

**ANÁLISIS DE CALIDAD DEL AGUA (TURBIEDAD Y COLOR) DE UN SISTEMA DE  
FILTRACIÓN DE FLUJO ASCENDENTE CONSTRUIDO CON MATERIALES  
GRANULARES PARA BAJANTES DE AGUA LLUVIA.**

**MIGUEL ÁNGEL VILLANUEVA MONTEALEGRE; 504889& JOHANN DAVID AVILA  
ROJAS; 505212  
NOVIEMBRE 2019.**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTÁ D.C  
2019**

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Bogotá, diciembre 09 de 2019



## Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:  
**Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)**

Para leer el texto completo de la licencia, visita:  
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

### Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

hacer obras derivadas

### Bajo las condiciones siguientes:



**Atribución** — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



**No Comercial** — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

## **Dedicatoria**

Este espacio se lo queremos regalar a nuestros seres más queridos porque gracias a ellos hoy estamos cumpliendo una meta importante para nosotros, nuestros padres. Son ustedes la razón y motivación a querer superarnos y ser las personas que ustedes soñaron.

Muchas gracias, Mamá y Papá por el tiempo y esfuerzo que invirtieron en nosotros. Los amamos.

## **Agradecimientos**

Inicialmente queremos agradecer a Dios por la vida y conceder en nosotros talentos que durante nuestra vida hemos ido adquiriendo y desarrollando para la comprensión del universo y de esta manera poder hacer un aporte a la ciencia y a la investigación. Nada de esto hubiera sido posible sin el apoyo de los educadores de la academia que se interesaron en esta investigación. Y que a través de sus ideas nos transmitieron sus conocimientos para que de manera creativa pudiéramos desarrollar. Muchas gracias, apreciados ingenieros.

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	9
1. GENERALIDADES	11
1.1. Estado del arte	11
1.2. Antecedentes y limitaciones	20
1.2.1. Antecedentes bibliográficos internacionales.	20
1.2.2. Antecedentes bibliográficos nacionales.	21
1.3. Justificación	23
1.4. Planteamiento y formulación del problema.	23
2. MARCO DE REFERENCIA	26
2.1.1. Componentes de un sistema de recolección de agua lluvia	26
2.1.2. Sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias.	26
2.1.3. Aplicación de agua lluvia.	27
2.1.4. Ventajas y desventajas del uso de aguas lluvias.	28
2.1.5. Análisis de calidad agua y pruebas realizadas.	29
2.1.6. Filtración de aguas.	30
2.1.7. filtros.	31
2.2. Objetivos	33
2.3. Alcances y limitaciones.	33
3. METODOLOGÍA	35
3.1. Fase I: Diseño e instalación de un filtro.	35
3.2. Fase II: Análisis granulométrico y determinación de espesores de lechos filtrantes.	35
3.3. Fase III: Recolección de muestras de agua lluvia.	36
3.4. Fase IV: Análisis de resultados.	36
4. CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE LOS SISTEMAS DE FILTRACIÓN.	37
4.1.1. Diseño de los sistemas de filtración.	37
4.1.2 Esquema del sistema de filtración.	37
4.2. Determinación de espesores del lecho filtrante.	42
4.2.1 Análisis granulométrico de los materiales granulares para los tres sistemas de filtración propuestos.	43
4.3. Operación en marcha del sistema de filtración del flujo ascendente.	48
4.3.1 Determinación del volumen de agua lluvia.	48
4.3.2 Pérdida de carga en los sistemas de filtración.	50
4.3.3. Proceso de retrolavado del sistema de filtración.	51
4.3.3.1 Recomendaciones que se deben hacer para el retrolavado del filtro.	53

4.4.	Caracterización de las muestras tomadas para los tres sistemas de filtración.	
	54	
4.4.1	Caracterización para el sistema de filtración número uno.	54
4.4.2	Caracterización para muestras tomadas al filtro número dos.	55
5.	ANÁLISIS Y RESULTADOS.	57
6.	CONCLUSIONES.	64
7.	RECOMENDACIONES.	66
	BIBLIOGRAFÍA.	67
	ANEXOS.	70

## Lista de Tablas y Gráficas.

Tabla 1. Clasificación de filtros.	30
Tabla 2. Coeficientes de uniformidad (Cu)	48
Tabla 3. Volumen de agua recolectada en pluviómetro.	49
Tabla 4. Volumen de agua recolectada en el área de captación.	49
Tabla 5. Pérdidas de carga.	51
Tabla 6. Caracterización de turbiedad y color del mes de septiembre de 2019.	55
Tabla 7. Caracterización de turbiedad y color del mes de octubre de 2019.	55
Tabla 8. Caracterización de turbiedad y color del mes de octubre de 2019 para el filtro número 2.	56
Tabla 9. Caracterización de turbiedad y color del mes de octubre de 2019 para el filtro número 3.	56
Tabla 10. Promedio antes y después de ser filtrada el agua.	57
Tabla 11. Resultados de 10 pruebas realizadas al filtro 1.	59
Tabla 12. Resultados de 10 pruebas realizadas al filtro 2.	60
Tabla 13. Resultados de 10 pruebas realizadas al filtro 3.	62
Gráfica 1. Curva granulométrica de la grava.	44
Gráfica 2. Curva granulométrica arena del Guamo.	45
Gráfica 3. Curva granulométrica de la antracita	45
Gráfica 4. Curva granulométrica de arena del río Guayaribe.	46
Gráfica 5. Curva granulométrica arena amarilla de peña.	47
Gráfica 6. Análisis de Turbiedad filtro 1 cuatro meses después de ser instalado.	58
Gráfica 7. Análisis de Color, filtro 1 cuatro meses después de ser instalado.	58
Gráfica 8. Análisis de Turbiedad filtro 1 diez pruebas realizadas en el mes de octubre.	59
Gráfica 9. Análisis de Color filtro 1 diez pruebas realizadas en el mes de octubre.	60
Gráfica 10. Análisis de Turbiedad filtro 2 diez pruebas realizadas en el mes de octubre.	61
Gráfica 11. Análisis de Color filtro 2 diez pruebas realizadas en el mes de octubre.	61
Gráfica 12. Análisis de Turbiedad filtro 3 diez pruebas realizadas en el mes de octubre.	62
Gráfica 13. Análisis de Color filtro 3 diez pruebas realizadas en el mes de octubre.	63

## Lista de Ilustraciones.

Ilustración 1. “Rojinson” Utilización de agua lluvia a nivel comunitario en Tokio.	12
Ilustración 2. Tecnologías convencionales de potabilización de agua	14
Ilustración 3 “Healty house” Aprovechamiento y filtración del agua lluvia para edificaciones en Toronto.	15
Ilustración 4. Rendimiento de la filtración por membrana accionada por gravedad.	16
Ilustración 5. Filtros de arena lentos con materiales de bajo costo.	17
Ilustración 6. Sistema de captación y filtrado de aguas lluvias.	18
Ilustración 7. Filtro de bajante Pro.	19
Ilustración 8. Diseño del sistema de filtración de flujo ascendente para bajantes de agua lluvia.	37
Ilustración 9. Bajante del Sistema de captación y almacenamiento de aguas lluvias de la Universidad Católica de Colombia, sede el Claustro.	38
Ilustración 10. Adaptación del sistema de filtración desde la tubería a la bajante de aguas lluvias.	39
Ilustración 11. Adaptación de la parte inferior del sistema de filtración desde la tubería a la bajante de aguas lluvias.	40
Ilustración 12. Construcción del filtro.	40
Ilustración 13. Instalación del sistema de filtración por Julio Parra de mantenimiento técnico.	41
Ilustración 14. Sistema de filtración totalmente construido.	42
Ilustración 15. Pluviómetro.	48
Ilustración 16. Medición de la cabeza piezométrica.	50
Ilustración 17. Material encontrado en el sedimentador del sistema de filtración.	52
Ilustración 18. Retrolavado.	53
Ilustración 19. Caracterización de color y turbiedad.	54

## INTRODUCCIÓN

El agua es el recurso natural más significativo e indispensable para la vida de los seres vivos; tanto así, que para resaltar la importancia de este recurso hídrico se han elaborado 8 Foros Mundiales del Agua, uno cada tres años a partir de 1997; este Consejo Mundial del Agua se centra en catalizar la acción colectiva durante y entre cada Foro Mundial del Agua, este evento es uno de los más importantes en cuanto al agua a nivel global. Este Foro congrega a participantes de todos los niveles y ámbitos sociales, incluyendo el político, las instituciones multilaterales, la academia, la sociedad civil y el sector privado (Braga et al., 2014).

Los seres humanos desde su origen han construido sus civilizaciones en torno al agua superficial como primera fuente de suministro, abastecimiento y consumo; desde tiempos remotos se desarrolló la agricultura, la ganadería, y con esto el riego de cultivos cada vez fue más difícil, debido al crecimiento demográfico y la demanda de agua requerida por las civilizaciones, es por esta razón, que se optó por la captación, aprovechamiento y utilización del agua lluvia como fuente principal de abastecimiento (Gestión Ambiente, 2010).

La importancia de prácticas innovadoras, como el manejo del agua lluvia, hoy por hoy se ha convertido en una de las alternativas más funcionales en cuanto a la captación y aprovechamiento del recurso proveniente de las precipitaciones, debido a que este recurso hídrico es totalmente gratis. El uso consciente del agua de lluvia contribuye a la construcción de la sostenibilidad urbana. La identificación de una variedad de experiencias exitosas pero aisladas y fragmentadas a nivel local e internacional, permiten destacar el potencial de la gestión integral del agua lluvia (Pacheco, 2008).

Realizar un adecuado tratamiento de agua lluvia por medio de un sistema de filtración representa un ahorro significativo del agua proveniente del acueducto de por vida, ya que se puede utilizar y aprovechar para todos los usos que no requieren de agua potable.

Es por esta razón que es indispensable tener en cuenta un proceso de filtración que consiste en separar un sólido suspendido, al hacer pasar a través de un medio poroso el líquido, puede penetrar fácilmente. En los procesos de filtración se emplean cuatro tipos de material filtrante: filtros granulares como arena o carbón triturado, láminas filtrantes de papel y filtros compuestos de membranas semipermeables. Este proceso de filtración es una buena barrera para retener microorganismos presentes en el agua, ya que eliminan a su paso las partículas de sólidos suspendidos (Leal Ascencio, 2005).

Existen varios sistemas de aprovechamiento de agua lluvia por medio del proceso de filtración, los cuales se encuentran ubicados en bajantes. Un claro ejemplo se encuentra ubicado en el municipio de El Charco, Nariño, donde se hizo la instalación de un sistema de captación y filtrado, este sistema se basa en la recolección de las aguas lluvias de los techos de las viviendas para ser almacenada en tanques y luego tratada en un filtro de arena que en épocas de sequía puede utilizar agua de fuentes superficiales o alternarse con otro sistema de abastecimiento (Salud & Nariño, 2010).

Teniendo en cuenta la importancia del agua para los seres vivos y el aprovechamiento del agua lluvia como alternativa para sustituir las aguas superficiales, este documento tiene el propósito de presentar la construcción y elaboración de un prototipo a escala de laboratorio de un sistema de filtración de flujo ascendente en PVC, con materiales granulares en sus lechos filtrantes para bajantes de agua lluvia, con el propósito de determinar la mejor configuración de espesores de material en cada lecho filtrante del sistema, que permita obtener las mejores eficiencias de remoción en cuanto a turbiedad y color de algunos contaminantes pertenecientes al agua, de esta manera ahorrar, aprovechar y purificar al máximo el agua lluvia.

## **1. GENERALIDADES**

### **1.1. Estado del arte**

En este apartado se mostrará el estado del arte de algunas investigaciones realizadas sobre el tema de sistemas de filtración y aprovechamiento del agua lluvia en edificaciones.

Al investigar algunos de los temas relacionados con la captación, aprovechamiento y sistemas de filtración de agua lluvia sobre edificaciones, es importante iniciar con una breve descripción acerca de la importancia del agua para los seres vivos, en especial para los seres humanos.

Desde los inicios de la civilización, los seres humanos han desarrollado sus sociedades en torno a las aguas superficiales disponibles en la zona, utilizándose como medio de transporte, consumo y demás actividades. La alta disponibilidad de aguas superficiales siempre limitó los usos del agua lluvia que es indispensable únicamente en la agricultura. Pero debido al gran crecimiento demográfico y a la necesidad por falta de agua, muchas civilizaciones se vieron obligadas a aprovechar el agua lluvia para diferentes usos domésticos, es por esta razón, que se optó por la captación, aprovechamiento y utilización del agua lluvia como fuente principal de abastecimiento (Gestión Ambiente, 2010).

#### **1.1.1. Captación y aprovechamiento de aguas lluvias sobre edificaciones.**

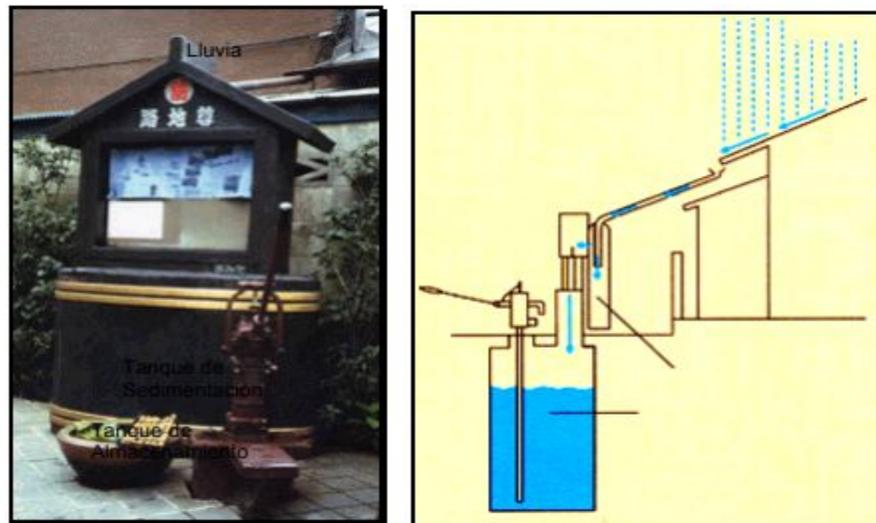
Tradicionalmente los sistemas de captación del agua de lluvia se han utilizado a través de la historia por las civilizaciones; estos métodos sólo se han comenzado a estudiar recientemente, ya que su manejo se está haciendo muy extensivo en la República Popular China, y en otros países como: India, Tailandia, Japón, Bangladesh, EUA, Brasil, Islas Vírgenes, Islas Turcos y Caicos, México, entre otros países (Montero Durán & Civil, 2017).

- **A nivel mundial:**

El aprovechamiento del agua lluvia se ha convertido en todo un incentivo de gestión y uso eficiente del agua, en los casos en que la oferta del recurso hídrico representa un problema vital y en las zonas donde siendo suficiente, su suministro o potabilización representa costos socioeconómicos inalcanzables. De esta forma, el agua lluvia está siendo utilizada especialmente para descargas de inodoros, orinales y riego de jardines (Estupiñán & Zapata, 2010).

En la ciudad de Tokio, capital del país de Japón, el aprovechamiento del agua lluvia es originado para mitigar la escasez de agua que se vive frecuentemente en muchos lugares de la ciudad. Por esta razón, incorporaron estos sistemas llamados “Rojinson”, que se encuentran en la vía pública del distrito de Mukojim. Está instalación tal cual como se muestra en la Ilustración 1, recibe el agua lluvia del techo de la casa, la cual es almacenada en un pozo subterráneo para extraer el agua se utiliza una bomba manual y el agua colectada es utilizada para el riego de jardines, aseo de fachadas y pisos, combatir incendios y como agua de consumo en situaciones de emergencia (Montero Durán & Civil, 2017).

Ilustración 1. “Rojinson” Utilización de agua lluvia a nivel comunitario en Tokio.



Fuente: (Ballén Suárez, Ángel, García, Orlando, & Mosquera, 2000).

En Europa durante el mes de octubre del año 1998, los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia fueron introducidos en la ciudad de Berlín, Alemania. Esto hizo parte de un redesarrollo urbano a gran escala, Daimler Chrysler Potsdamer Platz, fueron los encargados de controlar las inundaciones, y utilizar razonablemente el agua de la ciudad y crear un mejor micro clima. El agua lluvia cae en las cubiertas de 19 edificios (32.000 m<sup>2</sup>), se recoge y se almacena directamente en un tanque subterráneo de 3500 m<sup>3</sup>. Esta agua es usada para la descarga de inodoros, el riego de zonas verdes y llenar un estanque artificial (Montero Durán & Civil, 2017).

- **A nivel nacional:**

El país de Colombia se caracteriza por tener una gran riqueza hídrica, y es por esta razón que la mayoría de los ciudadanos se abastecen principalmente de fuentes superficiales de agua. La utilización del agua proveniente de fuentes superficiales ha dejado de lado el desarrollo de nuevas investigaciones y alternativas del aprovechamiento de agua lluvia.

El aprovechamiento del agua lluvia se lleva a cabo en algunos lugares, donde las comunidades tienen problemas en el tratamiento del agua y que carecen de sistemas de potabilización de la misma. En la ciudad de Bogotá, Colombia. Se encuentra el almacén Alkosto, el cual está ubicado en el barrio de Venecia, donde se aprovechan 6.000 m<sup>2</sup> de cubierta para captar alrededor de 4.820 m<sup>3</sup> de agua lluvia al año, con lo cual se satisface el 75% de la demanda actual de agua potable de la edificación (Ballen & Galarza, Miguel A G, Ortiz, 2006).

Otro caso que vale la pena resaltar es el del edificio de Posgrados de Ciencias Humanas de la Universidad Nacional de Colombia, el cual se encuentra ubicado en la ciudad Bogotá. Este edificio cuenta con un sistema cuya cubierta está protegida por una capa de grava, este sistema capta agua lluvia y es enviada a un tanque subterráneo, desde el que se bombea agua para la descarga de los inodoros (Ballen & Galarza, Miguel A G, Ortiz, 2006)

### **1.1.2. Sistemas de filtración.**

Cada día la necesidad de implementar sistemas de filtración y purificación de agua lluvia es cada vez más importante en la actualidad, debido a que muchas de las fuentes de agua superficiales se encuentran contaminadas, y por consiguiente es importante conocer los beneficios de filtrar y aprovechar el agua obtenida por las precipitaciones que caen directamente en la cubierta de las edificaciones.

Existen diferentes tipos de tecnologías para los filtros como se puede observar en la Ilustración 2, donde se explica la aplicación, manejo, costo y limitantes que evalúa la eficiencia de remoción de los filtros. Los sistemas de filtración también pueden ser de lechos filtrantes mixtos, es decir, combinar diferentes materiales granulares tales como: arena, grava y antracita. Estas combinaciones garantizan la remoción de bacterias, materia orgánica y partículas suspendidas que se encuentran en el agua.

Ilustración 2. Tecnologías convencionales de potabilización de agua

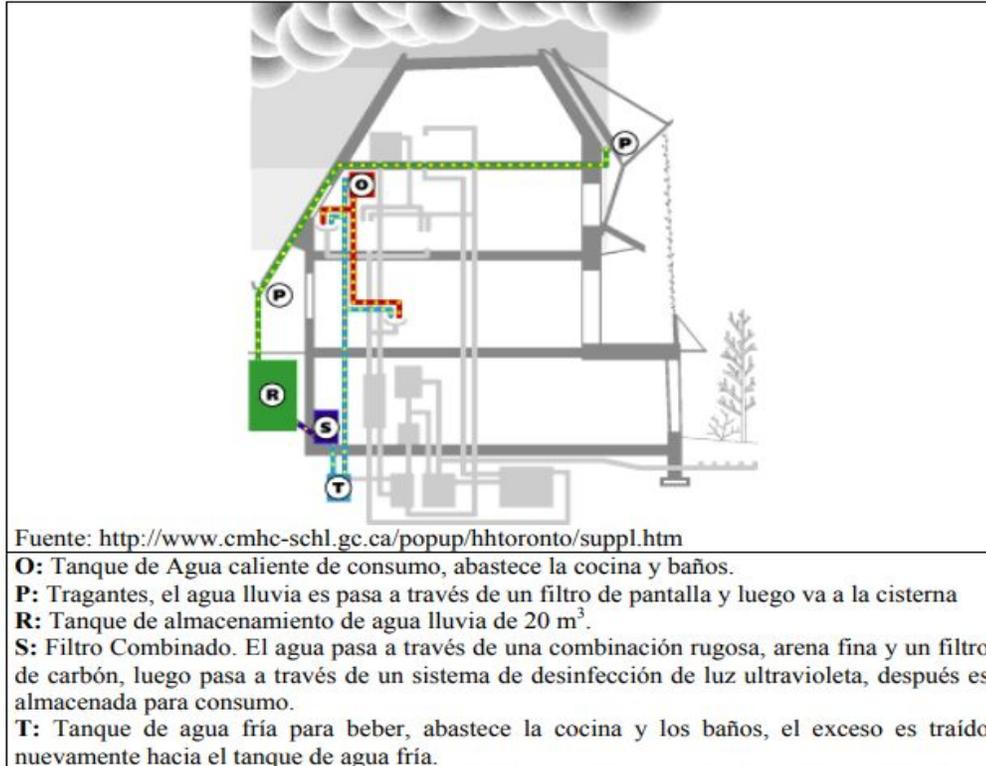
Tecnología	Aplicación	Manejo	Costo	Limitantes
Filtros de arena	Sedimentos suspendidos, remoción media de bacterias y materia orgánica	Sencillo	Costo bajo de inversión en infraestructura y de manejo, costo elevado de terreno	Remoción de 80-90% de bacterias y 60% de materia orgánica, requiere gran superficie
Filtros de tierras diatomáceas	Remoción de turbiedad y bacterias	Sencillo	Costo bajo de inversión y de manejo	Útiles en caso de poca turbiedad y bajos conteos bacterianos, no retiene materia orgánica
Filtros de carbón activado	Remoción de materia orgánica y bacterias	Sencillo	Costo bajo de inversión, costo medio de mantenimiento	Generación de residuos, continua renovación del filtro, no remueve bacterias ni nitrato

Fuente: (Leal Ascencio, 2005).

- **A nivel mundial.**

Uno de los casos más importantes en cuanto al aprovechamiento de agua lluvia en edificaciones se encuentra en la ciudad de Toronto, Canadá, donde está ubicada "HEALTHY HOUSE". Esta es una casa familiar con un área de 158 m<sup>2</sup>. Esta edificación se muestra en la Ilustración 3, donde la casa es totalmente autosuficiente, no depende del sistema de acueducto municipal. El agua para consumo humano se suministra por medio de un sistema de canales que conducen el agua lluvia hacia un tanque de almacenamiento donde se le adiciona cal, esta es utilizada para reducir la acidez del agua y darle un sabor fresco, posteriormente el agua pasa a través de un filtro de arena fina y carbón activado para remover todas las impurezas y por último es sometida a un proceso de desinfección mediante luz ultravioleta (Ballen & Galarza, Miguel A G, Ortiz, 2006).

Ilustración 3 “Healty house” Aprovechamiento y filtración del agua lluvia para edificaciones en Toronto.



Fuente: (Ballen & Galarza, Miguel A G, Ortiz, 2006).

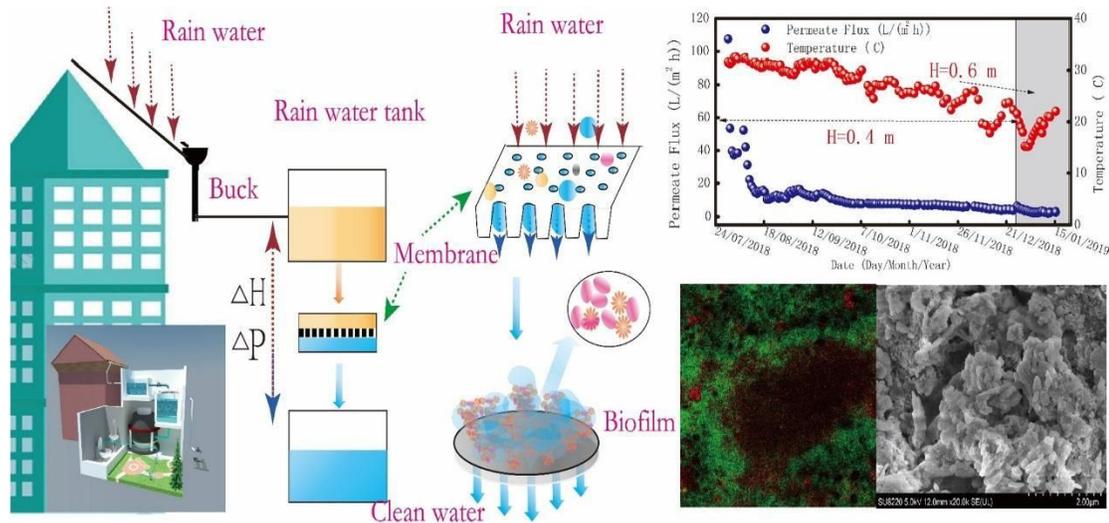
“HEALTHY HOUSE” es un claro ejemplo de estudio que proporciona un enfoque en el mejoramiento de calidad, purificación y aprovechamiento de agua lluvia por medio de un sistema de filtración de arena fina y carbón activado, el cual remueve a su paso todas las impurezas presentes en el agua.

Según la investigación realizada por la Escuela de Ingeniería Civil y del Transporte, que se encuentra ubicada en la Universidad Tecnológica de Guangdong, Guangzhou, China,

*“El rendimiento de la filtración por membrana accionada por gravedad (GDM) para la reutilización del agua de lluvia en los techos: implicaciones de la energía del agua de lluvia para techos y la purificación del agua de lluvia”, realizada por Xing Du, Jiongji Xu, Zhuoyu Mo, Yunlong Luo, Junhao Su, Jinxu Nie, Zhihong Wang, Lifan Liu, Heng Liang. Donde se estudió y se investigó acerca de la recolección de agua de lluvia, junto con la*

filtración por membrana accionada por gravedad, donde, se utilizó para el tratamiento del agua lluvia. Tal cual como se muestra en la Ilustración 4 (Du et al., 2019).

Ilustración 4. Rendimiento de la filtración por membrana accionada por gravedad.



Fuente: (Du et al., 2019).

Este sistema de filtración de membrana por gravedad tiene un enfoque novedoso, debido a que tiene el potencial de mejorar la disponibilidad de agua municipal y las prácticas de servicio de aguas pluviales.

Resultados obtenidos a partir de la investigación:

La recolección de agua de lluvia junto con la filtración por membrana accionada por gravedad (GDM) se utilizó para la reutilización del agua de lluvia en techos.

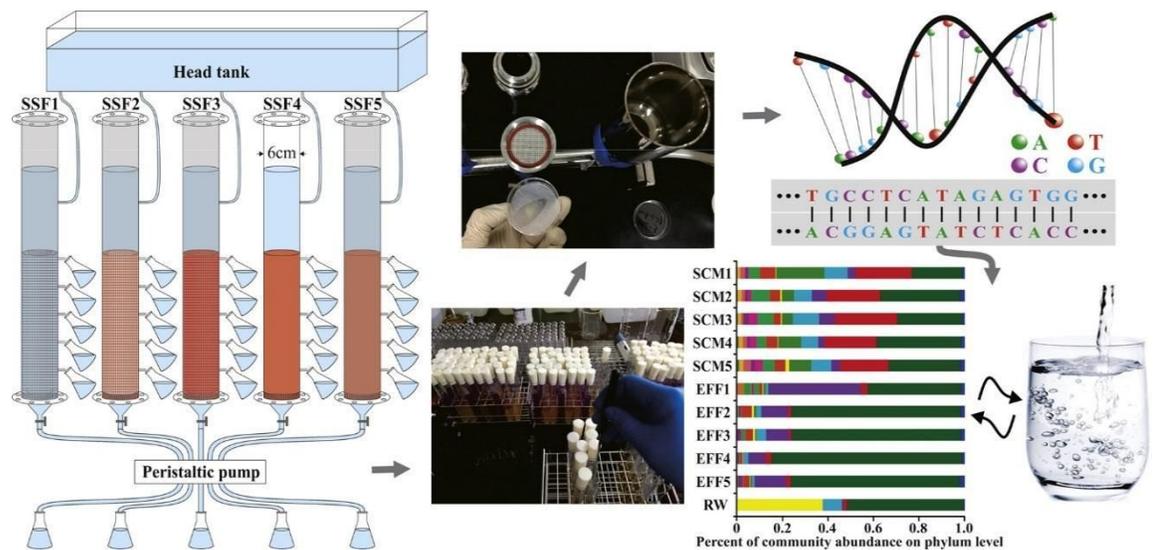
La filtración GDM podría estar libre de partículas y eliminar una pequeña cantidad de materia orgánica y metales traza.

La biopelícula en filtración GDM exhibe una alta actividad biológica y mejora la calidad del agua de lluvia (Du et al., 2019).

En el Instituto de Hidrogeología y Geología Ambiental de la Academia China de Ciencias Geológicas, se realizó otra investigación referente a sistemas de filtración llamada "*Purificación del agua de lluvia recolectada utilizando filtros de arena lentos con materiales de bajo costo: estructura de la comunidad bacteriana y efecto purificador*" tal

cual como se muestra en la Ilustración 5. Y fue realizada por Yuewen Zhao, Xiuyan Wang, Changli Liu, Shuaiwei Wang, Xihua Wang, Hongbing Hou, Jingjing Wang, Hongzhao Li. Donde, el objetivo de estudio principal fue obtener materiales de bajo costo como medios filtrantes para purificar eficientemente el agua lluvia cosechada y poder documentar la relación entre la estructura de la comunidad bacteriana y la purificación del agua (Zhao et al., 2019).

Ilustración 5. Filtros de arena lentos con materiales de bajo costo.



Fuente: (Zhao et al., 2019).

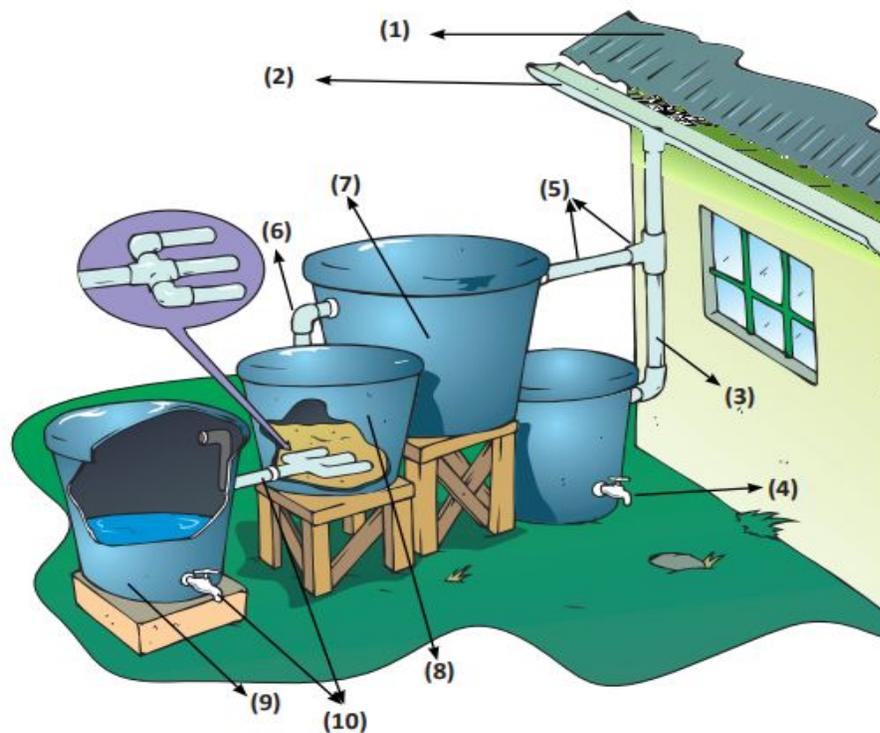
Se ha demostrado a través de algunas investigaciones y experimentos realizados en cuanto a la filtración, que los filtros de arena lentos mejoran efectivamente la calidad del agua.

Se pudo concluir a través de la purificación del agua por medio de filtros lentos con materiales granulares el rendimiento que tiene el filtro, en resumen, este estudio mostró que los materiales de bajo costo (LCM) podría mejorar significativamente el rendimiento y reducir el costo de los filtros de arena lentos (SSF). Proporcionó una caracterización detallada de la estructura de la comunidad bacteriana y el efecto purificador de los filtros de arena lenta de material de bajo costo (LCM-SSF), que aportó un marco para la futura investigación microbiana de los SSF en la purificación del agua de lluvia cosechada (Zhao et al., 2019).

- **A nivel nacional:**

En el municipio del Charco, Nariño, donde se instaló un sistema de captación y filtrado de agua lluvias, este sistema estuvo a cargo de la empresa llamada: Tecnologías apropiadas para el suministro de agua en situaciones de emergencia, este sistema es representado gráficamente en la Ilustración 6, el cual se basa en la recolección de las aguas que llegan de las precipitaciones hacia los techos de las viviendas, esto con el fin de ser almacenada en tanques y luego tratada en un filtro de arena (Salud & Nariño, 2010).

Ilustración 6. Sistema de captación y filtrado de aguas lluvias.



Fuente:(Salud & Nariño, 2010).

Las características que posee estos sistemas de captación y filtración de agua lluvia, es que es un sistema de suministro de agua muy útil en zonas lluviosas como la costa Pacífica colombiana, que cuando se encuentre en época de sequía puedan aprovechar o utilizar fuentes de agua superficiales y de esta manera poder alternarse con otro sistema de abastecimiento, este sistema de filtración mejora las características fisicoquímicas del agua. Estos sistemas de captación y filtrado son muy convenientes

para uso escolar, comunitario y familiar, ya que cuando se trata de zonas que sufren de escasez de fuentes de agua permanente o de buena calidad, siempre es útil recolectar el agua lluvia y lo más importante que el techo se encuentre en buen estado. Además, su construcción es muy sencilla y los materiales con los que se encuentra elaborado este sistema son de fácil adquisición. Este sistema también permite almacenar el agua en buenas condiciones y promueve la participación comunitaria del lugar (Salud & Nariño, 2010).

Otra edificación que capta agua lluvia se encuentra ubicada en el almacén Alkosto de la ciudad de Villavicencio, Meta. Esta edificación tiene una cubierta de 1.061 m<sup>2</sup> con la cual se capta el agua lluvia para ser almacenada en un tanque de 150 m<sup>3</sup>, posteriormente el agua es tratada por medio de los procesos de floculación, filtrado y cloración realizados en una planta de tratamiento, el sistema proporciona agua potable para todas las necesidades del almacén durante todo el año (Ballen & Galarza, Miguel A G, Ortiz, 2006).

Los filtros se clasifican en dos: convencionales y no convencionales, los no convencionales usualmente son elaborados por diferentes empresas que están en el mercado y un claro ejemplo de estos dispositivos es el que se puede observar en la Ilustración 7, donde se muestra el filtro de bajantes Pro de agua lluvia. Este artefacto dispone una superficie de filtración del 75% más grande, su mantenimiento es muy sencillo debido a que cuenta con auto limpieza mejorada, además, cuenta con una carcasa filtrante giratoria que permite una conexión flexible. Está diseñado para bajantes de 11mm de diámetro.

Ilustración 7. Filtro de bajante Pro.



Fuente: (Ekoideas, 2019).

Las características con las que cuenta este filtro son:

- Nuevo principio de filtrado con una superficie de filtración un 75% más grande.
- Mantenimiento reducido gracias a una autolimpieza mejorada.
- Carcasa filtrante giratoria para una conexión flexible.
- Llenado automático del depósito de agua de lluvia que evita el desbordamiento.
- Sencillo cambio de funcionamiento verano/invierno mediante giro del anillo de ajuste.
- Ideal para superficies de techo de hasta 200 m<sup>2</sup>.
- Filtración fiable de las impurezas del agua de lluvia

## **1.2. Antecedentes y limitaciones**

### **1.2.1. Antecedentes bibliográficos internacionales.**

Loai Aljerf, (2018), Título: Advanced Highly Polluted Rainwater Treatment Process. Descripción: Esta investigación hace énfasis en el filtro de vidrio triturado y reciclado que tiene la capacidad de remover los principales contaminantes del agua lluvia y de esta manera poder mejorar la calidad del agua que es filtrada.

Metodología: Consiste en hacer dos capas de vidrios triturado y reciclados, apilados de manera homogénea, junto con otra capa de vidrio triturado de espuma, esto con la finalidad de realizar un análisis de la calidad del agua para determinar la remoción de color y turbidez presentes en el agua de la lluvia.

Resultados: Después del proceso de filtración se muestra que la temperatura del líquido disminuyó, el color, turbidez y olor del agua mejoraron de manera significativa.

Conclusiones: Se concluyó que los materiales granulares en compañía del vidrio triturado mejoraron las propiedades físico-químicas y biológicas del agua lluvia, por esta razón se debe optar por nuevas tecnologías que tengan camino hacia la potabilización del agua.

Riffat Shaheed, Wan Hanna Melini Wan Mohtar, Ahmed El-Shafie, (2017). Título: Ensuring water security by utilizing roof-harvested rainwater and lake water treated with a low-cost integrated adsorption-filtration system. Descripción: Esta investigación se desarrolló en las zonas rurales de Malasia en donde las poblaciones no cuentan con acceso al agua potable, y para llevar a cabo la solución del problema, se elaboró un filtro con materiales granulares para tratar el agua de la lluvia.

Metodología: El carbón activado se dispuso automáticamente con cáscara de coco de origen local y se activó con sal comúnmente disponible en lugar de un procedimiento de alta tecnología que requiere un reactivo químico y de esta manera poner en funcionamiento el material granular para realizar el análisis posterior de la remoción de contaminantes en el agua (Shaheed, Wan Mohtar, & El-Shafie, 2017).

Conclusiones: Para el sistema CACSF cuyas siglas en inglés significa combined activated carbon and sand filtration, se tuvo una disminución con buenos resultados de la población Echerichia Coli. Para las influencias a menos de 30 UFC/ml. Y para las muestras recolectadas se evidenció que no hubo una remoción del cien por ciento de sus contaminantes.

### **1.2.2. Antecedentes bibliográficos nacionales.**

Juan David Córdoba Parada, Rocío Acosta Alarcón, Juan Fernando Pachec, Catalina Ramírez, (2016), Título: Recopilación de experiencias en la potabilización del agua por medio del uso de filtros. Descripción: En este documento se presenta una revisión bibliográfica de estudios que demuestran la importancia e implementación de filtros como alternativa para la potabilización de agua. Se evidencia cinco casos de diferentes filtros usados en Colombia, cómo son los filtros de: Arena, arcilla, velas de cerámica y ultrafiltración.

Metodología: Se ejecutó un proyecto en Guayabal, síquima en Cundinamarca, para realizar el mejoramiento de la calidad del agua en una comunidad. Para el desarrollo se hizo un análisis para determinar parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua de la lluvia, que revelaron una baja calidad. Además, para la elaboración de talleres metodológicos para la ejecución de filtros de arenas en la comunidad, se entregaron 14 dispositivos con lechos filtrantes de capacidad para 60 litros que beneficiaron a 16 familias. Conjuntamente, se elaboraron ensayos de laboratorio siguiendo las medidas físico-químicas y microbiológicas de: turbidez, pH, conductividad, color verdadero.

Resultados: Los resultados de campo demostraron que el sistema de filtración hecho eliminó el 90% de heces y coliformes totales en un periodo de maduración de la cama de filtrado. Más aún, se mejoraron las condiciones organolépticas del agua después de ser tratada en el sistema de filtración, por lo que se comprobó la disminución de sólidos en suspensión y se permitió el acceso al agua potable para las personas de la comunidad. Otro de los casos elaborados por el principio de filtración es la purificación de agua por medio de filtros lentos de arena en la comunidad de Kuychiro-Cusco, Perú.

Descripción: En esta investigación la finalidad fue purificar el agua del río Kuychiro, para el proceso de estos filtros, se utilizaron materiales como: Arena de diferentes diámetros, tuberías hidráulicas, geotextiles y la válvula flotadora.

Resultados: En los análisis del agua realizados dio como resultados que las muestras cumplieron con las especificaciones técnicas para que sea posible el consumo para el humano.

Conclusiones: Se determinó que el uso de filtros de arena para la purificación del agua lluvia y que de esta manera hacer que sea apta para disposición del consumo humano es factible; dado que los niveles en eliminación de coliformes totales bajaron un 80.91%, y un 67.39% en coliformes. Además, demostró ser una tecnología de fácil acceso para comunidades que no cuentan con los recursos económicos en su sociedad para realizar obras de construcción de plantas de tratamiento de agua potable. (Córdoba Parada, Acosta Alarcón, Pacheco, & Ramírez, 2016)

Díaz Restrepo, Kelly Yelleiny, Niño Lozada, Yerli Edith, (2018), Título: Evaluación del comportamiento de materiales alternativos para lechos filtrantes en procesos de potabilización de agua. Descripción: En este proyecto investigativo se realizó un montaje de un filtro artificial con materiales granulares tales como: Arena, antracita, grava y diatomea, a los que se le hicieron un análisis de calidad del agua.

Metodología: Consiste en la aplicación de unas fases para llevar a cabo la determinación de los materiales, a través de una caracterización y de esta manera poder hallar el coeficiente de uniformidad de los diferentes materiales. Se diseñó un recipiente que se construyó en acrílico para poner el lecho filtrante en conjunto de un sistema, que conecta y realiza un proceso de potabilización.

Resultados: La obtención del análisis de resultados, se realizaron ensayos de laboratorios de: Turbiedad, color, pH y conductividad entre otros. Se observó que los ensayos que tuvieron más preeminencia en cuanto al mejoramiento de la caracterización realizada fue el de turbiedad con un estado inicial de 38 a un 30 final de unidades nefelométricas; por otra parte también se comprobó que el material de diatomeas presenta problemas de colmatación cuando se supera un espesor de 3 centímetros (Burta, 2018).

Andrés Suárez, Paola Mesa, Víctor Bravo y Andrés Prieto, (2015), Título: Evaluación de un sistema de filtros de cascarilla de arroz y luffa cylindrica para el tratamiento de aguas lluvias. Descripción: En este trabajo se realizó la evaluación de un sistema de captación de aguas lluvias de la Universidad Libre, utilizando elementos lignocelulósicos a través

de dos filtros de flujo descendente con lecho profundo. Uno que consta de luffa cilíndrica como soporte combinado con cascarilla de arroz como medio filtrante .

Metodología: Para la obtención de los datos a experimentar se realizó el proceso en una bajante la cual transporta el agua de la lluvia hacia un tanque de almacenamiento del agua que pasa por el filtro; para el sistema de tanques y tuberías. Esto con el objetivo de conocer los parámetros físicos y químicos, los cuales permiten determinar la caracterización del líquido filtrado. Para el desarrollo del análisis se tomaron muestras de dos litros de agua a la que se realizó su respectiva caracterización .

Conclusiones y recomendaciones: Se encontró que los filtros no generaron una mejora en parámetros como pH, turbidez, SST y DQO. También, se consiguieron igualar de manera específica cambios en el color del agua, la cual pasó de estar transparente a un color amarillento, y en el olor, donde se presentaron indicios de un proceso de descomposición que se pudo demostrar en el aumento de carga orgánica en el efluente de los filtros .

### **1.3. Justificación**

La importancia de implementar sistemas de filtración con lechos granulares en bajantes de techos para el aprovechamiento del agua superficial producida por la precipitación, podría ser de gran uso para poblaciones vulnerables que no cuenten con el acceso al agua limpia, por ejemplo, en el departamento de Coclé y municipios como Atrato, Bojayá y Quibdó que no cuentan con la cobertura de la potabilización del agua por la mala administración de los gobernantes (Bibliotecas, Gómez Mosquera, Gómez Mosquera, & Gómez Mosquera, 2017). Los medios filtrantes como la arena y antracita tienen propiedades que mejoran la calidad del recurso hídrico, por ejemplo, la arena al tener contacto con el agua, en aproximadamente 15 días se genera una capa orgánica que permite desinfectar el agua de la lluvia que contenga microorganismos, y de esta manera evitar enfermedades generadas por el cólera (Luis, Sánchez, Latorre, & Galvis, 1996). La antracita se caracteriza por extraer gran porcentaje de turbidez y color en el agua. El sistema de filtración y su lavado se hace de manera ascendente para retirar las partículas retenidas en el lecho.

En Colombia la población que se encuentran habitando las zonas rurales del país, no cuentan con acceso a plantas de tratamiento de agua potable, por lo que este sistema de filtración ubicado en las bajantes de aguas lluvias; sería de gran beneficio para estas comunidades y de esta manera se podría ampliar la cobertura para lugares que no cuentan con el tratamiento del agua. "Por ejemplo en zonas críticas como la Guajira y otros municipios como Cisneros Antioquia, Buenaventura, Paratebueno (Cundinamarca)

y Aguada (Santander), hacen parte de las regiones que no cuentan con cobertura para potabilización del agua (Mosquera, 2017).

#### **1.4. Planteamiento y formulación del problema.**

Al abrir el grifo y tomar agua directamente es tan sencillo que muy pocas veces se valora. Un estudio realizado en un lapso de una década a cargo de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), indicó mediante sus informes que aproximadamente una quinta parte de la población mundial sufre por escasez de agua.

Además, la Organización Mundial de la Salud (OMS) en el año 2017, determinó que 2100 personas carecen de agua potable en el hogar y más del doble no disponen de un saneamiento seguro, es decir, que aproximadamente 3 de cada 10 personas, carecen de agua potable y 6 de cada 10, carecen de un saneamiento seguro (OMS, 2017).

El presidente del Consejo Mundial del Agua, Benedito Braga en 2010 dijo que, al invertir 535.000 millones de dólares en un periodo de tiempo de 5 años, no es suficiente, ya que la población consume las tres cuartas partes del agua y aproximadamente el 70% de los habitantes vivirá en ellas en 2050. Generando así, la escasez del agua a nivel mundial (Susana Blázquez, 2015).

Sabiendo que el agua es el recurso natural más importante y también el más contaminado, la educación cultural de utilizar y aprovechar el agua de las lluvias no es considerada como una costumbre en la sociedad, por la escasa información e implementaciones de sistemas que permiten el aprovechamiento del agua de la lluvia y que mitigan la problemática actual en el mundo de no aprovechar un recurso que ofrece la naturaleza.

En el litoral del Pacífico colombiano, se evidencia grandes precipitaciones durante el año y también la falta de acceso al agua limpia. Esto se debe porque no cuentan con estructuras que son para el tratamiento de aguas y su potabilización. Las personas que habitan estas regiones del país están pasando la necesidad de no disponer agua en condiciones óptimas para su uso ni para satisfacer sus necesidades básicas. Por esta razón es de importancia desarrollar proyectos de investigación que ayuden a solucionar el problema de ahorrar, y aprovechar el agua generada por la precipitación (Pacheco, 2008).

En Colombia específicamente, el aprovechamiento de agua captada en los techos y el almacenamiento para el uso de las aguas lluvias, se ha implementado principalmente en las regiones con problemas de abastecimiento de agua potable para consumo

doméstico, como lo son La Bocana (Buenaventura), El Chocó, San Andrés; Puerto Carreño (Vichada), Cartagena; Cali, entre otros, de los cuales la mayoría son sistemas rurales empíricos (Palacio, 2010).

Es importante plantear otras alternativas que orienten a la solución del aprovechamiento de las aguas superficiales en los techos, por ejemplo, la implementación de un sistema de filtración en las bajantes de los techos, construida en lechos granulares y que vaya dentro de las bajantes, para tratar el agua de manera más fácil y accesible para la población que lo requiera, de modo que la limpie para que estas comunidades puedan usar esta agua filtrada en otras actividades, y ahorrar la escasa agua potable con la que cuentan.

El propósito de la investigación es conocer, ¿cuál es la combinación de espesores de lechos filtrantes entre arena, antracita y grava que permita mejorar el color y la turbiedad del agua lluvia a través del sistema de filtración de tipo ascendente para bajantes de agua lluvia.

## **2. MARCO DE REFERENCIA**

### **2.1. Marco teórico**

Este apartado consiste en desarrollar la teoría y conceptos básicos necesarios para el entendimiento de este trabajo de investigación.

#### **2.1.1. Componentes de un sistema de recolección de agua lluvia**

A continuación, se describe cada uno de los cuatro componentes que hacen parte de un sistema de recolección de agua lluvia. Estos son: área de captación. Tanque de almacenamiento, canales principales y bajantes, y un componente adicional que es: sistema de filtración.

- Área de captación: Corresponde a toda la zona descubierta del proyecto, e incluye cubiertas, zonas duras, plazoletas y parqueaderos (Reyes & Rubio, 2014).
- Tanque de almacenamiento o embalse: Es el área donde se acumula el agua obtenida en el área de captación (Reyes & Rubio, 2014).
- Canales principales, bajantes y colectores: Es una infraestructura que permite la conducción y distribución del agua captada desde la fuente hasta el almacenamiento (Reyes & Rubio, 2014).
- Filtración: Los sistemas de filtración tratan el agua pasándola a través de lechos de materiales granulares (p.ej., arena) que retiran y retienen los contaminantes. Los sistemas de filtrado convencionales, directos, lentos de arena y de tierra diatomácea hacen todos un buen trabajo al eliminar la mayoría de protozoos, bacterias y virus (Academies, 2007).

#### **2.1.2. Sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias.**

El aprovechamiento del agua lluvia en edificaciones se ha convertido en una práctica de fácil implementación, ya que la recolección del agua lluvia permite disminuir los consumos de agua potable suministrada por el servicio público del acueducto, logrando así, una disminución en los gastos por dichos consumos y con esto facilitando el uso eficiente del recurso, de esta manera, aquellos sistemas en los cuales el agua potable no es necesaria puedan ser abastecidos por el agua lluvia.

Los sistemas implementados en cuanto al aprovechamiento de agua lluvia, se han convertido en la práctica de captar y aprovechar el agua como la técnica o procedimiento capaz de aumentar la disponibilidad de agua en una zona específica, utilizando este recurso como fuente para uso doméstico, animal o vegetal.

Por lo general, son técnicas mejoradas de manejo de suelos y agua, de manejo de cultivos y animales, así como la construcción y manejo de obras hidráulicas que permiten captar, derivar, conducir, almacenar y/o distribuir el agua de lluvia (Benavides & Arevalo, 2017).

Usualmente estos sistemas para el aprovechamiento de aguas lluvias, se manejan para aprovechar el agua de la precipitaciones que caen directamente sobre la cubierta de las edificaciones, en todos los casos este recurso hídrico es conducido por medio de canaletas y tuberías que están conectadas hacia un tanque de almacenamiento, esto se hace con el fin de utilizar esta agua en uno o varios usos, ya sea para riego, lavado, en sanitarios y orinales o incluso para el consumo humano, que se complementan con procesos de tratamiento (primario o secundario) para el mejoramiento de la calidad del agua (Reyes & Rubio, 2014).

Un sistema básico de captación de agua lluvia consta fundamentalmente por los procesos de captación, recolección, conducción y almacenamiento. Y estos sistemas deben estar complementados con algún sistema de drenaje de excesos, que permita dispersar el agua que no es posible utilizar porque la demanda es menor a la precipitación sobre la construcción (Reyes & Rubio, 2014).

### **2.1.3. Aplicación de agua lluvia.**

En cuanto a la aplicación del agua lluvia procedente de los tejados de las edificaciones, es procedente recoger habitual y transitoriamente la cantidad de agua que más sea posible y con esto llevar a cabo su tratamiento necesario según la normativa vigente aplicable (Escolar, 2016).

Las aguas de lluvia pueden ser empleadas para diversas aplicaciones:

- **Interior de los edificios:**

Para el interior de edificaciones el agua lluvia puede ser empleada para:

- Descarga de sanitarios.
- Lavado de pisos.

- Lavadora (en el uso del agua pluvial para lavadoras, se aconseja un tratamiento complementario, según las especificaciones del fabricante)

- **Exterior de los edificios**

Para el exterior de edificaciones el agua lluvia puede ser empleada para:

- Riego de jardines.
- Lavado de pisos.
- Lavado de automóviles o motocicletas.

- **Usos industriales**

Para usos industriales el agua lluvia puede ser empleada en:

- Limpieza de superficies y vehículos industriales
- Depósito de almacenamiento de agua contra incendios
- Riego (Escolar, 2016).

#### **2.1.4. Ventajas y desventajas del uso de aguas lluvias.**

Las ventajas más importantes en cuanto al uso adecuado que se le puede dar al agua lluvia son:

- El agua lluvia es gratis y los únicos costos son los de recolección, almacenamiento y distribución.
- La calidad fisicoquímica del agua lluvia es alta.
- El uso final del agua recolectada está cerca de la fuente, eliminando la necesidad de sistemas de distribución complejos y costosos.
- El agua lluvia no entra en contacto con el suelo y las rocas donde se disuelven sales y los minerales; por lo tanto, es suave y puede reducir significativamente la cantidad de jabones y detergentes para la limpieza.
- El agua lluvia es ideal para riego de jardines y cultivos (Gestión Ambiente, 2010).

Las desventajas que se deben tener en cuenta a la hora de usar el agua lluvia son:

- El agua captada depende de la precipitación del lugar, la cual puede ser incierta, especialmente por las transformaciones de los ecosistemas naturales, debido en parte al cambio climático.

- Cuando no se usan materiales locales, hay un alto costo inicial que puede impedir su implementación (canales de recolección, conducción y distribución, filtro, depósito de almacenamiento).
- Para aprovechar el agua lluvia se requiere de un tratamiento previo para el uso que se le quiera dar (Gestión Ambiente, 2010).

### **2.1.5. Análisis de calidad agua y pruebas realizadas.**

Encontrar agua lluvia con características de calidad totalmente pura es poco frecuente, esto es debido al nivel de contaminación presente en la atmósfera, ya que esta suele variar en cuanto a su composición, ya que el agua lluvia puede arrastrar pequeñas partículas, microorganismos, sustancias orgánicas, metales pesados y demás contaminantes, los cuales se precipitan en la lluvia. Aparte de estos agentes también se deben tener en cuenta posibles contaminantes en las zonas de captación y en la construcción de los sistemas de aprovechamiento.

En cuanto a los análisis de calidad de agua es importante conocer que la captación del agua lluvia es un procedimiento que puede ser contaminado por los diversos agentes que se han mencionado anteriormente, es por esto que se recomienda efectuar constantemente investigaciones acerca de la calidad del agua recolectada y su evolución en el tiempo de almacenamiento. Además, es de gran importancia realizar diagnósticos periódicos de la calidad, analizando parámetros fisicoquímicos y microbiológicos con base al uso que se le va a dar (Montero Durán & Civil, 2017).

Para determinar la calidad en que se encuentra el agua, es necesario hacer varios análisis y pruebas; algunos de ellos se pueden hacer en casa con equipos sencillos, pero los más importantes para la salud deben realizarse con una muestra, en un laboratorio especializado que cuente con todos los implementos y equipos requeridos para el análisis del agua lluvia. Estos análisis realizados a diferentes muestras de agua son útiles para determinar el tratamiento necesario que requiere el agua lluvia a fin de que esta pueda quedar apta para el uso que se le vaya a dar o para verificar que los sistemas empleados estén trabajando de la manera correcta (Correa-Sastoque, 2014).

- **Análisis de Color**

El color del agua es ocasionado generalmente por la presencia de material colorante, existen dos tipos de color, el verdadero que es el que está presente en el agua después de remover la materia suspendida y el color aparente que es el color verdadero más cualquier otro color que produzcan las sustancias en suspensión; Se expresa en unidades de color ó unidades platino cobalto (Sánchez Martínez, 2017).

- **Análisis de la turbiedad**

La turbiedad del agua se determina a través de un turbidímetro, el cual está formado por una fuente de luz; un sistema de lectura de la luz que pasa a través del agua contenida en un recipiente blanco transparente o de la luz que dispersan las partículas, y una escala de medida. Se expresa en unidades nefelométricas o en unidades de turbiedad (Sánchez Martínez, 2017).

### **2.1.6. Filtración de aguas.**

El proceso de filtración de aguas consiste en la separación que ocurre al pasar un líquido a través de un material poroso para retener los sólidos suspendidos en el agua y la materia coloidal presente.

La filtración se realiza en dos etapas: transporte de las partículas hacia adentro de los poros del medio granular, y adherencia a los granos de éste (Gallis Fuentes, 2007).

- Tipos de filtros.

Normalmente se puede distinguir tres tipos de filtros en función de su ubicación y estos son:

- Tipo U1. Filtros para la instalación en bajantes
- Tipo U2. Filtros para la instalación en depósitos
- Tipo U3. Filtros para la instalación individual (en arquetas, enterradas o en superficie).

Con respecto al principio de funcionamiento de filtración existen dos tipos básicos que son:

- Tipo F1. Filtros con expulsión de la suciedad “auto limpiantes”
- Tipo F2. Filtros con acumulación de la suciedad (Huguet, 2016).

- Clasificación de filtros.

Los filtros se pueden clasificar dependiendo la combinación de lechos filtrantes y su sentido de flujo, esto con el fin de determinar la carga sobre el lecho.

Tabla 1. Clasificación de filtros.

<b>Lecho Filtrante</b>	<b>Sentido del Flujo</b>	<b>Carga sobre el Lecho</b>	<b>Control Operacional</b>
Arena o antracita	Descendente	A gravedad	Tasa constante y nivel variable
Mixtos	Ascendente	A presión	Tasa constante y nivel constante
	Flujo mixto		Tasa declinante

Fuente: (Gallis Fuentes, 2007).

En la Tabla 1 se muestra detalladamente la clasificación de los filtros en cuanto a sus lechos filtrantes, sentido del flujo y su carga sobre cada lecho, esto con el fin de determinar su control operacional.

### 2.1.7. filtros.

Existe una gran variedad de filtros, estos dependen principalmente de los tipos de lechos filtrantes con los que vayan conformados, además, los sistemas de filtración de agua lluvia cuentan con dos sentidos de flujo en su entrada; uno por debajo del manto filtrante y otro por encima. Los filtros de flujo ascendente la entrada de agua se ubica debajo del manto filtrante. La carga de entrada es constante, ya que el agua ingresa a través de una tubería conectada a una caja provista de vertederos. Cada tubería conducente a un filtro está provista de medidores y reguladores de caudal. La filtración ascendente presenta la ventaja de que el agua afluyente escurre en el sentido en que los granos del medio filtrante disminuyen de tamaño, lo que hace posible que todo el medio filtrante sea efectivo en la remoción de partículas suspendidas (Gallis Fuentes, 2007). Los filtros de flujo descendente Son los más frecuentemente usados en los sistemas de abastecimiento públicos. El agua ingresa a la caja filtrante por arriba del manto, y es recolectada en el fondo. Su mayor simplicidad los hace más confiables y fáciles de operar (Gallis Fuentes, 2007).

Principalmente los filtros pueden ser de lecho filtrante simple ó mixto; los de lecho filtrante simple son aquellos cuyo lecho está formado por un solo material, que suele ser arena o antracita. El inconveniente de este tipo de filtros es la tendencia a estratificarse durante el lavado: los granos más pequeños suben a la superficie del manto y se depositan en los intersticios de los otros granos. Por este efecto, en los medios de arena convencionales la permeabilidad aumenta con la profundidad del filtro. Debido a esto, el mayor porcentaje de partículas queda retenido en la superficie y, por tanto, la capacidad de almacenamiento de flocs es limitada (Gallis Fuentes, 2007). Por otro lado, los filtros de lecho mixto lo que busca es que la permeabilidad disminuye con la profundidad, de forma que los flocs que atraviesen la superficie del manto queden

retenidos en las capas inferiores del filtro. Como al emplear un solo tipo de material granular esto no es posible, pues el flujo de lavado lo estratifica en sentido contrario, se empezaron a utilizar combinaciones de medios de diferentes densidades, de manera que el material de mayor tamaño fuera el de menor densidad para que el flujo ascendente del lavado lo transporte hacia la superficie del manto. Los granos más finos del material de mayor densidad se van al fondo. La combinación de materiales más común es arena y carbón. El tamaño específico del carbón es mayor, pero su densidad es menor y después de cada lavado se deposita sobre la arena (Gallis Fuentes, 2007).

Para determinar los materiales granulares de cada lecho filtrante es fundamental desarrollar un análisis granulométrico de un agregado, el cual se entenderá a todo procedimiento manual o mecánico por medio del cual se pueda separar las partículas constitutivas del agregado según tamaños, de tal manera que se puedan conocer las cantidades en peso de cada tamaño que aporta el peso total. Para separar por tamaños se utilizan las mallas de diferentes aberturas, las cuales proporcionan el tamaño máximo de agregado en cada una de ellas. En la práctica los pesos de cada tamaño se expresan como porcentajes retenidos en cada malla con respecto al total de la muestra. Estos porcentajes retenidos se calculan tanto parciales como acumulados, en cada malla, ya que con estos últimos se procede a trazar la gráfica de valores de material. A partir de la curva que se realiza de las ordenadas y diámetro de las partículas, se pueden obtener diámetros como el D10 y D60, donde el D se refiere al tamaño del grano, o diámetro aparente de la partícula (Jose & Cañas, 1996).

Un indicador de la variación del tamaño de los granos presentes en la muestra se obtiene mediante el coeficiente de uniformidad (Cu) definido como:

$$Cu = D_{60} / D_{10}$$

Las características hidráulicas que mayor influyen en la determinación de la eficiencia de filtración son: la tasa de filtración y la carga hidráulica; la tasa de filtración tiene diferentes variaciones debido a la velocidad durante la carrera, que relativamente afecta la calidad del efluente. Principalmente estas variaciones dependen de la magnitud de la variación producida, también por la pérdida de carga presentada en el filtro (Escolar, 2016). La carga hidráulica tiene diferentes variaciones y esto se debe principalmente a la duración de carrera de filtración. Para fijar la carga hidráulica es necesario tener en cuenta otros factores como es el caso de los aspectos económicos, granulometría necesaria para el medio filtrante y por último el espesor (Escolar, 2016)

El retrolavado de filtros es uno de los procesos más importantes en el mantenimiento del mismo, debido a que el filtro sólo puede producir agua con determinada calidad durante un periodo de tiempo fijo, a partir del cual empiezan a quedar impurezas en el

agua filtrada. Esto se debe a que las partículas removidas en la parte superior del lecho filtrante forman un manto con las impurezas retenidas por la filtración que obstruye el paso del flujo e impide el uso de la parte profunda del filtro. Por eso, el medio poroso debe regenerarse periódicamente dándole un retro lavado a presión para desalojar esas impurezas y así restaurar la eficiencia del proceso. El momento en que el filtro debe retro lavarse se llama punto de rotura. Las impurezas son enviadas al sistema de drenaje (Ochoa, 2005).

Al principio del proceso de filtración, cuando el filtro está totalmente limpio, éste tiene un periodo inicial de maduración en que la turbiedad del agua filtrada es alta. Por ello se desecha el agua filtrada durante los primeros 3 a 5 minutos. Posteriormente sigue un periodo de buena calidad que se debe a que las impurezas contribuyen a que se adhieran más partículas sólidas a los granos del filtro y, Por último, se da el paso de las impurezas a través del lecho filtrante. (Ochoa, 2005).

Las partículas sólidas que se remueven del agua se deben principalmente a sus diámetros y disminución en cuanto a su porosidad inicial, incrementando así, la pérdida de carga debido a la disminución del área de lecho filtrante y del paso del flujo. Por lo que se observa cuando existe pérdida de carga inicial y una pérdida de carga por colmatación que es función del tiempo. (Ochoa, 2005).

## **2.2. Objetivos**

### **General:**

Construir un sistema de filtración de flujo ascendente en una bajante de aguas lluvias con el fin de determinar parámetros físicos de color y turbiedad del agua lluvia.

### **Específicos:**

- Hacer el diagnóstico de parámetros de calidad del agua lluvias procedentes del drenaje de la cubierta por medio de las pruebas turbiedad y color.
- Elaborar un sistema de filtración ascendente en una bajante de aguas lluvias con diferentes combinaciones de lechos filtrantes en la Universidad Católica de Colombia.
- Determinar los espesores del medio filtrante de arena, antracita y grava para la conformación del filtro con el fin de encontrar las mejores eficiencias de remoción física de algunos contaminantes pertenecientes al agua lluvia, a través de las pruebas turbiedad y color.

### **2.3. Alcances y limitaciones.**

**2.4.1. ALCANCES:** El presente proyecto tiene como finalidad desarrollar un modelo didáctico de un sistema de filtración de flujo ascendente. Se pretende obtener mejores resultados en el proceso de filtración del agua recolectada por la lluvia.

Este modelo será implementado en el edificio R de la Universidad Católica de Colombia, en una de sus bajantes que se encuentra adyacente a la entrada del laboratorio de plantas de tratamiento de agua potable y residual. Además, las pruebas de laboratorio que se van a realizar se pueden hacer en las instalaciones de la Universidad.

### **2.4.2. Limitaciones**

Los filtros que se han propuesto a través del tiempo con ayuda del conocimiento de ingenieros civiles que han logrado importantes aportes en el tema para el tratamiento del agua, tienen como fin establecer las características y propiedades de los filtros para conocer cada detalle del funcionamiento; como lo es la tasa de filtración y la carga superficial, entre otras variables que tienen los filtros convencionales. La limitante en este trabajo investigativo es que para hallar cada una de estas características mencionadas, la teoría de la filtración propone aplicar unas ecuaciones que están en función de un caudal que es el que pasa por el lecho filtrante, sin embargo, se investigó que no se puede implementar estas ecuaciones, debido que lo que se propone en este trabajo de grado es un sistema para aguas lluvias, lo que hace difícil la obtención de un caudal constante por la variabilidad de la precipitación dependiendo en la zona que se encuentre. Esto quiere decir, que para este sistema de filtración de flujo ascendente se realizó la obtención de sus características de manera experimental en función de unos volúmenes y no de un caudal.

### **3. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Fase I: Diseño e instalación de un filtro.**

En la primera fase se realizó el diseño y construcción a escala de un prototipo de un sistema de filtración de tipo ascendente para bajantes de agua lluvia. La bajante donde se efectuó la intervención para su instalación; se encuentra ubicada el laboratorio de plantas de tratamiento de agua potable y residual del edificio R, donde se localiza el sistema de captación de aguas lluvias de la Universidad Católica de Colombia, sede el Claustro, exactamente en el laboratorio de plantas de tratamiento de agua potable y residual.

El sistema de filtración se elaboró con el software de diseño AutoCAD, previamente se hizo un levantamiento topográfico para poder hallar el área de la cubierta del sistema de captación y la altura necesaria para la intervención de la tubería donde se prosiguió a la construcción e instalación el prototipo de filtración. Los materiales para la construcción del sistema de filtración son de fácil adquisición, ya que se requiere de accesorios y tubería pluvial en PVC, el diámetro de la tubería es de 4" teniendo en cuenta que el mismo de la bajante de agua lluvia donde se hará la intervención para su instalación.

#### **3.2. Fase II: Análisis granulométrico y determinación de espesores de lechos filtrantes.**

La segunda fase trata de la construcción de un filtro con diferentes combinaciones de lechos filtrantes. Para la elaboración del filtro se utilizó materiales granulares tales como (grava, arena y antracita). Los espesores de los medios filtrantes se seleccionaron a criterio propio de manera experimental. Además, se desarrolló en las instalaciones especializadas con las que cuenta la Universidad Católica de Colombia, la práctica de laboratorio de análisis granulométrico para cada uno de los materiales granulares que conforman el filtro.

A partir del cernido realizado con los tamices suministrados en la práctica de laboratorio, se obtuvo el coeficiente de uniformidad de cada uno de los materiales granulares con su respectivas fórmulas y cálculos.

Los espesores de los lechos filtrantes son los siguientes:

##### **Primer filtro:**

- ANTRACITA:20 cm

- GRAVA:10 cm
- ARENA:20 cm

#### **Segundo filtro:**

- ANTRACITA:15 cm
- GRAVA:5 cm
- ARENA:15 cm

#### **Tercer filtro:**

- ANTRACITA:10 cm
- GRAVA:5 cm
- ARENA:20 cm

### **3.3. Fase III: Recolección de muestras de agua lluvia.**

En esta fase se hizo la recolección de las muestras de agua lluvia para la obtención del volumen captado por el pluviómetro y el área de la cubierta del sistema de captación de agua lluvia en diferentes tiempos de precipitación. Para ello se utilizó un pluviómetro que se construyó con tubería pluvial de 6", al cual se le adaptó un embudo y un cono de medición de 1000ml. En seguida se colocó adyacente al laboratorio de plantas y tratamiento de agua potable y residual de la Universidad Católica de Colombia. Recolectando las muestras de agua lluvia para sus respectivos análisis de calidad.

### **3.4. Fase IV: Análisis de resultados.**

En esta fase se analizan los resultados de calidad del agua, mediante las pruebas de laboratorio de turbiedad y color realizados en la Universidad Católica De Colombia, para cada uno de los tres sistemas de filtración de flujo ascendente para bajantes de agua lluvia. Determinando cual es la mejor combinación de medios filtrantes que mejor obtenga eficiencias de remoción en cuanto a las pruebas realizadas.

para ver más información acerca del procedimiento qué se debe llevar a cabo paso a paso en la realización de los análisis de color y turbiedad dirigirse a ANEXO 1.

## 4. CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE LOS SISTEMAS DE FILTRACIÓN.

### 4.1.1. Diseño de los sistemas de filtración.

En este capítulo se explica el proceso del diseño constructivo del sistema de filtración elaborado en la bajante de aguas lluvias de la Universidad Católica de Colombia, sede el Claustro. Para conocer más detalles acerca del diseño del plano que se elaboró, dirigirse al ANEXO 2.

### 4.1.2 Esquema del sistema de filtración.

La Ilustración 8 es una esquematización generada por el software SketchUp en donde la finalidad es mostrar un modelo final del prototipo que será instalado en las instalaciones del laboratorio de plantas y tratamiento de agua potable.

Ilustración 8. Diseño del sistema de filtración de flujo ascendente para bajantes de agua lluvia.



Fuente: Propia.

Ilustración 9. Bajante del Sistema de captación y almacenamiento de aguas lluvias de la Universidad Católica de Colombia, sede el Claustro.



Fuente: Propia.

En la Ilustración 9 se evidencia la bajante de aguas lluvias que conecta la canal con el tanque de almacenamiento del sistema de captación de aguas lluvias de la Universidad Católica de Colombia, sede el Claustro en el laboratorio de plantas. En esta bajante se realiza el estudio investigativo con enfoque para la intervención y construcción de un sistema de filtración de flujo ascendente para bajantes de agua lluvia.

Inicialmente se determinan los materiales necesarios para la elaboración de los sistemas de filtración. Para la construcción de cada uno de los filtros se toman materiales de características similares como la tubería de PVC, y diferentes materiales granulares.

Ilustración 10. Adaptación del sistema de filtración desde la tubería a la bajante de aguas lluvias.



Fuente: Propia.

En la Ilustración 10 se observa la intervención de la tubería que hace parte del sistema de captación de aguas lluvias, para este proceso de construcción se contó con el apoyo de un trabajador de mantenimiento técnico, de nombre Julio Parra, que gracias a él se llevó a cabo la instalación del sistema en la bajante. Primeramente, se realizó un corte a la tubería de 43 cm con el fin de hacer la conexión del sistema de filtración de flujo ascendente. En este corte se adapta una unión de reparación del mismo diámetro de la tubería que es de 4", seguidamente se realiza un corte de 11cm de tubería que conecta a una T. Seguidamente se conectó una tubería de PVC pluvial del mismo diámetro; con una longitud de 204 cm que funciona como una bajante de agua lluvias.

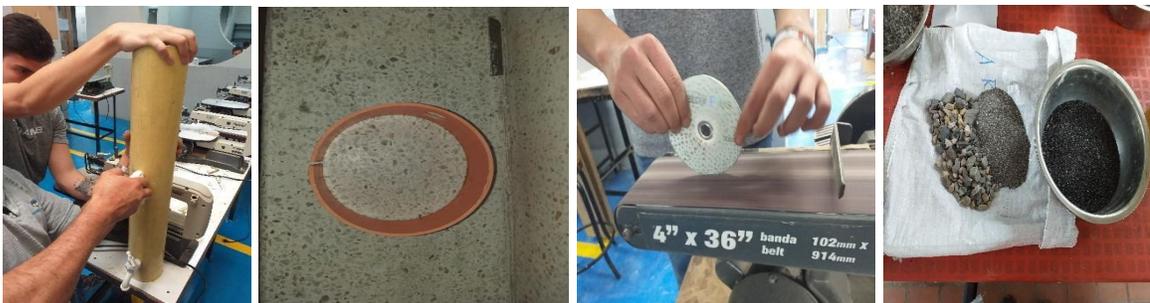
Ilustración 11. Adaptación de la parte inferior del sistema de filtración desde la tubería a la bajante de aguas lluvias.



Fuente: Propia.

En la Ilustración 11 se observa la parte inferior del sistema de filtración la conexión de la tubería pluvial de 204 cm de longitud con una T a la que se le instala un tapón de inspección en su parte inferior derecha, que tiene como finalidad abrir esa parte del filtro para que el agua salga y se pueda hacer la limpieza en esa sección. En esta T en su parte inferior izquierda se adapta una tubería de 13,5 cm de longitud para conectar un codo de 90 grados y de esta manera realizar la conexión de la tubería de 75,5 cm de longitud que lleva en su interior el filtro con sus diferentes lechos filtrantes.

Ilustración 12. Construcción del filtro.



Fuente: Propia.

Para la construcción de los lechos filtrantes dentro de la tubería de 75,5 cm, se construye un soporte con el mismo material de tubería pluvial con un diámetro de 10,6 cm que tiene como función separar los diferentes materiales granulares, que se muestra en la Ilustración 12; por otra parte, se adaptó una lámina que fue perforada y que funciona para que el agua lluvia pueda pasar entre los lechos filtrantes. Esta lámina tiene un área superficial de 81,07 cm<sup>2</sup>, que es perforada con una broca de 3,5 mm. Las perforaciones se hicieron teniendo en cuenta un área superficial del 10% del total del área de la lámina, para que el agua lluvia que pase pueda ser filtrada. Finalizando este proceso en la parte en donde se encuentra el filtro se hizo la adaptación de dos válvulas de control, una antes de ser filtrada el agua para obtener registro en ese punto, y otra después de ya ser filtrada.

Ilustración 13. Instalación del sistema de filtración por Julio Parra de mantenimiento técnico.



Fuente: Propia.

En la Ilustración 13 se evidencia la sección de tubería que une el filtro con un codo de 90 grados, al cual se le realizó una conexión de tubería de 12 cm de longitud que llega a una T y conecta el sistema de filtración con la bajante existente; para que el agua filtrada se almacene en el tanque subterráneo con el que cuenta el sistema de captación de aguas lluvias.

Ilustración 14. Sistema de filtración totalmente construido.



Fuente: Propia.

En la Ilustración 14 se observa el sistema de filtración completamente construido, en este proceso fue pintado del mismo color de las paredes y de la bajante existente, además, se instaló un espigo en la T que se encuentra ubicada en la parte inferior derecha del sistema. Al espigo se le adaptó una manguera adyacente a la bajante de 204 cm de longitud con una cinta métrica, con el fin de determinar la altura piezométrica del volumen generado en esa sección de la bajante.

Para mayor detalle de la construcción de los sistemas de filtración dirijase a ANEXO 3.

#### **4.2. Determinación de espesores del lecho filtrante.**

Para la determinación de los espesores de los medios filtrantes que tiene cada sistema de filtración; se eligieron diferentes materiales granulares. Inicialmente se ha propuesto que el filtro esté compuesto por tres materiales, arena, grava y antracita. Además, cómo la arena es un material importante que se ha usado en este tipo de filtración por su forma, densidad y propiedad de desinfectar; se eligieron tres tipos de arenas diferentes, las cuales son: Arena de río Guamo, arena amarilla para filtros y arena del río Guayaribe; esto con el fin de obtener propiedades y características diferentes en cada uno de los sistemas de filtración construidos.

Las combinaciones y espesores del lecho filtrante se han elegido a criterio propio, debido que en esta investigación se propone un prototipo con características diferentes

a los filtros existentes para las bajantes de aguas lluvias que son construidos por las industrias, pero que no son de materiales granulares. Los espesores del medio filtrante también se eligieron en función de otros factores externos, por ejemplo, la masa propia de cada uno de los materiales granulares, es decir al estar apilados cada material dentro de la tubería que en este caso es la bajante de aguas lluvias, se formará un volumen de materiales debido al área de la bajante y la altura del espesor; este volumen de lecho filtrante genera un peso debido a su masa. Por otra parte, el agua que se almacene en el sistema de tuberías también generará una masa y por ende un peso. Los espesores de cada lecho filtrante están comprendidos entre 5 a 20 centímetros, entre la arena, grava y antracita, para tratar de lograr que la estructura en su masa total sea lo menos pesada.

#### **4.2.1 Análisis granulométrico de los materiales granulares para los tres sistemas de filtración propuestos.**

El análisis granulométrico se lleva a cabo para determinar factores importantes en los materiales aplicados en esta investigación, es importante que en la construcción de cualquier filtro con material granular se realice una caracterización para conocer el diámetro del grano. Los lechos filtrantes deben ser construidos tratando que el material sea lo más uniformes posible, y por esta razón se realiza la gradación de los diferentes materiales, teniendo en cuenta la serie propuesta por la norma INV 123-13. Para el análisis granulométrico se tomaron muestras de los siguientes materiales: Antracita, grava, Arena Guayaribe, Arena del Río Guamo y Arena amarilla de peña; por otra parte, los tres sistemas de filtración propuestos y que se pusieron a prueba experimental para conocer cual remueve más turbiedad y color por efecto del lecho filtrante; tendrán estos materiales ya mencionados. Este análisis granulométrico tiene como fin caracterizar el material para que de esta manera se pueda encontrar el Cu. El coeficiente de uniformidad es la relación del 60% y 10% de los porcentajes que pasan, y se halla para encontrar una uniformidad en las partículas del material seleccionado. Se debe tener en cuenta que los coeficientes de uniformidad por debajo de 5, significa que el material seleccionado es uniforme.

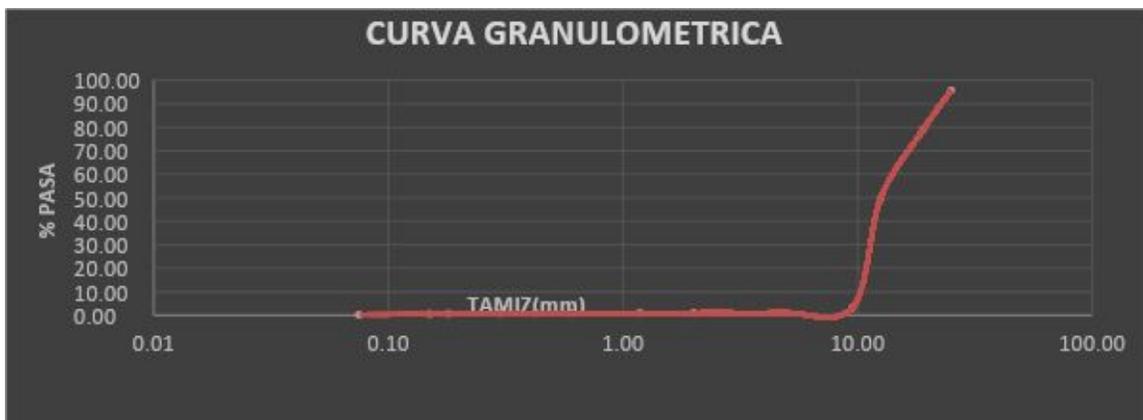
A continuación, en este apartado se encuentra los resultados arrojados por la caracterización y gradación analizadas para cada uno de los materiales ya mencionados.

- **GRAVA:**

Para el análisis granulométrico de la grava se utilizaron la serie de tamices que indica la norma INV 123-13. Inicialmente se caracterizó una muestra con 3002,4g para realizar el proceso de cernido en los tamices, y de esta manera obtener un porcentaje de peso

retenido con relación a la masa total del material inicial. Los resultados son indicados en la se observa la curva granulométrica que se origina en función del porcentaje del material que pasa versus el diámetro de cada uno de los tamices en milímetros. Para el caso de la grava se hallaron los valores del D60 que es de 20.5 y el D10 de 10. La relación entre estos dos valores se obtiene el coeficiente de uniformidad que es de 2.05, es decir, el tamaño de todas las partículas de este material se encuentra casi del mismo tamaño. A continuación en la Gráfica 1 se muestra la curva granulométrica de la grava.

Gráfica 1. Curva granulométrica de la grava.

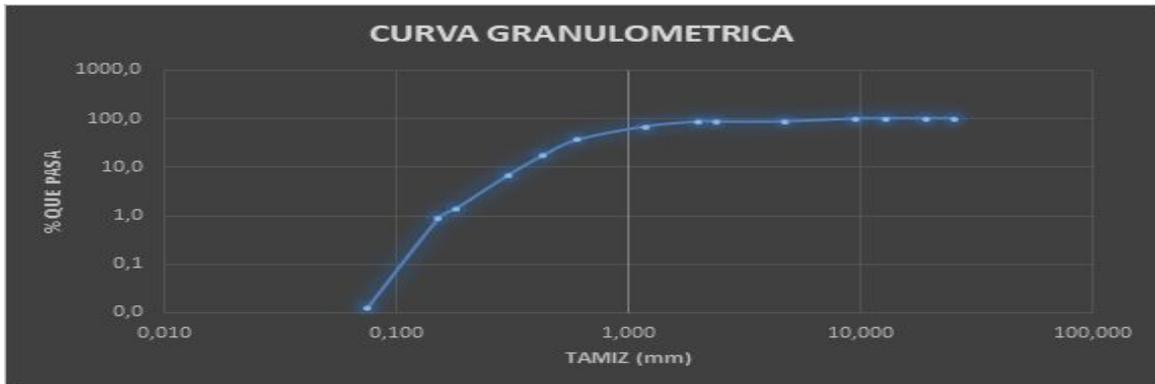


Fuente: Propia.

- ARENA DEL RÍO GUAMO:

En la Gráfica 2 se obtiene la curva granulométrica de la caracterización de la arena del Guamo, que corresponde a la arena que lleva el filtro uno en su interior y que se origina a través de relacionar el porcentaje de material que pasa con cada uno de los diámetros de los diferentes tamices. La obtención de esta curva es significativa para hallar los valores del D60 que es 0.8 y el D10 de 0.5, y seguidamente se realiza la relación de estos dos datos para obtener un coeficiente de uniformidad de 1.6.

Gráfica 2. Curva granulométrica arena del Guamo.

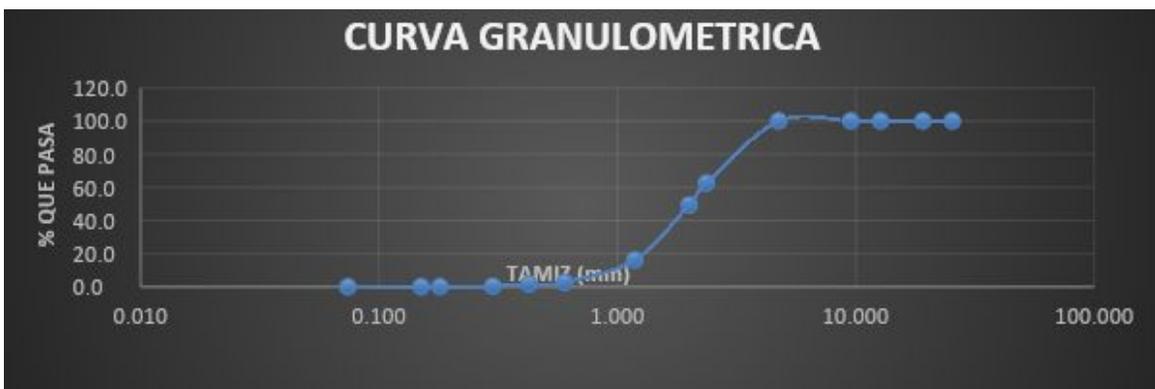


Fuente: Propia.

- ANTRACITA:

La antracita es un material de origen de minerales metamórficos, de color oscuro y brillante, en comparación a otros medios filtrantes como la arena, la antracita permite reducir la pérdida de carga en el filtro y mejora el desempeño de la velocidad del flujo. Este material granular permite que los sólidos en suspensión sean retenidos gracias a la forma del grano; haciendo que se pueda hacer un retrolavado mejor. A continuación, en la Gráfica 3 se observa la curva granulométrica de la antracita y de esta manera obtener un D60 de 3.5 y un D10 de 1 para obtener un coeficiente de uniformidad de 3.5, que significa que el tamaño de las partículas ya no es del mismo tamaño.

Gráfica 3. Curva granulométrica de la antracita

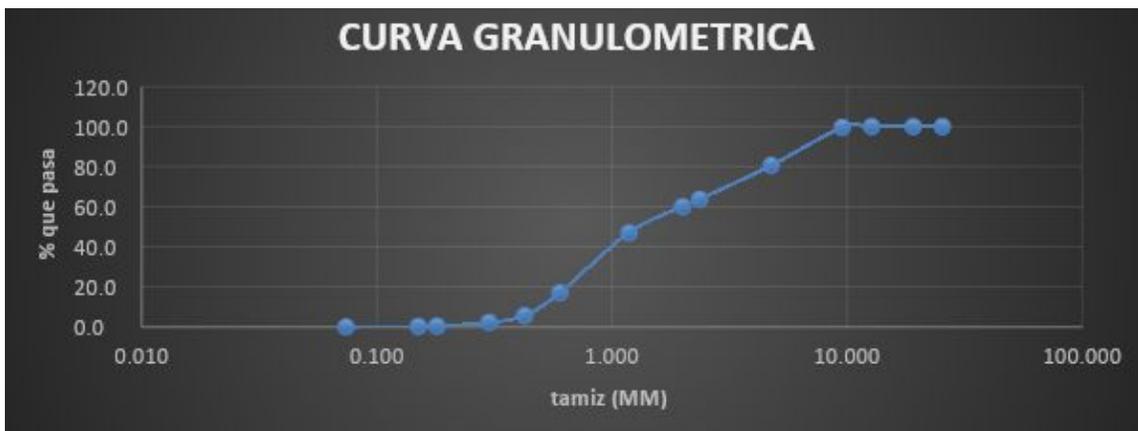


Fuente: Propia.

- ARENA DEL RÍO GUAYARIBE:

La arena es el material más utilizado para filtros por su tasa de filtración lenta, además que es uno de los materiales con mayor uniformidad en sus granos para la instalación de filtros granulares. Este material granular corresponde a la arena que irá contenida en el filtro dos. Se determinó este material con el fin de realizar una comparación de los coeficientes de uniformidad en las demás arenas para saber cuál es más uniforme, debido a esto, se conoce si es un filtro de tasa lenta. Realizando la relación del D60 de 3.5 y D10 de 0.8 se obtiene un coeficiente de uniformidad de 4.3, tal como se muestra en la Gráfica 4. Esto quiere decir, que los granos del lecho filtrante no son del mismo tamaño, generando vacíos entre sus partículas y dependiendo de esto, los filtros, aunque sean de arena podría variar proceso de filtración por uno más rápido.

Gráfica 4. Curva granulométrica de arena del río Guayaribe.

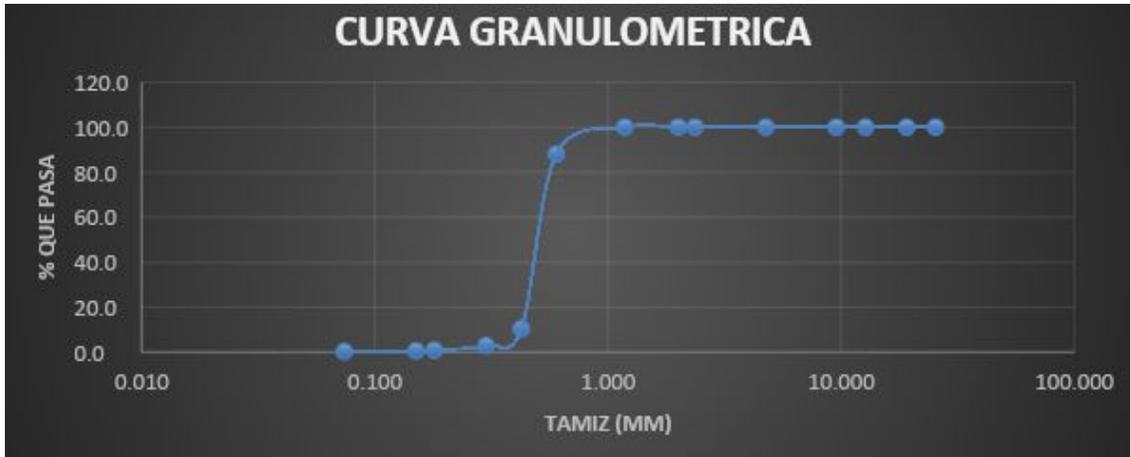


Fuente: Propia.

- ARENA AMARILLA DE PEÑA:

Se implementó la arena amarilla porque es la más recomendada para filtros de estas características. Este medio filtrante está contenido dentro del filtro número tres, donde la curva granulométrica se muestra en la Gráfica 5, obteniendo de la gráfica un D60 de 0.80 y un D10 de 0.60, que al realizar la división entre estos dos valores se obtiene un coeficiente de uniformidad de 1.33. Esto quiere decir que este material hace parte del rango en donde los tamaños de sus partículas son similares, y por ende haciendo que la rata de filtración sea más lenta por la uniformidad entre sus partículas.

Gráfica 5. Curva granulométrica arena amarilla de peña.



Fuente: Propia.

Para los 5 materiales granulares se obtuvieron los coeficientes de uniformidad ( $C_u$ ) en donde se mostrará en la Tabla 2.

Esto con el fin de demostrar que todos los  $C_u$  están por debajo de 5 y que los materiales son uniformes; importante para la elaboración de filtros con lechos granulares. El coeficiente de uniformidad más cercano a cinco es el del río Guayaribe, esto significa que en este medio filtrante habrá más vacíos por la desuniformidad entre partículas, siendo una desventaja porque los vacíos dejan pasar los sólidos suspendidos; haciendo que internamente se colmate el lecho y aumenta la turbiedad. Por otra parte, se evidencia que la arena amarilla cuenta con un  $C_u$  cercano a uno, esto quiere decir, que los tamaños de sus partículas son similares. La obtención de este  $C_u$  para la arena garantizará mayor remoción de turbiedad en el agua, ya que no hay muchos vacíos entre partículas, pero la rata de filtración disminuye por esta razón.

Para observar con más detalle el proceso de cernido en cada tamiz de los materiales granulares utilizados en la determinación de espesores y lechos filtrantes; dirigirse a ANEXO 3.

Tabla 2. Coeficientes de uniformidad (Cu)

		COEFICIENTES DE UNIFORMIDAD (Cu)		
Antracita	Grava	Arena del Guamo	Ana del río Guayaribe	Arena amarilla de peña
3,5	2,05	1,6	4,3	1,33

Fuente: Propia.

### 4.3. Operación en marcha del sistema de filtración del flujo ascendente.

Para poner el sistema de filtración de flujo ascendente en marcha, es necesario conocer el volumen de agua que requiere para que pase por el filtro. Esto con el fin de conocer la velocidad de filtración, es decir, si es un filtro lento o de tasa rápida. El siguiente punto trata de la puesta en funcionamiento del sistema de filtración el cual se conoció el volumen que requiere el sistema para que inicie su proceso de filtración, lo anterior debe ir en función de las cabezas piezométricas que se hallan para determinar la pérdida por carga de cada sistema de filtración.

#### 4.3.1 Determinación del volumen de agua lluvia.

Para la obtención del volumen de agua lluvia, se utilizó un pluviómetro con el que cuenta el laboratorio de plantas y tratamiento de agua potable y que fue puesto adyacente al laboratorio de plantas de la Universidad Católica de Colombia en su sede el Claustro. Tal como se muestra en la Ilustración 15, donde se adaptó un embudo con un área de 201.06 cm<sup>2</sup>, y un cono de medición de 1000 ml dentro del pluviómetro.

Ilustración 15. Pluviómetro.



Fuente: Propia.

En la Tabla 3 se muestra las duraciones y volúmenes recolectados en el pluviómetro en diferentes periodos de precipitación en horas y el volumen en mililitros. Esta información fue tomada en diferentes tiempos de lluvias que se presentaron durante el transcurso del mes de octubre del 2019.

Tabla 3. Volumen de agua recolectada en pluviómetro.

<b>Pluviómetro</b>	
Duración de precipitación (horas)	Volumen de agua recolectada (mililitros)
12 horas	310 ml
6 horas	280 ml
4 horas	100 ml
3 horas	60 ml
2 horas	10 ml

Fuente: Propia.

Para la obtención de los volúmenes de agua lluvia recolectada en la cubierta fue de gran importancia conocer el área de captación que es de 18300 cm<sup>2</sup> lo que se hizo fue una relación entre el área del pluviómetro y el área de la cubierta. A continuación en la Tabla 4 se puede observar que el volumen máximo recolectado de una precipitación de doce horas fue de 1261666 ml que equivalen a 1.26 m<sup>3</sup> de agua.

Tabla 4. Volumen de agua recolectada en el área de captación.

<b>ÁREA DE CAPTACIÓN</b>	
Duración de precipitación (horas)	Volumen de agua recolectada (mililitros)
12 horas	1261666 ml
6 horas	1139569 ml
4 horas	406989 ml
3 horas	244193,4 ml
2 horas	40698,9ml

Fuente: Propia.

Este procedimiento se hizo con el fin de analizar diferentes precipitaciones durante el mes de octubre del año 2019. Con estas precipitaciones se pudo determinar que volumen de agua puede ser recolectada en el área de captación donde se instaló cada

uno de los sistemas de filtración y con estos datos poder definir el volumen de agua necesario para el funcionamiento de los sistemas de filtración de flujo ascendente para bajantes de agua lluvia.

#### 4.3.2 Pérdida de carga en los sistemas de filtración.

Avanzando en nuestro razonamiento, en este ítem se explicará en detalle cómo se halló la pérdida de carga y que volumen es el requerido para que inicie su proceso de filtración. El procedimiento a seguir fue perforar en la parte inferior del sistema como se observa en la Ilustración 16 e instalar una salida de control, en donde se adapta una manguera transparente y una cinta métrica para conocer el nivel del agua en diferentes puntos cuando la bajante de aguas lluvias se está llenando. Además, se determinó el volumen de agua retenido en el filtro; a través del anterior procedimiento se conoció que se necesita más de dieciocho litros para que inicie el funcionamiento de filtrado. Sin embargo, cuando el filtro no está puesto en marcha por que las lluvias durante algunos periodos del tiempo pueden cesar, el volumen de agua retenido en el filtro es de dieciocho litros. Esto quiere decir que el lecho filtrante siempre se encontrará mojado, esto es muy importante porque con el tiempo el oxígeno que contiene el agua y los minerales de cada lecho filtrante se forma una capa vegetativa que elimina la vida microbiana que pasen por el lecho y de esta manera mejorar la calidad del agua filtrada.

Ilustración 16. Medición de la cabeza piezométrica.



Fuente: Propia.

Para el análisis de hallar la pérdida de carga de cada filtro se realizó el siguiente procedimiento, se utilizó la bomba del laboratorio de plantas y con una manguera se le vertió agua a la bajante simulando el proceso de llenado y funcionamiento del sistema de filtración. A pesar de que los tres sistemas de filtración cuentan con las mismas dimensiones en el diseño y composición de cada accesorio y parte de tubería de su

construcción, la variación de la pérdida de carga de cada uno de los filtros será diferente por el volumen construido de materiales granulares. Esta diferencia de altura de espesores y volumen formado de materiales granulares hará que las cabezas piezométricas generadas en la bajante de agua lluvias durante su proceso de llenado cambien y, por ende, hallan diferentes cabezas piezométricas para que los filtros inicien su proceso de filtración.

Para ver el registro fotográfico de la construcción del sistema de filtración dirigirse a ANEXO 4.

A continuación en la Tabla 5, se muestran las pérdidas de cargas obtenidas para cada sistema de filtración, la manera de hallar esta característica del filtro, es midiendo la altura en donde se encuentra el registro de salida para tomar muestras del agua filtrada, y la otra altura que se debe medir es la altura piezométrica del nivel del agua para que cada filtro inicie a filtrar, la diferencia de estas dos alturas es la pérdida de carga para cada uno de los filtros.

Tabla 5. Pérdidas de carga.

<b>Alturas (H)</b>	<b>Filtro 1</b>	<b>Filtro 2</b>	<b>Filtro 3</b>
Altura de la salida (cm)	52	61	61
Altura nivel del agua (cm)	70	117	150
Pérdida de carga (cm)	18	56	89

Fuente: Propia.

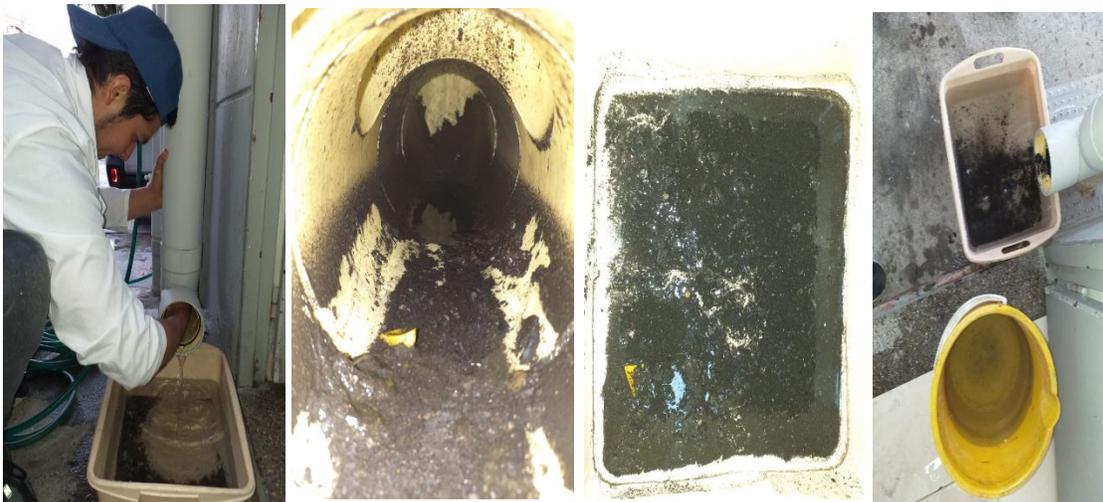
#### **4.3.3. Proceso de retrolavado del sistema de filtración.**

Este sistema está pensado para un retrolavado del material retenido entre las partículas de cada lecho filtrante, en este caso el de la arena, antracita y grava. Este medio filtrante al ser de forma angular y la función de cada capa del filtro es que retenga el material que pasa entre sus partículas. Se debe realizar un lavado para desterrar cada partícula de material que se obstruya entre los granos. Inicialmente este diseño se realizó para que el mecanismo de conducción del flujo sea ascendente a diferencia de los filtros descendentes, solucionando el problema de colmatación que generalmente tienen los filtros de flujo de arriba hacia abajo. La colmatación se genera por la acumulación de material captado desde la cubierta y que genera volúmenes de diferentes tamaños formando floc, y haciendo que el filtro disminuya su velocidad de

filtración producida por el material que no ha sido arrastrado o extraído internamente del material granular y por tanto aumentando la carga superficial del filtro.

Con relación a lo anterior, el lavado para este sistema de filtración se realiza de manera descendente, es decir, se debe verter agua a través de la bajante lateral izquierda; esta tubería fue pensada para que con una manguera en la parte superior del área de captación se le dé salida a un flujo de agua para que por acción de la gravedad se filtre de manera inversa y así remover las partículas que fueron retenidas. Además, en la parte inferior del filtro como se observa en la Ilustración 17 se ha puesto un accesorio que funciona como un tapón de inspección en donde se puede hacer control en esta zona y quitarlo para realizar el correspondiente lavado en esta sección del prototipo. En la parte inferior del sistema de filtración funciona como un sedimentador, originando que las partículas más pesadas y que viajan a través del flujo ascendente se sedimenten en esta parte para que sea posible removerlos. A continuación, en la Ilustración 17 se observa el retrolavado hecho después de cuatro meses de haber sido construido e instalado el sistema en la bajante de aguas lluvias. Se prosiguió a retirar el tapón de inspección y se encontró el material observado.

Ilustración 17. Material encontrado en el sedimentador del sistema de filtración.



Fuente: Propia.

Se pudo comprobar a través del retrolavado que la zona inferior del sistema de filtración es diseñada para que trabaje como un sedimentador, asentando en este lugar los materiales encontrados en el área de captación y que se mezclan con el dióxido de carbono contenido en el agua lluvia. Ahora veamos el paso a seguir del lavado del

sistema de filtración y consiste en remover todo el sedimento encontrado como se muestra en la Ilustración 17.

Ilustración 18. Retrolavado.



Fuente: Propia.

En el periodo que se esté removiendo los sedimentos observados en el sedimentador del sistema de filtración se debe estar controlando el flujo descendente del retrolavado, en la Ilustración 18 se evidencia que sale agua en el orificio del tapón de inspección esto porque en ese instante se realizó el retro lavado simultáneamente.

#### 4.3.3.1 Recomendaciones que se deben hacer para el retrolavado del filtro.

- Para el lavado del sistema filtrante se debe verter un flujo de agua inversamente, de esta manera las partículas retenidas en el lecho se agrupan para una mejor remoción.
- Se debe controlar la velocidad del flujo del agua que cae por acción de la gravedad.
- En la construcción de cada lecho filtrante debe colocarse entre mallas para que los finos no se remuevan entre los orificios de los discos que soporta cada una de las capas de material.
- Se recomienda realizar un lavado mensual al sedimentador, retirando el tapón de inspección y remover el material sedimentado.
- Para el retrolavado del lecho filtrante se recomienda hacerlo cada 3 meses para evitar elevaciones en la carga superficial.
- Se debe limpiar el sedimentador con una esponja o una herramienta que permita remover todo el material encontrado.
- No se debe retirar el lecho filtrante para reemplazarlo por otro.

- Se recomienda para cuando la carga superficial aumente de nivel, se aumente la presión del flujo de agua para el retrolavado.

#### 4.4. Caracterización de las muestras tomadas para los tres sistemas de filtración.

Para las prácticas de ensayos de laboratorio realizadas a las muestras tomadas de agua lluvia antes de pasar el filtro y después de ser filtrada; se le determinaron los parámetros de color y turbiedad en los tres sistemas de filtración. Las primeras muestras tomadas se recogieron en el mes de mayo del año 2019 para el primer filtro, las cuales se hicieron tres pruebas piloto y la recolección de datos, y entre el mes de septiembre y octubre del mismo año se realizaron diez pruebas piloto para los tres sistemas de filtración con sus respectivas recolecciones de datos experimentales. Estas muestras se obtuvieron de precipitaciones que se presentaron en estos tres meses ya mencionados. En este apartado se muestran todas las pruebas realizadas a cada uno de los sistemas filtrantes; ilustradas con tablas comparativas.

Primeramente, para la caracterización del agua recogida, se usaron dos vasos de precipitado para tomar muestras de agua lluvia antes de pasar el filtro y luego cuando esta misma agua es filtrada. Posteriormente se hizo la misma actividad para los tres sistemas de filtración y se le determinaron parámetros de calidad del agua. En la Ilustración 19 se muestran los equipos que son el turbidímetro y el colorímetro para determinar los parámetros descritos.

Ilustración 19. Caracterización de color y turbiedad.



Fuente: Propia.

#### 4.4.1 Caracterización para el sistema de filtración número uno.

El filtro número uno fue construido en el mes de mayo del 2019 y en ese instante se le determinó los parámetros de color y turbiedad; para obtener los datos experimentales se hicieron pruebas en diferentes tiempos y se indicó como referencia la caracterización del agua lluvia en su estado normal, sin alterar la muestra obtenida por la lluvia, para de esta manera realizar una comparación de la variación que obtendrá el agua lluvia filtrada. En la Tabla 6 se muestran los resultados obtenidos para la turbiedad y color en el mes de septiembre de 2019 y se obtuvieron dos muestras, en esta comparación se evidencia que la variación del agua filtrada es significativa.

Tabla 6. Caracterización de turbiedad y color del mes de septiembre de 2019.

FILTRO 1 RESULTADOS DESPUÉS DE CUATRO MESES DE ESTAR INSTALDO			
Muestra de agua lluvia antes de pasar el filtro	PRUEBAS DE LABORATORIO	1	2
		Turbiedad	6 NTU
	Color	34Pt/Co	66Pt/Co
Muestra de agua lluvia despues de pasar el filtro	Turbiedad	1,95 NTU	2,17 NTU
	Color	6Pt/Co	29Pt/Co

Fuente: Propia.

Para el mes de octubre del año 2019 se realizaron diez muestras más para el sistema de filtración número uno, en donde se evidencia diferentes resultados de datos obtenidos para los parámetros de calidad de color y turbiedad. A continuación de en Tabla 7 se muestran los datos experimentales para el sistema de filtración número uno.

Tabla 7. Caracterización de turbiedad y color del mes de octubre de 2019.

PRIMER FILTRO										
ANTES DE PASAR DEL FILTRO										
Turbiedad	9,48NTU	5,02NTU	5,68NTU	8,02NTU	8,96NTU	8,84NTU	8,92NTU	8,59NTU	9,55NTU	9,42NTU
Color	84Pt/Co	102Pt/Co	99Pt/Co	80Pt/Co	71Pt/Co	81Pt/Co	77Pt/Co	55Pt/Co	55Pt/Co	55Pt/Co
DESPUES DE PASAR EL FILTRO										
Turbiedad	4,54 NTU	3,32 NTU	3,32 NTU	7,2 NTU	6,8 NTU	7,12 NTU	7,23 NTU	7,46NTU	7,16NTU	6,1NTU
Color	48Pt/Co	58Pt/Co	58Pt/Co	58Pt/Co	55Pt/Co	46Pt/Co	46Pt/Co	41Pt/Co	41Pt/Co	40Pt/Co

Fuente: Propia.

#### 4.4.2 Caracterización para muestras tomadas al filtro número dos.

Para la recolección de las muestras para el sistema de filtración número dos; se realizó el mismo procedimiento descrito del sistema de filtración número uno, para la realización y obtención del análisis de calidad del agua para color y turbiedad. En la Tabla 8 está un cuadro comparativo de la turbiedad y color removido después del agua ser filtrada.

Tabla 8. Caracterización de turbiedad y color del mes de octubre de 2019 para el filtro número 2.

FILTRO NÚMERO DOS										
ANTES DE PASAR DEL FILTRO										
Turbiedad	11,1 NTU	9,18NTU	9,34NTU	9,26NTU	8,6NTU	7,2NTU	8,9NTU	11,2NTU	8,71NTU	8.62 NTU
Color	103 Pt/Co	67 Pt/Co	90 Pt/Co	88 Pt/Co	68Pt/Co	90 Pt/Co	73Pt/Co	69 Pt/Co	71 Pt/Co	68 Pt/Co
DESPUES DE PASAR EL FILTRO										
Turbiedad	6,92NTU	8,18NTU	7,61NTU	6,3 NTU	7,2 NTU	6,3 NTU	7,4NTU	6,3 NTU	7,20 NTU	7.3 NTU
Color	64Pt/Co	60Pt/Co	61Pt/Co	66Pt/Co	61Pt/Co	66Pt/Co	63Pt/Co	64Pt/Co	66Pt/Co	59 Pt/Co

Fuente: Propia.

#### 4.4.3 Caracterización para muestras tomadas al filtro número tres.

Para el proceso de caracterizar las muestras obtenidas para antes, y después de que el agua de la lluvia es filtrada, se experimentaron los mismos diez datos para el análisis de color y turbiedad. A continuación, en la Tabla 9 se muestra los resultados que fueron realizados en diferentes tiempos del mes de octubre de 2019 durante precipitaciones manifestadas en ese mes.

Tabla 9. Caracterización de turbiedad y color del mes de octubre de 2019 para el filtro número 3.

FILTRO NÚMERO TRES										
ANTES DE PASAR DEL FILTRO										
Turbiedad	11NTU	13,6NTU	11,9NTU	11,6 NTU	11,8 NTU	11,09 NTU	9,57NTU	9,62NTU	9,50NTU	9,53NTU
Color	80 Pt/Co	98Pt/Co	83Pt/Co	92Pt/Co	83Pt/Co	84Pt/Co	94Pt/Co	77Pt/Co	50Pt/Co	52Pt/Co
DESPUES DE PASAR EL FILTRO										
Turbiedad	7,94NTU	9,12NTU	8,88NTU	9,00 NTU	9,00 NTU	9,14NTU	8,65NTU	7,63NTU	7,25NTU	7,1NTU
Color	73Pt/Co	79Pt/Co	80Pt/Co	59Pt/Co	74Pt/Co	65Pt/Co	69Pt/Co	70Pt/Co	48Pt/Co	48Pt/Co

Fuente: Propia.

## 5. ANÁLISIS Y RESULTADOS.

Para el análisis de los resultados obtenidos en los ensayos de color y turbiedad que se realizaron a los tres sistemas de filtración, se prosiguió a hacer un promedio a las muestras de agua lluvia que pasan por el sistema de filtración y de la misma manera para las muestras que se obtuvieron y que no pasan por el filtro. Por otra parte, también se va a representar por medio de diagramas de barras el porcentaje de turbiedad y color que contienen las muestras obtenidas y la disminución o variación de la misma cuando el agua de la lluvia es filtrada.

En la Tabla 10 se evidencia los promedios realizados a la caracterización de color y turbiedad obtenidas de la Tabla 6. Caracterización de turbiedad y color del mes de septiembre de 2019.

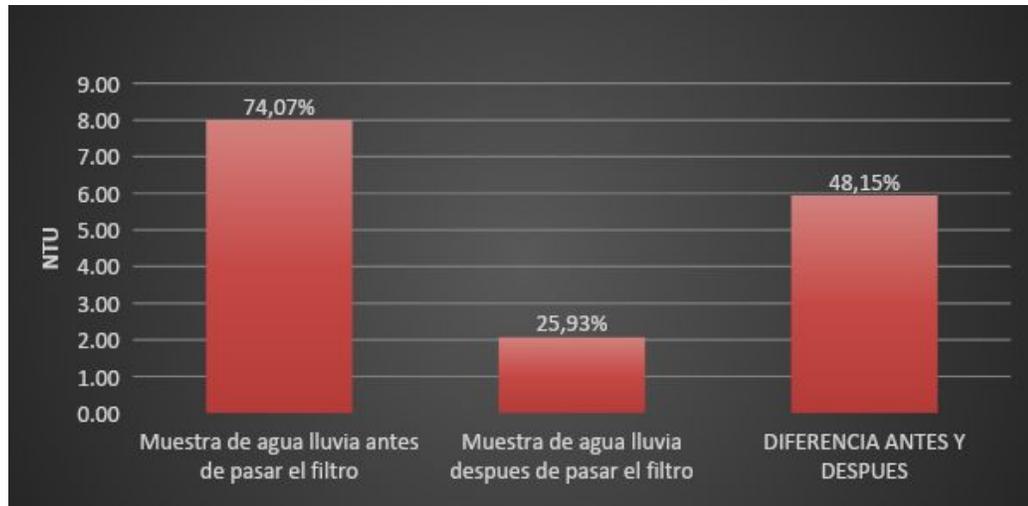
Tabla 10. Promedio antes y después de ser filtrada el agua.

<b>PROMEDIO DE FILTRO 1, CUATRO MESES DESPUÉS DE SER INSTALADO</b>		
<b>MUESTRAS DE AGUA</b>	<b>TURBIEDAD (NTU)</b>	<b>COLOR (Pt/Co)</b>
Muestra de agua lluvia antes de pasar el filtro	8,00	50,00
Muestra de agua lluvia después de pasar el filtro	2,06	17,50
<b>DIFERENCIA ANTES Y DESPUÉS</b>	<b>5,94</b>	<b>32,50</b>

Fuente: Elaboración Propia.

En la Gráfica 6 se muestra por medio del diagramas de barras que para la muestra que se encuentra contenida antes de pasar el filtro del sistema de filtración hay un 74,07% de turbiedad en esa agua lluvia, luego se observa que después de ser filtrada esa agua lluvia hubo un porcentaje de turbiedad del 25,93%, es decir que en ese momento de los datos obtenidos de la caracterización de la Tabla 6 hubo remoción del 48,15% de la turbiedad. Este fue un buen dato en donde se comprueba que el sistema de filtración remueve partículas en suspensión del agua lluvia.

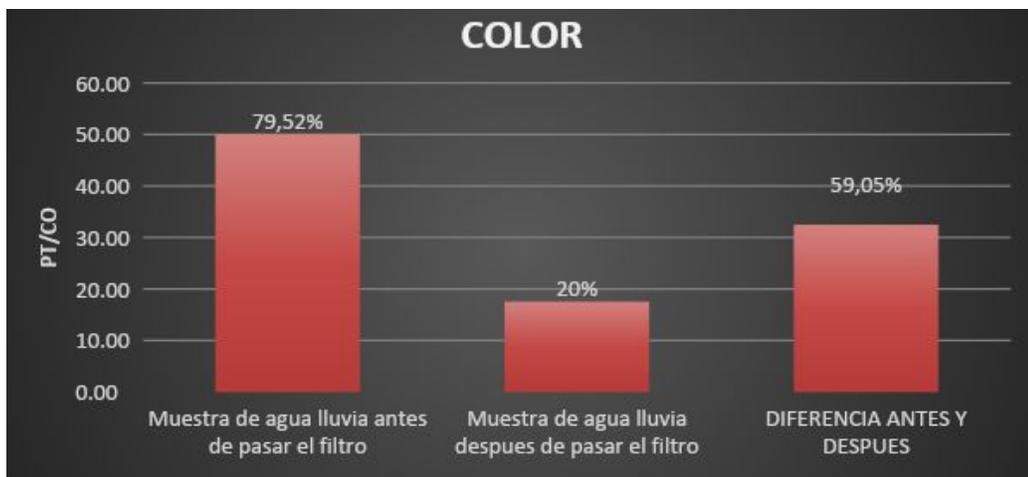
Gráfica 6. Análisis de Turbiedad filtro 1 cuatro meses después de ser instalado.



Fuente: Propia.

Para la Gráfica 7 y de los datos obtenidos en la Tabla 6 se observa un porcentaje de color del 79,52% en las muestras tomadas antes de pasar el filtro, y luego de que es filtrada se encontró un 20% de color en la muestra, es decir, hubo una mejora en el color removiendo el 59,05% del color de la muestra inicial.

Gráfica 7. Análisis de Color, filtro 1 cuatro meses después de ser instalado.



Fuente: Propia.

Posteriormente se mostrará en la Tabla 11 los promedios realizados para las muestras de color y turbiedad de antes de pasar el filtro y después de ser filtrada; mostradas de la caracterización de la Tabla 7.

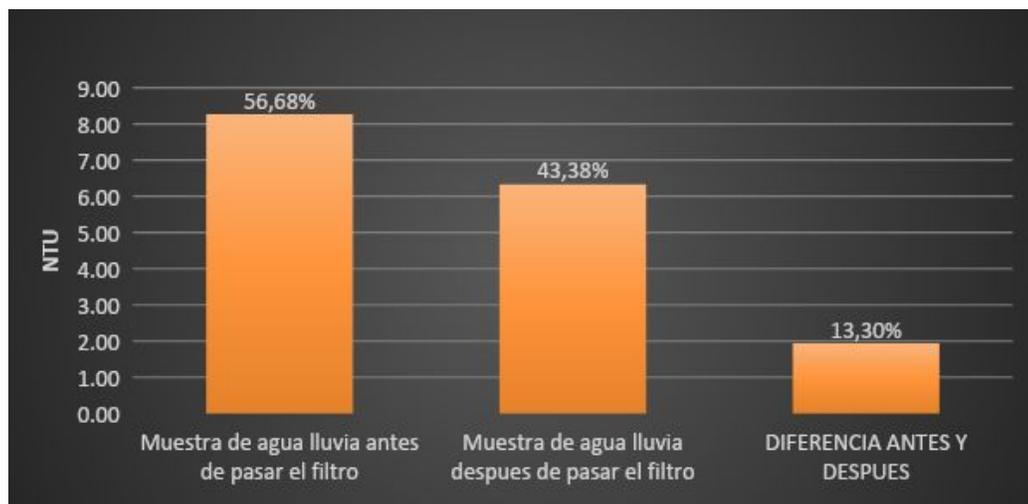
Tabla 11. Resultados de 10 pruebas realizadas al filtro 1.

<b>PROMEDIO DE TURBIEDAD Y COLOR PARA EL FILTRO 1</b>		
MUESTRAS DE AGUA	TURBIEDAD (NTU)	COLOR (Pt/Co)
Muestra de agua lluvia antes de pasar el filtro	8,27	75,90
Muestra de agua lluvia después de pasar el filtro	6,33	49,10
<b>DIFERENCIA ANTES Y DESPUÉS</b>	<b>1,94</b>	<b>26,80</b>

Fuente: Propia.

En la Gráfica 8 se observa una turbiedad inicial de 56,68% de turbiedad de las muestras obtenidas antes de pasar el filtro y luego al filtrarse el agua de la lluvia se observa un 43,38% de turbiedad, es decir que para los datos de la Tabla 7 se encontró para el primer sistema de filtración hubo una remoción del 13,30% de la turbiedad.

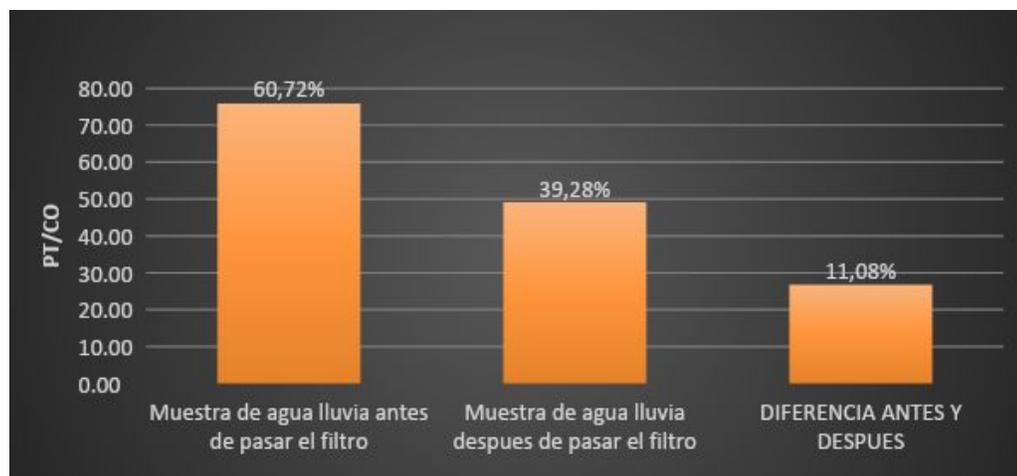
Gráfica 8. Análisis de Turbiedad filtro 1 diez pruebas realizadas en el mes de octubre.



Fuente: Propia.

Par la Gráfica 9 se muestra un porcentaje del 60,72% de color en las muestras de agua lluvia que se encontraron antes de pasar el filtro, luego de que esta agua lluvia se filtró se evidencia un 39,28% de color, es decir que hubo un 11,08% de remoción del color con respecto a la muestra inicial.

Gráfica 9. Análisis de Color filtro 1 diez pruebas realizadas en el mes de octubre.



Fuente: Propia.

En la Tabla 12 se muestra el promedio de las 10 muestras experimentales recolectadas, la cual se determinó el color y la turbiedad en la caracterización de la Tabla 8.

Tabla 12. Resultados de 10 pruebas realizadas al filtro 2.

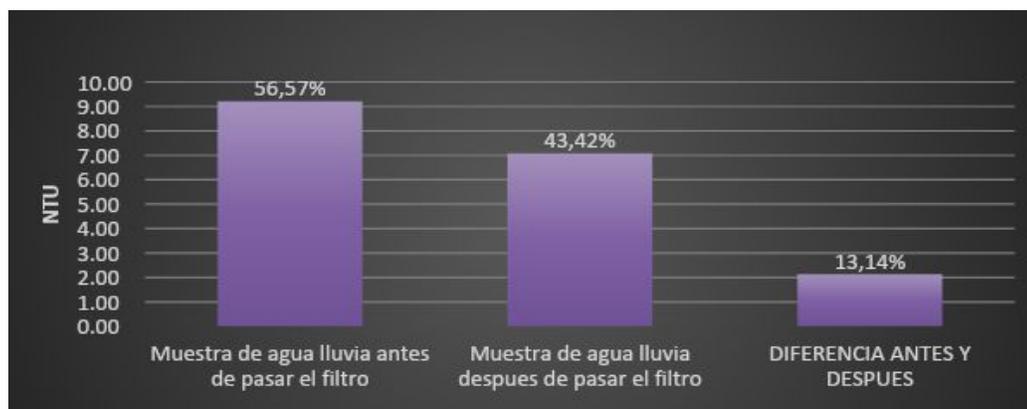
<b>PROMEDIO DE TURBIEDAD Y COLOR PARA EL FILTRO 2</b>		
<b>MUESTRAS DE AGUA</b>	<b>TURBIEDAD (NTU)</b>	<b>COLOR (Pt/Co)</b>
Muestra de agua lluvia antes de pasar el filtro	9,21	78,70
Muestra de agua lluvia después de pasar el filtro	7,07	63,00
<b>DIFERENCIA ANTES Y DESPUÉS</b>	<b>2,14</b>	<b>15,70</b>

Fuente: Propia.

En la Gráfica 10 se ilustra por medio de un diagrama de barra los porcentajes de turbiedad para el sistema de filtración dos, en donde hay un 56,57% de turbiedad en el

agua lluvia antes de pasar el filtro y después de ser filtrada se evidencia un 43,42% de turbiedad, lo que significa que el sistema de filtración número dos obtuvo un 13,14% de remoción de la turbiedad.

Gráfica 10. Análisis de Turbiedad filtro 2 diez pruebas realizadas en el mes de octubre.



Fuente: Propia.

Para el análisis encontrado en el color removido, se puede observar la Gráfica 11. Donde el 55,54% es el porcentaje de turbiedad que contiene el agua antes de ser filtrada, luego de haber sido filtrada el porcentaje del color disminuyó al 44,46% y, por consiguiente, se obtuvo un 11,08% de remoción del color total de las muestras experimentales tomadas.

Gráfica 11. Análisis de Color filtro 2 diez pruebas realizadas en el mes de octubre.



Fuente: Propia.

Por último, se realiza el mismo procedimiento que se ha venido llevando a cabo a los dos sistemas de filtración anteriores, en la Tabla 13 se muestra los promedios de las 10 muestras experimentales de la Tabla 9.

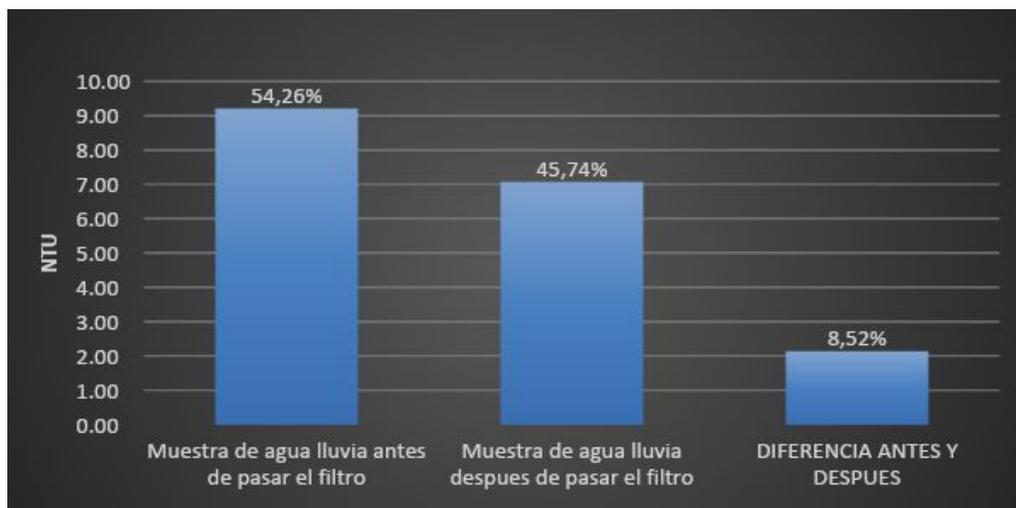
Tabla 13. Resultados de 10 pruebas realizadas al filtro 3.

<b>PROMEDIO DE TURBIEDAD Y COLOR PARA EL FILTRO 3</b>		
<b>MUESTRAS DE AGUA</b>	<b>TURBIEDAD (NTU)</b>	<b>COLOR (Pt/Co)</b>
Muestra de agua lluvia antes de pasar el filtro	9,93	79,30
Muestra de agua lluvia después de pasar el filtro	8,37	66,50
<b>DIFERENCIA ANTES Y DESPUÉS</b>	<b>1,56</b>	<b>12,80</b>

Fuente: Propia.

La turbiedad del agua inicial antes de pasar el sistema de filtración número tres tiene una concentración del 54,26% de turbiedad y luego fue filtrada y se removió el 8.52% de esa remoción inicial para obtener un 45,74% de remoción de la turbiedad cuando esta ya es filtrada. Tal cual como se muestra en la Gráfica 12.

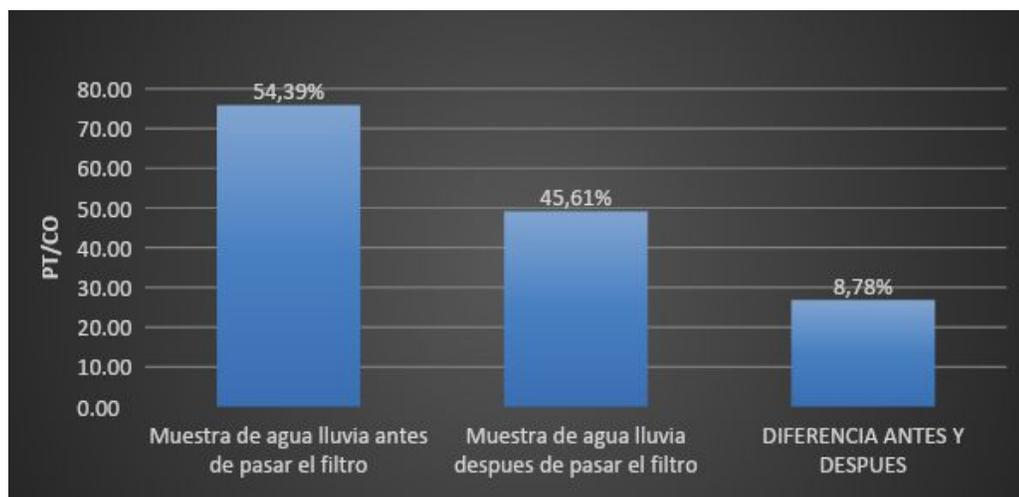
Gráfica 12. Análisis de Turbiedad filtro 3 diez pruebas realizadas en el mes de octubre.



Fuente: Propia.

Para los resultados del color a través del diseño de experimentos se observa que el 54,39% del agua lluvia contiene color para luego conocer que al ser filtrada removi6 un 8,78% de esa agua lluvia filtrada tal como se muestra en la Gr6fica 13.

Gr6fica 13. An6lisis de Color filtro 3 diez pruebas realizadas en el mes de octubre.



Fuente: Propia.

## 6. CONCLUSIONES.

El resultado del sistema de filtración seleccionado y que fue instalado en las instalaciones de la Universidad Católica de Colombia, después de la experimentación fue positiva, los parámetros de calidad de turbiedad y color obtenidos demuestran la importancia del proceso de filtración y su contribución al tratamiento para la calidad del agua. Las configuraciones de materiales del primer sistema de filtración, en donde está contenida la arena del río del Guamo, antracita y grava, demostró su eficiencia al ser la que mejor resultados arrojó en cuanto a la remoción de turbiedad del 48.15% y color del 59,05%.

Según los resultados obtenidos por parte del sistema filtración número tres en donde la arena que se encuentra contenida en el lecho filtrante, es arena amarilla de peña, en la que se pudo concluir que, para este tipo de sistemas de filtración de flujo ascensional, los materiales muy finos se van a suspender en el agua ocasionando que el agua se mantenga con un mayor porcentaje de turbiedad y color. Es por esta razón fue el sistema de filtración que menos removió turbiedad. Ya que su remoción fue de 8.52% y color de 8.78%.

En relación con lo anterior se decidieron realizar pruebas con distintas configuraciones y diferentes espesores de materiales que conforman cada lecho filtrante. Las arenas fueron tomadas de diferentes ríos, y se obtuvo que los tres sistemas de filtración propuestos funcionan. El primer sistema de filtración; en cuanto a los resultados obtenidos en esta investigación, se determinó que es el que mejor remueve los parámetros de turbiedad y color; con un porcentaje de remoción en cuanto a la turbiedad de 13,30% y de color de 11,08%, mejorando así de manera eficiente las propiedades del agua lluvia.

Utilizar estos materiales granulares en procesos de filtración de agua lluvia como alternativa para filtros convencionales es beneficioso siempre y cuando se conformen lechos filtrantes con espesores de capas sugeridos y estudiados por medio de la caracterización de los materiales teniendo en cuenta el coeficiente de uniformidad. Ya que se obtendrá mayor remoción de la turbiedad y el color gracias a la uniformidad o reordenamiento de las partículas del material que conforma al lecho filtrante.

Se comprobó en este trabajo investigativo, que la construcción del sistema de filtración para bajantes de agua lluvia de flujo ascendente es de gran importancia, debido a que si fuera un sistema de flujo descendente el material que desciende de las cubiertas con el flujo del agua por la acción de la gravedad colmataría el área superficial del filtro, generando una mala eficiencia en su remoción de color y turbiedad.

Mediante los experimentos realizados en la sección inferior del sistema de filtración que se encuentra antes de ser filtrada el agua de lluvia, se comprobó que, en esta sección, el sistema funciona como un sedimentador, haciendo que en este tramo del sistema de filtración todo el material arrastrado y formado por el dióxido de carbono contenido en el agua lluvia y la suciedad proveniente del área de captación de las cubiertas, se retenga generando que el sistema de filtración sea eficiente.

## **7. RECOMENDACIONES.**

- Para mejores resultados en los parámetros de la calidad del agua por parte del color y turbiedad, se puede aumentar los espesores en cada uno de los lechos filtrantes de la arena y la antracita, se recomienda no exceder los 5 centímetros de espesor de la grava.
- En el caso de la arena del guamo cabe resaltar que al proporcionar el material con una granulometría para la obtención de un coeficiente de uniformidad menor a 2, aumentaría la eficiencia considerablemente.
- Tamizar los materiales que contiene los lechos filtrantes puede impedir comportamientos perjudiciales como la colmatación por vacíos de diferentes tamaños de los granos que conforman al medio filtrante.
- Como mejoramiento se recomienda la instalación esponja de sabra para que los materiales finos se pasen por las mallas y orificios perforados en los discos que sostiene los lechos.
- Se recomienda simular proceso de filtrado al sistema para que vaya lavando el material del lecho filtrante, de esta manera se garantizará que el agua filtrada al inicio no se encuentre con turbiedad del propio material del lecho filtrante.
- Se recomienda que antes de instalar el sistema de filtración se haga el mantenimiento y limpieza del área de captación y canaletas.

## BIBLIOGRAFÍA.

- Academies, N. (2007). Safe Drinking Water Is Essential. *Reports from the National Academies*.
- Ballén, J. a S., & Galarza, Miguel A G, Ortiz, R. O. M. (2006). Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia. *VI SEREA-Seminário Iberoamericano Sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de Agua João Pessoa (Brasil)*, 5, 12.
- Bibliotecas, D. N. de, Gómez Mosquera, W., Gómez Mosquera, W., & Gómez Mosquera, W. (2017). *ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN COMUNIDADES RURALES EN EL CHOCÓ BIOGEOGRÁFICO APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES*.
- Braga, B., President, Council, W. W., 05, PREFACE, WATER, F. T. F. O., & B. (2014). *WATER, THE KEY FOR GLOBAL DEVELOPMENT*.
- Burta, F. S. (2018). *EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA LECHOS FILTRANTES EN PROCESOS DE POTABILIZACIÓN DE AGUA*. (1), 430–439.
- Córdoba Parada, J. D., Acosta Alarcón, R., Pacheco, J. F., & Ramírez, C. (2016). Recopilación de experiencias en la potabilización del agua por medio del uso de filtros. *Inventum*, 11(20), 53–60.  
<https://doi.org/10.26620/uniminuto.inventum.11.20.2016.53-60>
- Du, X., Xu, J., Mo, Z., Luo, Y., Su, J., Nie, J., ... Liang, H. (2019). The performance of gravity-driven membrane (GDM) filtration for roofing rainwater reuse: Implications of roofing rainwater energy and rainwater purification. *Science of The Total Environment*, 697, 134187. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134187>
- Ekoideas. (2019). Filtro de bajante ECO 50, para bajantes redondos.
- Escolar, C. (2016). Guía Técnica de aprovechamiento de aguas pluviales en edificios. *Escolar, C. (2016). Guía Técnica*. <https://doi.org/10.1126/science.1076535>
- Estupiñán, J., & Zapata, H. (2010). Requerimientos de Infraestructura para el Aprovechamiento Sostenible del Agua Lluvia en el Campus de la Pontificia Universidad Javeriana, sede Bogotá. In *Pontificia Universidad Javeriana*.
- Gallis Fuentes, C. S. (2007). *Estudio Comparativo entre un Lecho Filtrante de Alta Tasa, Monocapa, Lavado con Aire-Agua y un Lecho Convencional, Bicapa, Autolavado con Agua*.
- Gestión Ambiente, R. (2010). *Rainwater system proposal as an alternative to save drinking water* (Vol. 13).
- Huguet, J. L. (2016). *GUÍA TÉCNICA de APROVECHAMIENTO de AGUAS PLUVIALES en EDIFICIOS*.
- José, ", & Cañas, S. (2011). *UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA*. Retrieved from <http://geotech.uta.edu/lab/Main//sieve/index.htm>,

- Leal Ascencio, M. (2005). Tecnologías convencionales de tratamiento de agua y sus limitaciones. *Solar Safe Water*, 63–72. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Tecnolog?as+convencionales+de+tratamiento+de+agua+y+sus+limitaciones#0>
- Luis, I., Sánchez, D., Latorre, I. J., & Galvis, I. G. (1996). *COMPORTAMIENTO DE LA POBLACIÓN DE ALGAS Y PROTOZOOS DESPUÉS DE LA LIMPIEZA DE LA BIOMEMBRANA EN UN FILTRO LENTO EN ARENA*.
- María C Rubio John Jairo, R. H. (2014). *DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DE RECOLECCIÓN Y APROVECHAMIENTO DE AGUAS LLUVIAS*.
- Montero Durán, J. S., & Civil, I. (2017). Estado del arte de los sistemas de captación y aprovechamiento de aguas lluvias como alternativa en el ahorro de agua potable en viviendas. In *instname:Universidad Santo Tomás*. Retrieved from <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2418/Monterojuan2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Mosquera, W. G. (2017). *Abastecimiento de agua potable en comunidades rurales del Chocó*. 188.
- Ochoa, E. P. (2005). *Diseño de un tren de potabilización para una planta generadora de agua embotellada*.
- OMS. (2017). 2100 Millones De Personas Carecen De Agua Potable En El Hogar Y Más Del Doble No Disponen De Saneamiento Seguro. *Who*. Retrieved from <https://www.who.int/es/news-room/detail/12-07-2017-2-1-billion-people-lack-safe-drinking-water-at-home-more-than-twice-as-many-lack-safe-sanitation>
- Pacheco, M. (2008). Avances en la Gestión Integral del Agua Lluvia (GIALL): Contribuciones al consumo sostenible del agua, el caso de “lluviatl” en México. *Revista Internacional de Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo*, 3(Administración del Agua), 19.
- Palacio, N. (2010). Rainwater system proposal as an alternative to save drinking water in the educational institution María Auxiliadora from Caldas , Antioquia. *Gestión y Ambiente*, (2), 25–40.
- Reyes, M. C., & Rubio, J. J. (2014). Descripción De Los Sistemas De Recolección Y Aprovechamiento De Aguas Lluvias. 2014, 53. Retrieved from <http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2089/1/Recoleccion-aguas.pdf>
- Salud, O. P. de la, & Nariño, C. I. D. de S. de. (2010). *Tecnologías apropiadas para el suministro de agua en situaciones de emergencia TT - Appropriate technology for the water supply in emergency situations* (p. 68). p. 68. Retrieved from [http://new.paho.org/col/index.php?option=com\\_docman&task=doc\\_download&gid=1076&Itemid=](http://new.paho.org/col/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=1076&Itemid=)
- Sánchez Martínez, D. V. (2017). Calidad del agua. *Boletín Científico de La Escuela Superior Atotonilco de Tula*, 4(7). <https://doi.org/10.29057/esat.v4i7.2202>
- SASTOQUE, A. H. C. (2014). *DISEÑO DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE AGUAS LLUVIAS COMO ALTERNATIVA DE AHORRO*

*DE AGUA POTABLE EN LA UNIVERSIDAD LIBRE DE COLOMBIA, SEDE BOSQUE POPULAR, BLOQUE P Y CAFETERÍA.*

- Shaheed, R., Wan Mohtar, W. H. M., & El-Shafie, A. (2017). Ensuring water security by utilizing roof-harvested rainwater and lake water treated with a low-cost integrated adsorption-filtration system. *Water Science and Engineering*, 10(2), 115–124. <https://doi.org/10.1016/j.wse.2017.05.002>
- Suárez, A., Mesa, P., Bravo, V., & Prieto, A. (2015). Evaluación de un sistema de filtros de cascarilla de arroz y luffa cylindrica para el tratamiento de aguas lluvias. *Revista Mutis*, 5(1), 21–27. <https://doi.org/10.21789/22561498.1015>
- Susana Blázquez. (2015). “El problema no es la falta de agua, sino su mala gestión” | Planeta Futuro | EL PAÍS. Retrieved November 13, 2019, from [https://elpais.com/elpais/2015/03/20/planeta\\_futuro/1426855527\\_122774.html](https://elpais.com/elpais/2015/03/20/planeta_futuro/1426855527_122774.html)
- Zhao, Y., Wang, X., Liu, C., Wang, S., Wang, X., Hou, H., Li, H. (2019). Purification of harvested rainwater using slow sand filters with low-cost materials: Bacterial community structure and purifying effect. *Science of the Total Environment*, 674, 344–354. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.474>

## ANEXOS.

ANEXO 1. Guía para el análisis de color y turbiedad.

**FACULTAD / PROGRAMA:** Ingeniería / Ingeniería Civil

<b>ASIGNATURA:</b> Plantas de Tratamiento	<b>NOMBRE DE LA PRÁCTICA:</b> Color	<b>PRACTICA</b> <b>No : 3</b>	<b>VERSIÓN</b> : <b>1</b>
	<b>JORNADA:</b> Nocturna y diurna		

### INTRODUCCIÓN:

Se dice que el agua (ideal) es incolora. Sin embargo, el color del agua real es un tema muy complejo en el que influyen, entre otros factores, lo que contenga el agua y lo que la rodee.

### ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN:

Capacidad de comprender en forma eficaz en diferentes contextos de la ingeniería civil a través de diferentes mecanismos.

Capacidad para la investigación.

Capacidad de aplicar las ciencias básicas en el contexto de la ingeniería civil.

Capacidad analítica en el contexto de la ingeniería civil

### OBJETIVO(S) ESPECÍFICO(S):

- Identificar y definir el concepto de Color en muestras de agua como su influencia en el tratamiento.
- Realizar varios ensayos con diferentes muestras para adquirir destreza en el análisis y forma de caracterización de muestras.
- Con base en los datos experimentales obtenidos compararlos con los estándares definidos por el RAS/2000 o con las normas aplicables Decretos; 0475/98, Resolución 2115 del 2007 Agua potable y 1594/84 Aguas residuales.

## MARCO TEÓRICO:

Desde que somos pequeños o pequeñas nos enseñan que el agua es incolora, transparente... Pero cuando contemplamos un lago o paseamos por la orilla de un río, vemos masas de agua con diferentes coloraciones. A veces, es verdosa, otras azulada, muchas azul fuerte, en ocasiones amarillenta, también podemos encontrarla de color negro o de un marrón sospechoso... Según esté el cielo, según la hora del día, según la cantidad de suciedad que lleva disuelta, según esté limpio o sucio el fondo del río o del pantano... el agua adquiere unas tonalidades u otras.

El color en el agua, puede estar asociados a sustancias en solución (**Color verdadero**) o sustancias en suspensión (**Color aparente**). El primero es el que se obtiene a partir de mediciones realizadas sobre muestras filtradas por membranas de 0,45  $\mu\text{m}$ , mientras que el segundo proviene de las mediciones directas sobre muestras sin filtrar.

Son causantes de color en cuerpos de agua naturales o no-afectados, el material vegetal en descomposición, tipo ligninas, taninos, ácidos húmicos, fúlvicos, algas, etc. Y algunos minerales disueltos de hierro y manganeso. En vertimientos industriales o cuerpos de agua afectados o contaminados por éstos, el color se asocia necesariamente al tipo particular de actividad asociada al vertimiento. El color predominante en el primer caso, varía desde una tonalidad amarilla hasta una tonalidad café, en el segundo caso el color puede ser variable, dependiendo de la actividad asociada del vertimiento.

Teniendo en cuenta que en las aguas naturales los colores predominantes varían desde diferentes tonalidades amarillas hasta colores pardos o café claro y al mismo hecho que de estas tonalidades pueden ser simuladas con bastante aproximación por soluciones de cloroplatino de potasio a diferentes concentraciones, se ha adoptado esta referencia para expresar la magnitud de color en muestras de aguas naturales.

**La unidad de color adoptada internacionalmente como referencia, es la equivalente a una solución de cloroplatino de sodio que contenga 1.0 mg de platino por litro se solución.** La escala, para medición directa, se extiende desde 1 hasta aproximadamente 500 mg/L de Pt. Esta forma de expresar color, se conoce más genéricamente como "**Escala Hazen**" y se expresa en términos de **unidades de Pt/Co**, debido a que las soluciones de platino, generalmente se les adiciona una pequeña cantidad de cloruro de cobalto, con el objetivo de intensificar el color y el brillo de las soluciones de cloroplatino.

Con el propósito de obviar el uso de soluciones en la determinación de color, se han diseñado equipos en los que se compara el color de las muestras, ya no frente a la coloración de soluciones de Pt/Co, si no a discos coloreados cuyos colores se corresponden con la escala Hazen. Las mediciones se pueden realizar por colorimetría visual o por fotometría, utilizando un fotómetro capaz de medir entre 575 y 585 nm, y un conjunto de soluciones patrón de Pt/Co.

La experiencia ha demostrado que no es adecuado hacer diluciones para expresar el color de las muestras altamente coloreadas, debido a que el color de la muestra diluida no es

directamente proporcional al grado de dilución. En estos casos es preferible expresar el resultado como... “mayor a 500 unidades Hazen o de Pt/Co...”.

## RECURSOS UTILIZADOS:

### Equipos y herramientas

Equipo espectrofotómetro Hach y celdas de medición



### Vidriería

Celdas cuadradas de medición de color (4)

Becker en vidrio de 100 mL

Frasco Lavador con Agua des ionizada

Frasco para residuos y/o limpieza

Tipos de muestras a analizar

Agua potable

Agua lluvia

Agua residual

## PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL :

a. *Panel de comparación*

(Observe el gráfico anexo)

Llene un tubo Nessler hasta la marca de 50 ml, con la muestra y compárelo con los estándares. Manipular los tubos por la parte superior.

Mire verticalmente hacia abajo ayudado con una superficie blanca colocada perpendicularmente al tubo o con luz emitida en este mismo sentido.

Si la turbiedad de la muestra no ha sido removida por centrifugación el reporte se hace como color aparente.

Si el color es superior a 70 unidades diluya la muestra con agua destilada, en una proporción conocida, hasta que el color esté en el rango de los estándares.

### **Cálculo:**

Calcule las unidades de color con la siguiente ecuación:

$$\text{Unidades de color} = (A \times 50) / B$$

Donde **A**: Color estimado de la muestra diluida

**B**: ml de muestra tomada para la dilución.

### **Interferencias**

El método es dependiente del pH, al aumentarse este aumenta la coloración. Al reportar el color se debe reportar el pH en el momento de la determinación.

El valor reportado es el color verdadero. Los resultados deben ser dados en números enteros.

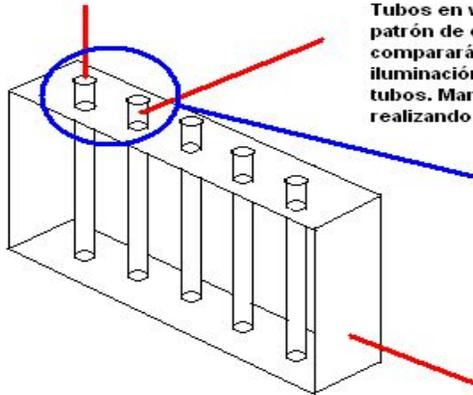
Se recomienda que para las aguas de uso doméstico no excedan de 20 unidades de color en la escala platino cobalto. Esta determinación es muy importante en agua de abastecimiento doméstico por razones de higiene y salud.

Aguas contaminadas con ciertos desechos industriales, pueden producir colores poco usuales, que no pueden ser igualados por las soluciones de comparación utilizadas en este método.

Para aguas industriales, la importancia es por razones económicas. Ya que existen gran cantidad de industrias en cuyos procesos requieren agua perfectamente limpia y clara, por lo que, las aguas con color necesitan un tratamiento especial para su eliminación.

### **GRÁFICO REPRESENTATIVO DEL PROCEDIMIENTO PARA MEDIR COLOR POR COMPARACIÓN**

Tubo a utilizar para verter la muestra a comparar, previamente filtrada.



Tubos en vidrio en los cuales se vierten las soluciones patrón de color previamente diluidas y con las cuales se comparará la muestra a analizar frente al panel de iluminación. Recuerde observar verticalmente los tubos. Mantenga tapados los patrones si no está realizando algún análisis.



El analizador se ubicará frente al panel y con los tubos de tal manera que pueda observar verticalmente los dos tubos con las soluciones a comparar y así poder clasificarla

Dispositivo Comparador de color

En tubos Nessler prepare soluciones patrón de color de 5 a 70 unidades de color con ayuda de la siguiente tabla. Proteja las soluciones contra la evaporación y de los vapores de amoníaco, pues su absorción aumenta el color

ml de solución de 500 unidades diluida a 50 ml con agua destilada	Color en unidades de platino-cobalto
0.5	5
1.0	10
1.5	15
2.0	20
2.5	25
3.0	30
3.5	35
4.0	40
4.5	45
5.0	50
5.5	55
6.0	60
6.5	65
7.0	70

b. *Determinación de color con espectrofotómetro DR2800*



1. Prenda el equipo oprimiendo el botón que se encuentra en la parte posterior del mismo, si requiere ser recargado esta indicación aparecerá en la pantalla “carga de batería baja”. Proceda a conectar el cargador al equipo y luego a la fuente de voltaje.
2. Recuerde que el equipo para realizar el backup inicial correctamente, deberá tener el dispositivo interno protector del espacio para celda de medición.
3. Observe la pantalla en el aparecerá la opción programas almacenados, elija esta opción; allí aparecerá el menú de análisis posibles de realizar, con las flechas cursor desplácese de arriba hacia abajo o viceversa hasta ubicar el análisis requerido, en este caso determinación de color método 120.
4. Aparecerá la pantalla acorde al método (Unidades de medida, Zero, medición, etc.) para determinar color, con varias opciones; elija inicio, esta orden cargará el método y ajustará el equipo para comenzar los análisis.
5. El equipo cuenta con un estuche con dos celdas de vidrio especial para las determinaciones, enjuáguese y/o límpielas para realizar los análisis, recuerde que cada vez que mida deberá limpiar muy bien la celda, utilice agua de ionizada.
6. Llene una celda con agua de ionizada hasta la marca de 10 mL, absorba la humedad con las toallas de mano y limpie la celda con el paño apropiado. Retirado el protector, introduzca la celda en el espacio de lectura con la marca hacia el frente, tape la totalidad del medidor con la tapa corrediza que posee el equipo. **Recuerde que no se debe introducir la celda húmeda al equipo, esto podría dañar el mismo.**
7. Obture en la pantalla la opción Cero, esta acción ajustará el equipo al punto de partida (0.00) o de comparación libre de impurezas para el caso de color.
8. Realice la misma mecánica para la muestra a analizar. Agite levemente la muestra y según sea el color a obtener (real o aparente), proceda a filtrar o no la muestra y luego a llenar la celda con la muestra hasta la marca señalada de 10 ml, absorba la humedad con las toallas de mano y limpie la celda con el paño apropiado.
7. Retirado el protector, introduzca la celda en el espacio de lectura, tape la totalidad del medidor con la tapa corrediza que posee el equipo y oprima la opción medición.
8. Anote los valores obtenidos y analice las muestras que posea.
9. Al terminar verifique que el equipo quede en perfecto estado, ubique y coloque el protector de la celda de medición, apáguelo y guárdelo en el maletín respectivo.

Fuente: Guía de laboratorios universidad católica de Colombia.

**FACULTAD / PROGRAMA:** Ingeniería / Ingeniería Civil

<b>ASIGNATURA:</b> Plantas de Tratamiento	<b>NOMBRE DE LA PRÁCTICA:</b> Turbiedad y color	<b>PRACTICA No : 2</b>	<b>VERSIÓN</b> : <b>1</b>
	<b>JORNADA:</b> Nocturna y diurna		

**INTRODUCCIÓN:**

La turbidez es una medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión.

**ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN:**

Capacidad de comprender en forma eficaz en diferentes contextos de la ingeniería civil a través de diferentes mecanismos.

Capacidad para la investigación.

Capacidad de aplicar las ciencias básicas en el contexto de la ingeniería civil.

Capacidad analítica en el contexto de la ingeniería civil

**OBJETIVO(S) ESPECÍFICO(S):**

- a. Identificar el concepto de Turbidez en muestras de agua como su influencia en el tratamiento.
- b. Realizar varios ensayos con diferentes muestras para adquirir destreza en el análisis y forma de caracterización de muestras.
- c. Con base en los datos experimentales obtenidos compararlos con los estándares definidos por el RAS/2000 o con las normas aplicables Decretos; 0475/98, Resolución 2115 del 2007 Agua potable y/o 1594/84 Aguas residuales.
- d. Medir el efecto óptico causado por la dispersión de la luz a través de una muestra de agua

## MARCO TEÓRICO:

La **turbidez** es una medida del grado en el cual el **agua** pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión; mide la claridad del **agua**. Mide de cuántos sólidos (arena, arcilla y otros materiales) hay en suspensión en el **agua**. Mientras más sucia parecerá que ésta, más alta será la **turbidez**.

La turbidez es una medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión. Cuantos más sólidos en suspensión haya en el agua, más sucia parecerá ésta y más alta será la turbidez. La turbidez es considerada una buena medida de la calidad del agua.

Hay varios parámetros que influyen en la turbidez del agua. Algunos de estos son:

- Fitoplancton
- Sedimentos procedentes de la erosión
- Sedimentos resuspendidos del fondo
- Descarga de efluentes
- Crecimiento de las algas
- Escorrentía urbana

La turbiedad en el agua es causada por materia suspendida, tales como arcillas, cieno, compuestos orgánicos coloreados solubles, plancton y otros organismos microscópicos.

La turbiedad es una expresión de la propiedad óptica que hace que la luz sea desviada y absorbida y no siga en línea recta a través de la muestra. La correlación de la turbiedad con la concentración en peso de la materia suspendida es difícil debido a que el tamaño, forma e índice refractivo de las partículas también afecta las propiedades de la luz desviada de la suspensión. Óptimamente las partículas negras, como carbón activado, pueden absorber luz y efectivamente incrementar la medida de la turbiedad.

### Turbidimeter Design

Nephelometers, or nephelometric turbidimeters, measure the light scattered at an angle of  $90^\circ$  from the incident light beam.

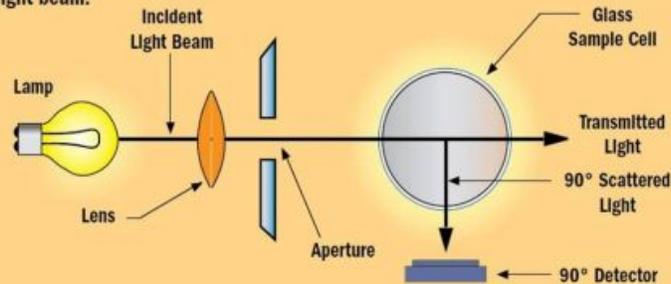


Figura 1. Diseño óptico de un turbidímetro o nefelómetro.

**Principio:** El método nefelométrico se basa en una comparación de la intensidad de la luz desviada por la muestra, bajo condiciones definidas, con la intensidad de la luz desviada por una suspensión Standard de referencia, bajo las mismas condiciones. Se usa un polímero de formalina como la suspensión Standard de referencia.

Interferencias:

Celda sucia.

Presencia de burbujas de aire

Vibración de la superficie en donde se encuentra el turbidímetro

No es muy significativa la desviación producida por las sustancias disueltas que absorben la luz y constituyen el color verdadero

### RECURSOS UTILIZADOS:

#### Equipos y herramientas

Equipo turbidímetro Hach y celdas de medición



### **Vidriería**

Celdas de medición de turbiedad (3)

Becker en vidrio de 100 mL

Frasco Lavador con Agua des ionizada

Frasco para residuos y/o limpieza

### **Tipos de muestras a analizar**

Agua potable

Agua lluvia

Agua residual

### **PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL:**

Conecte el turbidímetro y enciéndelo 10 minutos antes de la práctica, para que se ajuste el sistema de medición y calibración del equipo. El equipo reportará en la pantalla un valor cercano a 0.010 en la pantalla.

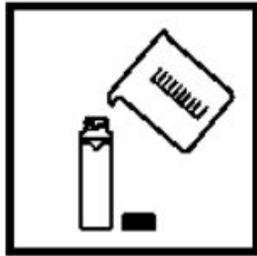
Si es la primera lectura que se va a tomar con el equipo, después del encendido, haga una verificación siguiendo las instrucciones del fabricante, con los estándares o patrones, para cada una de las escalas. Las celdas deben estar perfectamente limpias, esto debe hacerse para verificar que no existe una desviación considerable en las mediciones. De ser necesario proceda a calibrar el equipo según el manual del mismo utilizando los patrones respectivos.



Después de calibrado el equipo, coloque los patrones en el recipiente o estuche correspondiente.

Proceda a utilizar las celdas de medición para muestras, estas deben estar libres de impurezas, suciedad o cualquier otro elemento que aporte turbidez a la muestra, de ser necesario limpie y/o enjuague la celda las veces requeridas, recuerde que para cada determinación la celda deberá estar limpia, utilice agua de ionizada para los enjuagues.

Agite levemente la muestra original y llene la celda de medición con dicha muestra, tápela y limpie la celda, utilice inicialmente las toallas de mano de papel para absorber la humedad presente externamente, evite frotar las celdas con las toallas de papel puede rayar las mismas, límpielas finalmente con los paños de tela suave.



Introduzca la celda dentro del espacio del equipo para las mediciones ubicando la marcación de la celda en forma de triángulo blanco hacia el recodo de medición.

La pantalla presentará inicial y regularmente líneas punteadas (-----) antes de aparecer un valor de medición, anote o reporte el valor que aparezca seguido y más estable. Terminada la medición retire la celda y deseche la muestra. Repita este procedimiento las veces que requiera según las muestras a analizar.

Finalizada la práctica disponga las celdas de medición en el estuche o caja de almacenamiento previamente limpias, apague el equipo y fórralo con el protector respectivo

Tenga en cuenta las siguientes recomendaciones al momento de realizar las mediciones.

No manipule la celda cuando el equipo esté tomando la lectura de turbidez.

Agite vigorosamente la muestra previamente.

Vierta la muestra dentro de la celda que provee el equipo

Permita que las burbujas de aire desaparezcan

Introduzca la celda dentro de la porta celdas del equipo y cúbrala con la tapa respectiva del equipo.

### **Cálculo**

El turbidímetro proporciona la medida de turbiedad directamente. Sin embargo, si se realizó una dilución, calcule la turbiedad real de la muestra, así:

$$\text{Turbiedad (UTN)} = A \left[ \frac{B + C}{C} \right]$$

Donde:

A es la turbiedad de la muestra diluida (UNT)

B es el volumen de agua de dilución, exenta de turbidez, ml.

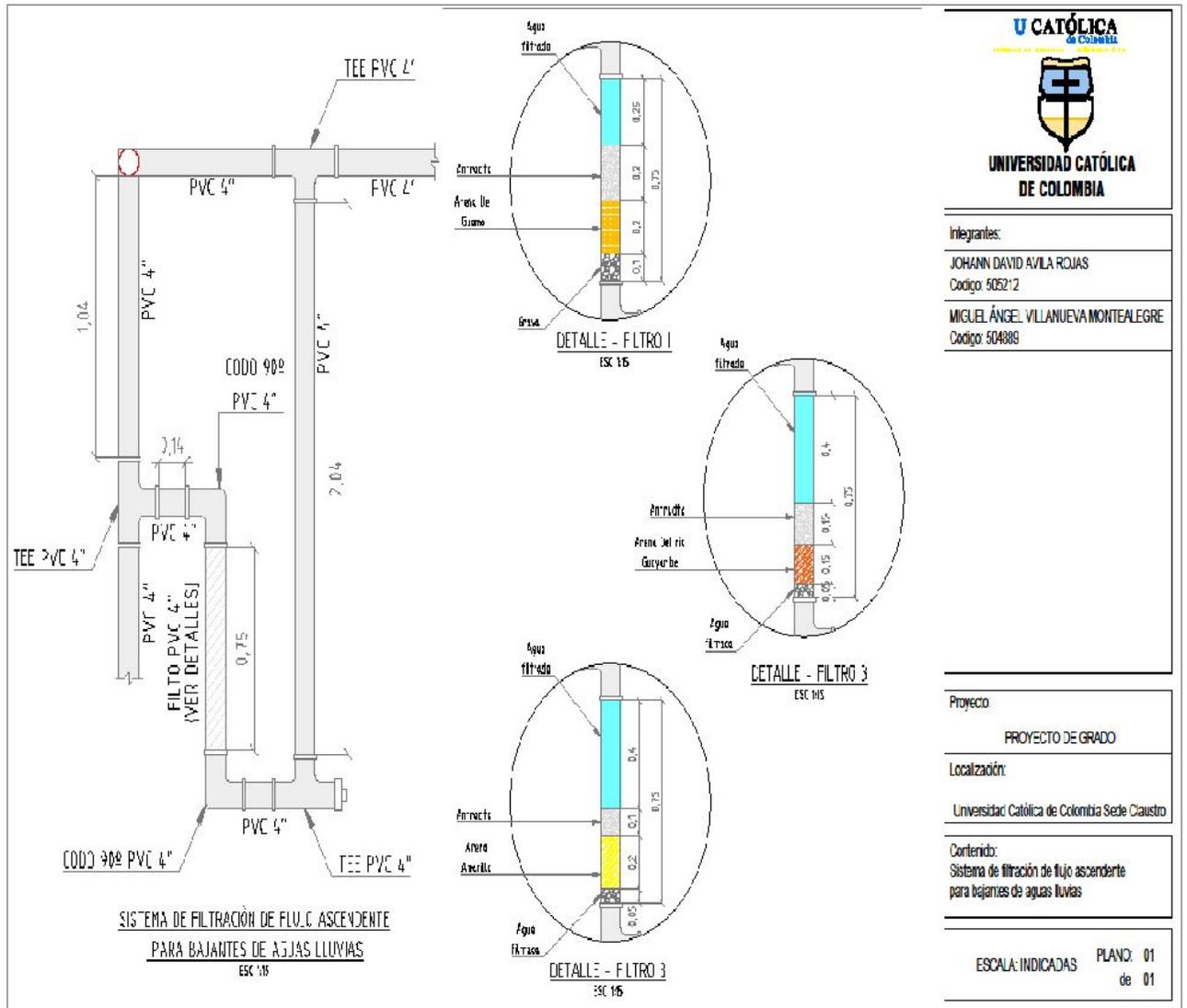
C es el volumen de muestra, ml

### **Ejemplo**

Se realizará una dilución 1:100 para determinar la turbiedad. Para esto se recoge 1 ml de la muestra que se analizará (**C**) y se agregan 99 ml de agua destilada (**B**). Si el turbidímetro reporta una turbiedad de 10 UNT(**A**), aplicando la fórmula anterior, la turbiedad real de la muestra es de 100 UNT.

Fuente: Guía de laboratorios universidad católica de Colombia.

## ANEXO 2. Plano de los sistemas de filtración



ANEXO 3. Análisis granulométrico.

Anexo 3.1. Granulometría de la grava.

<b>GRAVA</b>					
<b>TAMIZ</b>	<b>ABERTURA (mm)</b>	<b>PESO RETENIDO (g)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>%RETENIDO ACUMULADO</b>	<b>% QUE PASA</b>
1"	25.400	132.7	4.4	4.4	95.6
3/4"	19.100	499.8	16.6	21.1	78.9
1/2"	12.700	880.5	29.3	50.4	49.6
3/8"	9.520	1393.6	46.4	96.8	3.2
No.4	4.750	60.3	2.0	98.8	1.2
No.8	2.360	2.3	0.1	98.9	1.1
No.10	2.000	2.7	0.1	99.0	1.0
No 16	1.180	1.6	0.1	99.0	1.0
No.30	0.600	0.7	0.0	99.1	0.9
No.40	0.425	0.7	0.0	99.1	0.9
No.50	0.300	1.5	0.0	99.1	0.9
No.80	0.180	3.4	0.1	99.2	0.8
No.100	0.150	3.3	0.1	99.4	0.6
No.200	0.074	13.6	0.5	99.8	0.2
FOND O		5.7	0.2	100.0	0.0
<b>TOTAL</b>		<b>3002.4</b>	<b>100.0</b>		

Fuente: propia.

Anexo 3.2. Granulometría de la arena del río Guayaribe.

<b>ARENA DE RÍO GUAYARIBE</b>					
<b>TAMIZ</b>	<b>ABERTURA (mm)</b>	<b>PESO RETENIDO (g)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>%RETENIDO ACUMULADO</b>	<b>% QUE PASA</b>
1"	25.400	0	0.0	0.0	100.0
3/4"	19.100	0	0.0	0.0	100.0
1/2"	12.700	0	0.0	0.0	100.0
3/8"	9.520	4	0.4	0.4	99.6
No.4	4.750	194	19.0	19.4	80.6
No.8	2.360	172	16.9	36.3	63.7
No.10	2.000	36.9	3.6	39.9	60.1
No 16	1.180	133.4	13.1	53.0	47.0
No.30	0.600	304.9	29.9	82.9	17.1
No.40	0.425	116.8	11.5	94.4	5.6
No.50	0.300	33.9	3.3	97.7	2.3
No.80	0.180	18.7	1.8	99.6	0.4
No.100	0.150	1.7	0.2	99.7	0.3
No.200	0.074	2.8	0.3	100.0	0.0
FOND O		0	0.0	100.0	0
<b>TOTAL</b>		<b>1019.1</b>	<b>100.0</b>		

Fuente: propia.

Anexo 3.3. Granulometría de la arena del Guamo.

<b>ARENA DEL GUAMO</b>					
<b>TAMIZ</b>	<b>ABERTURA (mm)</b>	<b>PESO RETENIDO (g)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>%RETENIDO ACUMULADO</b>	<b>% QUE PASA</b>
1"	25.400	0	0.0	0.0	100.0
3/4"	19.100	0	0.0	0.0	100.0
1/2"	12.700	0	0.0	0.0	100.0
3/8"	9.520	4	0.5	0.5	99.5
No.4	4.750	98	12.1	12.6	87.4
No.8	2.360	5.905	0.7	13.3	86.7
No.10	2.000	1.1	0.1	13.4	86.6
No 16	1.180	143.7	17.7	31.1	68.9
No.30	0.600	262.7	32.3	63.5	36.5
No.40	0.425	156.3	19.2	82.7	17.3
No.50	0.300	85.6	10.5	93.2	6.8
No.80	0.180	43.4	5.3	98.6	1.4
No.100	0.150	4.5	0.6	99.1	0.9
No.200	0.074	6.9	0.8	100.0	0.0
FOND O		0.1	0.0	100.0	0.0
<b>TOTAL</b>		<b>812.205</b>	<b>100.0</b>		

Fuente: propia.

Anexo 3.4. Granulometría de arena amarilla.

<b>ARENA AMARILLA</b>					
<b>TAMIZ</b>	<b>ABERTURA (mm)</b>	<b>PESO RETENIDO (g)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>%RETENIDO ACUMULADO</b>	<b>% QUE PASA</b>
1"	25.400	0	0.0	0.0	100.0
3/4"	19.100	0	0.0	0.0	100.0
1/2"	12.700	0	0.0	0.0	100.0
3/8"	9.520	0	0.0	0.0	100.0
No.4	4.750	0	0.0	0.0	100.0
No.8	2.360	0	0.0	0.0	100.0
No.10	2.000	0	0.0	0.0	100.0
No 16	1.180	0	0.0	0.0	100.0
No.30	0.600	120.7	12.0	12.0	88.0
No.40	0.425	782.2	77.7	89.6	10.4
No.50	0.300	74.5	7.4	97.0	3.0
No.80	0.180	20.5	2.0	99.1	0.9
No.100	0.150	2.9	0.3	99.4	0.6
No.200	0.074	3.5	0.3	99.7	0.3
FOND O		2.9	0.3	100.0	0.0
<b>TOTAL</b>		<b>1007.2</b>	<b>100.0</b>		

Fuente: propia.

Anexo 3.5. Granulometría de la antracita.

<b>ANTRACITA</b>					
<b>TAMIZ</b>	<b>ABERTURA (mm)</b>	<b>PESO RETENIDO (g)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>%RETENIDO ACUMULADO</b>	<b>% QUE PASA</b>
1"	25.400	0	0.0	0.0	100.0
3/4"	19.100	0	0.0	0.0	100.0
1/2"	12.700	0	0.0	0.0	100.0
3/8"	9.520	0	0.0	0.0	100.0
No.4	4.750	0	0.0	0.0	100.0
No.8	2.360	383.9	37.4	37.4	62.6
No.10	2.000	135	13.2	50.6	49.4
No 16	1.180	341	33.2	83.8	16.2
No.30	0.600	138.6	13.5	97.3	2.7
No.40	0.425	10.1	1.0	98.3	1.7
No.50	0.300	13.2	1.3	99.6	0.4
No.80	0.180	3.2	0.3	99.9	0.1
No.100	0.150	0.2	0.0	99.9	0.1
No.200	0.074	0.7	0.1	100.0	0.0
FOND O		0.1	0.0	100.0	0.0
<b>TOTAL</b>		<b>1026</b>	<b>100.0</b>		

Fuente: propia.

## ANEXO 4. REGISTRO FOTOGRÁFICO.

Anexo 4.1. Construcción de los sistemas de filtración.



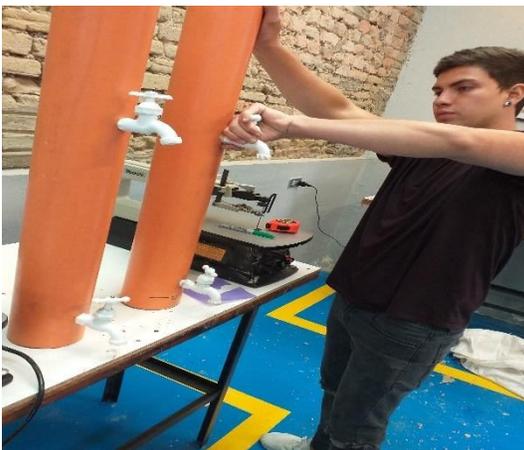
Fuente: Propia.

Anexo 4.2. Pluviómetro.



Fuente: Propia.

Anexo 4.3. Instalación válvulas de control. realizados.



Fuente: Propia.

Anexo 4.4. Ensayos realizados.



Fuente: Propia.

Anexo 4.5. Ensayos realizados.  
realizados.



Fuente: Propia.

Anexo 4.6. Ensayos realizados



Fuente: Propia.

Anexo 4.7. Retrolavado del filtro.



Fuente: Propia.

Anexo 4.8. Instalación del piezómetro



Fuente: Propia.

Anexo 4.9. Cortes de la tubería pluvial.  
bajante.



Fuente: Propia.

Anexo 4.10. Intervención en la



Fuente: Propia.