversal.com.mx/menu/que-es-el-carbon-activado-y-para-que-se-utiliza>

13 ANEXOS

13.1 Etiquetas energéticas de lavadoras



13.2 Fotografías

La primera y segunda imagen muestran botellas de plástico recicladas, la tercera imagen muestra una perforación en la base y el relleno de guata.



Posteriormente la botella forrada con la velada y al interior de la botella se le adiciona el carbón activado, por último, es asegurada al desagüe de la lavadora.



Fuente: Momento de la fabricación del filtro casero, Autor 2021.

Carbón activado granulado 100% natural.



Fuente: Elementos usados para la fabricación del filtro, Autor 2021.

Imagen de referencia como actualmente algunos hogares realizan el aprovechamiento del agua de la lavadora, evidenciando que deberá emplear un recipiente para reutilizarla en cualquier otra actividad.



Fuente: Forma común y manual de almacenar agua residual de la lavadora, Autor 2019.

13.3 Matriz Excel de resultados

PRE					
PARAMETRO	UNIDADES	M ₁	M ₂	M ₃	PROMEDIO
pH	-	6.76	6.4	6.51	6.56
DQO	mg/L O ₂	43.3	<32	<32	35.77
DBO ₅	mg/L O ₂	22.5	16	13.7	17.40
SST	mg/L	19.4	21	21.2	20.53
SSED	mL/L	4	5	4	4.33
GYA	mg/L	<10	<10	<10	10.00
SAAM	mg/L	3.08	3.66	3.53	3.42

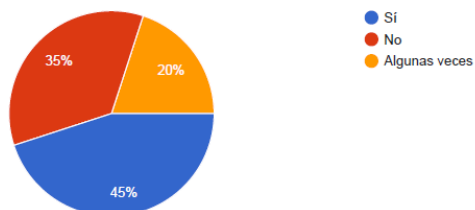
POST						
PARAMETRO	UNIDADES	M ₁	M ₂	M ₃	PROMEDIO	% DE REMOCIÓN
pH	-	6.67	6.43	6.65	6.58	-0.4%
DQO	mg/L O ₂	42.5	37.9	0.192	26.86	24.9%
DBO ₅	mg/L O ₂	22	19	21	20.67	-18.8%
SST	mg/L	5	<5	5.2	5.07	75.3%
SSED	mL/L	<1	<1	<1	1.00	76.9%
GYA	mg/L	<10	<10	<10	10.00	0.0%
SAAM	mg/L	1.99	2.27	2.09	2.12	38.2%

13.4 Encuesta ahorro de agua Ecowash



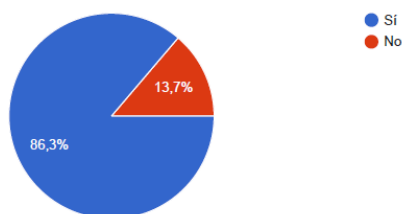
2. ¿Usted reutiliza el agua de lavadora?

80 respuestas



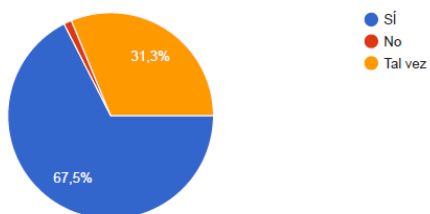
3. ¿Sabía usted que reutilizar el agua de la lavadora le aporta un beneficio económico y que se refleja en la factura mensual?

80 respuestas



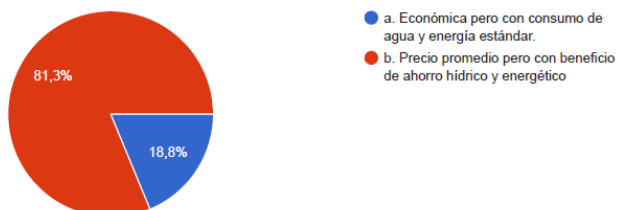
4. ¿Si usted conociera un producto que hiciera el ahorro de agua automático, estaría dispuesto a cambiar su lavadora por esta nueva tecnología?

80 respuestas



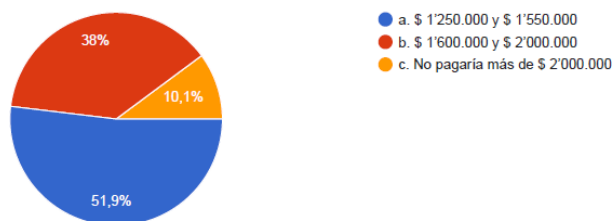
5. A la hora de elegir una lavadora busca dentro de sus características que sea:

80 respuestas



6. ¿Cuánto pagaría usted por una lavadora con esas características?

79 respuestas



Encuesta realizada en el año 2019 mediante formularios de google, para la presentación del proyecto Ecowash en la XIII feria de emprendimiento realizada por la Universidad Santo Tomás.

13.5 Cadena de custodia de muestras de agua residual

 CADENA DE CUSTODIA DE MUESTRAS DE AGUA		PROCESO MISIONAL Código: OP-R-019 Versión: 06 Página 1 de 4											
DATOS GENERALES													
CLIENTE: <u>MICHEL HUERTA</u> DIRECCIÓN: <u>CU 250 858-57 APTO 301</u> EQUIPOS Y MATERIALES UTILIZADOS: Medidor Cloro: <u>N.A</u> Cono Imhoff: <u>NG-126-Y</u>		FECHA: <u>24-05-2021</u> TELÉFONO: <u>301232312</u> Micromolinete: <u>N.A</u> Molinete: <u>N.A</u> Otro: <u>/</u>											
Multiparametro: <u>N.A</u> Oxímetro: <u>N.A</u> Probeta: <u>AGU-024-5</u>													
ENVASES	PRESERVANTE	CANTIDAD	PARÁMETROS										
Garrafa plástica de 1 litro													
Garrafa plástica de 2 litros	<u>N.A</u>	<u>6</u>	<u>SAAM/PH/SSOL/SSP</u>										
Frasco plástico boca angosta 250ml	<u>/</u>	<u>/</u>	<u>/</u>										
Frasco plástico boca angosta 500ml	<u>/</u>	<u>/</u>	<u>/</u>										
Frasco transparente boca ancha vidrio 500ml	<u>/</u>	<u>/</u>	<u>/</u>										
Frasco transparente boca ancha vidrio 1000ml	<u>N.A</u>	<u>6</u>	<u>AYG</u>										
Frasco ámbar vidrio boca angosta 250ml	<u>H2SO4</u>	<u>6</u>	<u>NGO</u>										
Frasco ámbar vidrio boca angosta 500ml	<u>/</u>	<u>/</u>	<u>/</u>										
Frasco ámbar vidrio boca angosta 1000ml	<u>/</u>	<u>/</u>	<u>/</u>										
Frasco transparente boca ancha vidrio estéril 250ml	<u>/</u>	<u>/</u>	<u>/</u>										
Otro:	<u>/</u>	<u>/</u>	<u>/</u>										
DATOS DE LA MUESTRA													
MUNICIPIO: <u>BOGOTÁ</u>		DEPARTAMENTO: <u>CUNDINAMARCA</u>											
EMPRESA GENERADORA: <u>VIVIENDA RESIDENCIAL ESTRATO 3</u>													
CÓDIGO IHA	No.	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA AÑO MES DÍA	HORA	TIPO DE AGUA								
					ARD	ARNd	AP	ASub	ASup	ACruda	ALLuvia	Piscina	Otra
<u>120598</u>	<u>1</u>	<u>PRE-FILTRO (1)</u>	<u>2021-05-24</u>	<u>18:15</u>	<u>X</u>								
<u>120599</u>	<u>2</u>	<u>PRE-FILTRO (2)</u>	<u>2021-05-24</u>	<u>18:20</u>	<u>X</u>								
<u>120600</u>	<u>3</u>	<u>PRE-FILTRO (3)</u>	<u>2021-05-24</u>	<u>18:30</u>	<u>X</u>								
<u>120601</u>	<u>4</u>	<u>POST-FILTRO (1)</u>	<u>2021-05-24</u>	<u>19:00</u>	<u>X</u>								
<u>120602</u>	<u>5</u>	<u>POST-FILTRO (2)</u>	<u>2021-05-24</u>	<u>19:05</u>	<u>X</u>								
<u>120603</u>	<u>6</u>	<u>POST-FILTRO (3)</u>	<u>2021-05-24</u>	<u>19:10</u>	<u>X</u>								
TRANSPORTE DE LAS MUESTRAS													
FORMA DE ENVÍO: <u>TERRESTRE</u> EMPRESA: <u>N.A</u> No DE NEVERAS: <u>1</u>		HORA DE ENVÍO: <u>07:30</u> No DE RECIPIENTES: <u>18</u>		MUESTREADO POR: <u>MICHEL HUERTA</u> FECHA DE ENVÍO: <u>25-05-2021</u> REFRIGERADO: SI ☒ NO ☐									
ENTRADA DE LA MUESTRA AL LABORATORIO													
PLAN DE MUESTREO: <u>23634</u> FECHA RECEPCIÓN: <u>24-05-2021</u> OBSERVACIONES: <u>HECHO APTAL APT</u>		PERSONA QUE RECIBE: <u>Edgar P.</u> FECHA INGRESO: <u>25-05-2021</u>		TEMPERATURA DE RECIBO: <u>40c.</u>									

CARACTERIZACIÓN IN SITU													
PROCESO MONITORIAL Código: OP-8-019 Versión: 04 Página: 2 de 4													
INFORMACIÓN DEL VERTIMIENTO													
ACTIVIDAD DE LA EMPRESA: AGUINORO DOMESTICA ORIGEN DE LA DESCARGA: AGUINORO DE DESAGUAS EN VÍA PÚBLICA DOMESTICA					VERTIMIENTO A: ☐ Cuerpo de Agua ☒ Aterrizado ☐ Otro:								
MECIONES IN SITU													
No.	HORA	pH	TEMP °C	AFORO		CAUDAL Litros	ALICUOTA mL	S. SED. mL	COND. µS/cm	OXIGENO DISUELTO mg/L	CLORO RESIDUAL mg/L	COORDENADAS	
				TIEMPO (seg)	VOLUMEN (L)							NORTE	ESTE
1	18:15	/	/	/	/	/	/	4	/	/	/	4° 40' 26.6"	74° 01' 15.6"
2	18:20	/	/	/	/	/	/	3	/	/	/	4° 40' 26.6"	74° 01' 15.6"
3	18:30	/	/	/	/	/	/	4	/	/	/	4° 40' 26.6"	74° 01' 15.6"
4	18:40	/	/	/	/	/	/	21	/	/	/	4° 40' 26.6"	74° 01' 15.6"
5	18:05	/	/	/	/	/	/	21	/	/	/	4° 40' 26.6"	74° 01' 15.6"
6	19:10	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
VOLUMETRICO $Q = \frac{V}{T}$ Donde: Q= Caudal en Litros V= Volumen (en Litros) T= Tiempo (en segundos) ALICUOTAS $V = \frac{Q \cdot t}{n}$ Donde: V= Volumen de cada alícuota Q= Caudal instantáneo de cada muestra individual t= Volumen total a componer n= Número de muestras tomadas													
FORMULAS PARA EL CÁLCULO DE CAUDAL Y CONDUCTIVIDAD										CONDUCTIVIDAD 1mS = 100µS			

	ACTA DE MUESTREO	PROCESO MISIONAL
		Código: OP-R-019
		Versión: 06
		Página 4 de 4

CLIENTE: MICHAEL HOLMADO TELÉFONO: 301752332
 DIRECCIÓN: C/1 250 #853-39 FECHA: 24-05-2021

ÍTEM	SI	NO	DESCRIPCIÓN
¿Se llevó a cabo el muestreo según lo establecido en la orden de trabajo?	✓		
¿Hubo servicios adicionales?		✓	

CARACTERÍSTICAS DEL PUNTO DE MUESTREO

MUESTREO PUNTA DE (ARO) AGUA RESIDUAL CONECTADA ANTES Y DESPUÉS DEL FILTRO. LA MUESTRA ESTOMADA A LA SALIDA DE TUBO DE DESAGÜE LUEGO DE LAS DESCARGAS DE LA LAVADORA. LA CARGA DE LA LAVADORA FUE COMPLETA CON PRENDAS COMUNES: PANTALON, CAMISAS ETC. DE USO NORMAL DIARIO, VISIBLEMENTE SIN RUIDO SE NOTÓ EL AGUA OSCURA Y DISTINTAS TIRAS DE JUDOS Y DETERGENTE, TAMBIÉN FUE VISIBLE EL CAMBIO DEL AGUA LUEGO DE PASARLA EL FILTRO.

NOMBRE DEL CLIENTE:

MICHAEL HOLMADO

CARGO:

MA

FIRMA:

[Firma]

NOMBRE PROFESIONAL DE CAMPO:

INSTITUTO DE HIGIENE AMBIENTAL

FIRMA:

[Firma]