



ESTRATEGIAS DE TRATAMIENTO DESCENTRALIZADO PARA AGUAS LLUVIAS -  
FILTRACIÓN

Erika Andrea Melo Benavides

Daniel Camilo Sisa Lancheros

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Sede Principal

Sede / Centro Tutorial Bogotá D.C. - Sede Principal

Programa Ingeniería Civil

junio de 2020

ESTRATEGIAS DE TRATAMIENTO DESCENTRALIZADO PARA AGUAS LLUVIAS -  
FILTRACIÓN

Erika Andrea Melo Benavides

Daniel Camilo Sisa Lancheros

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Civil

Asesor(a)

M. I. Jenny Andrea Hernández Romero

Ingeniera Civil

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Sede Principal

Sede / Centro Tutorial Bogotá D.C. - Sede Principal

Programa Ingeniería Civil

junio de 2020

### **Dedicatoria**

Dedicamos a Dios el logro de este objetivo, a nuestros padres y a nuestros hermanos, que han sido un gran apoyo en nuestras vidas y son nuestro motor de vida, la razón por la que alcanzamos cada uno de nuestros logros y metas, también agradecemos a demás familiares que siempre han estado ahí para nosotros; en otra instancia a nuestros amigos, que siempre estuvieron deseándonos lo mejor durante esta etapa y dándonos consejos y apoyo para alcanzar cada una de las metas propuestas.

### **Agradecimientos**

Agradecemos a la ingeniera Jenny Andrea Hernández Romero, directora y tutora de nuestra tesis, que con ayuda de su conocimiento, paciencia y apoyo logramos sacar la investigación adelante y cumplir cada meta establecida hasta donde fue posible hacerlo.

A la Corporación Universitaria Minuto de Dios, Facultad de Ingeniería, programa de Ingeniería Civil, y a los docentes que a lo largo de nuestro proceso educativo siempre nos apoyaron y nos aportaron conocimientos valiosos para nuestra vida personal y profesional, conocimientos que hemos aplicado constantemente para obtener resultados que garantizan el cumplimiento de cada una de nuestras metas y objetivos exitosamente.

Agradecemos también al Parque Científico de Innovación Social, así como al ingeniero Mauricio Peralta, ya que trabajando en conjunto logramos avanzar satisfactoriamente a lo largo de este proyecto investigativo, siempre en pro de mejorar la calidad de vida de la comunidad priorizada y generar a su vez un impacto social positivo.

**Contenido**

Lista de tablas ..... 9

Lista de ilustraciones..... 10

Lista de anexos..... 11

Resumen..... 12

Abstract..... 13

Introducción ..... 14

**CAPÍTULO I OBJETIVOS ..... 17**

    1.1    Objetivo general ..... 17

    1.2    Objetivos específicos..... 17

**CAPÍTULO II ANTECEDENTES ..... 18**

**CAPÍTULO III MARCO TEÓRICO ..... 21**

    3.1    Marco normativo ..... 22

    3.2    Variables en el diseño de filtros ..... 24

    3.3    Medios filtrantes..... 25

        3.3.1    Antracita..... 25

        3.3.2    Arena..... 26

        3.3.3    Carbón activado ..... 27

## Estrategias de tratamiento descentralizado para aguas lluvias - filtración

3.4	Mecanismos de Remoción .....	28
3.4.1	Cribado.....	29
3.4.2	Sedimentación.....	29
3.4.3	Impacto inercial .....	29
3.4.4	Interceptación.....	30
3.4.5	Adhesión .....	30
3.4.6	Adsorción física .....	30
CAPÍTULO IV CARACTERIZACIÓN DEL LECHO DE FILTRACIÓN .....		31
4.1	Caracterización de los materiales.....	32
4.1.1	Arena fina.....	32
4.1.2	Arena media .....	33
4.1.3	Zeolita natural .....	33
4.1.4	Antracita.....	33
4.1.5	Carbón activado .....	34
4.1.6	Grava.....	34
4.2	Análisis de los lechos filtrantes.....	35
4.3	Pérdidas de carga en el lecho de filtración.....	36
4.3.1	Combinación 1: Arena Fina con Arena Fina .....	37
4.3.2	Combinación 2: Arena Fina con Arena Media .....	38

## Estrategias de tratamiento descentralizado para aguas lluvias - filtración

4.3.3	Combinación 3: Arena Fina con Zeolita Natural .....	38
4.3.4	Combinación 4: Arena Fina con Antracita .....	39
4.3.5	Combinación 5: Arena Fina con Carbón Activado.....	39
4.3.6	Combinación 6: Arena Media con Arena Media .....	40
4.3.7	Combinación 7: Arena Media con Zeolita Natural.....	40
4.3.8	Combinación 8: Arena Media con Antracita .....	41
4.3.9	Combinación 9: Arena Media con Carbón Activado.....	41
4.3.10	Combinación 10: Zeolita Natural con Zeolita Natural .....	42
4.3.11	Combinación 11: Zeolita Natural con Antracita.....	42
4.3.12	Combinación 12: Zeolita Natural con Carbón Activado .....	43
4.3.13	Combinación 13: Antracita con Antracita .....	44
4.3.14	Combinación 14: Antracita con Carbón Activado.....	44
4.3.15	Combinación 15: Carbón Activado con Carbón Activado .....	45
CAPÍTULO V EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE LOS FILTROS .....		46
5.1	Caracterización típica del agua lluvia .....	46
5.2	Eficiencia de remoción de los lechos filtrantes .....	50
CAPÍTULO VI DISEÑO DE UNA SOLUCIÓN DE TRATAMIENTO .....		53
6.1	Características de la zona (precipitación).....	53
6.2	Cálculo de caudales.....	55

## Estrategias de tratamiento descentralizado para aguas lluvias - filtración

6.2.1	Caudal de consumo .....	56
6.2.2	Caudal por el método racional .....	57
6.3	Caudal de diseño .....	61
6.4	Dimensionamiento del filtro.....	61
6.5	Presupuesto.....	64
CAPÍTULO VII OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES .....		66
CAPÍTULO VIII CONCLUSIONES .....		67
Referencias.....		68
Anexos .....		75

**Lista de tablas**

Tabla 1. Resumen de rangos de calidad de agua en fuentes superficiales para orientar la selección de opciones de FiME .....	21
Tabla 2. Características de filtración convencional. ....	24
Tabla 3. Caracterización de los materiales filtrantes. ....	31
Tabla 4. Combinaciones de materiales filtrantes. ....	35
Tabla 5. Caracterización típica del agua lluvia en Villa Rufina, Riosucio, Chocó.....	50
Tabla 6. Eficiencia de remoción del filtro con las diferentes combinaciones. ....	51
Tabla 7. Parámetros a, b, c, d y f por región en Colombia para ser utilizados en la ecuación de la intensidad determinada. ....	55
Tabla 8. Parámetros M, PT y N para ser utilizados en la ecuación de la intensidad determinada	55
Tabla 9. Resultados de la intensidad teniendo en cuenta la ecuación de intensidad determinada.	58
Tabla 10. Presupuesto general para la construcción de los filtros piloto.....	65

**Lista de ilustraciones**

Ilustración 1. Antracita .....	26
Ilustración 2. Arena sílice .....	27
Ilustración 3. Carbón activado .....	28
Ilustración 4. Ejemplo de filtro piloto con lecho filtrante.....	32
Ilustración 5. Ubicación geográfica del municipio de Riosucio, Chocó.....	53
Ilustración 6. Fotografía general del colegio Antonio Ricaurte.....	56
Ilustración 7. Curvas IDF para la región del Chocó. ....	59
Ilustración 8. Vista frontal de la zona de recolección del agua lluvia. ....	60
Ilustración 9. Vista en planta de la zona de recolección del agua lluvia. ....	60
Ilustración 10. Vista posterior de la zona de recolección del agua lluvia. ....	62
Ilustración 11. Vista lateral de la zona de recolección del agua lluvia. ....	63
Ilustración 12. Comparación entre la zona real y el modelo de la cubierta donde se realizará la recolección del agua lluvia en el colegio Antonio Ricaurte en Riosucio, Chocó. ....	63

**Lista de anexos**

Anexo 1. Especificaciones técnicas de la arena fina y media (estándar).....	75
Anexo 2. Especificaciones técnicas de la antracita.....	76
Anexo 3. Especificaciones técnicas del carbón activado.....	77
Anexo 4. Especificaciones técnicas de la grava y gravilla .....	78

## Resumen

En Colombia, el porcentaje poblacional que no tiene acceso al servicio de agua potable es alto y significativo, la falta de este recurso en gran parte del territorio nacional es una problemática que afecta cada día más, y, que aun cuando se ha tratado de mitigar en los últimos tiempos, es un problema que sigue afectando la salud y calidad de vida de muchos colombianos.

La reutilización de aguas podría convertirse en un factor determinante en el objetivo de mitigar a gran escala dicha problemática, es un método que podría funcionar como una herramienta eficaz para mejorar significativamente la calidad de vida de muchos colombianos, específicamente para las regiones donde el acceso a agua potable es nulo o limitado.

Es por eso que en esta investigación se plantea diseñar una solución para el tratamiento descentralizado de aguas lluvias mediante filtración, de esta manera, diseñando y construyendo diversos filtros con distintos lechos filtrantes, se evaluará la eficiencia de remoción de los parámetros básicos encontrados en el agua según el decreto 2115 de 2007, estos parámetros son: pH, color, turbiedad y coliformes totales. Se busca de esta manera seleccionar cual combinación de materiales es la más viable tanto técnica como económicamente. Esta solución se adecúa al colegio Antonio Ricaurte en el municipio de Riosucio, Chocó, como una alternativa para reutilización de agua lluvia que sea apta para consumo humano.

*Palabras clave: Filtración, aguas lluvias, lechos filtrantes, parámetros, tratamiento descentralizado, materiales.*

### **Abstract**

In Colombia, the population percentage that doesn't have access to the drinking water service is high and significant, the lack of this resource in much of the national territory is a problem that affects every day more, and, that even when it has been tried to mitigate in recent times, it's a problem that continues to affect the health and quality life of many Colombians.

The water reuse could become in a determining factor in order to mitigate this problem on a large scale, it's a method that could work as an effective tool to improve significantly the quality life of many Colombians, specifically for regions where the access to drinking water is nil or limited.

That's why this research aims to design a solution for decentralized rainwater treatment through filtration, in this way, designing and building various filters with different filter beds, the removal efficiency of the basic parameters present in the water will be evaluated according to the decree 2115 of 2007, these parameters are: pH, color, turbidity and total coliforms. In this way, its sought to select which material's combination is the most viable both economically and technically. This solution is suitable for Antonio Ricaurte School in the municipality of Riosucio, Chocó, as an alternative of reuse of rainwater that is suitable for human consumption.

*Keywords: Filtration, rainwater, filter beds, parameters, decentralized treatment, materials*

## Introducción

Actualmente, una de las necesidades de trabajo colectivo, es sobre la aplicación de conocimientos y técnicas científicas para crear soluciones que garanticen el acceso de agua potable a todas las poblaciones, siendo este uno de los derechos universales para el ser humano. Cerca de 2100 millones de personas carecen de acceso a servicios de agua potable en condiciones óptimas (OMS, 2017), en Colombia, específicamente, según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), el 13,1% de la población no tiene acceso a agua potable, del restante 86,9%, el 53,5% consume esta agua tal como la obtienen, el 27,2% la hierven, el 1% la desinfectan con cloro, solamente el 0,4% la decantan o utilizan filtros naturales y el 8,2% le realizan un proceso de filtración mediante filtros, el restante 9,7% adquieren agua embotellada o en bolsa. En cuanto a la población rural, la confiabilidad que se tiene hacia el sistema de acueducto es de 24,5%. La afectación directa a la salud que se genera por la falta de acceso a agua potable indica que en el mundo cerca de 2.000 millones de seres humanos se abastecen de fuentes de agua contaminada (OMS, 2019), ocasionando que bajo estas condiciones acceso de agua inapropiada se genere de manera directa la génesis y transmisión de enfermedades como hepatitis, la gastroenteritis, el cólera y la fiebre tifoidea entre otras; las cifras oficiales revelan que 340.000 niños menores de cinco años mueren cada año por enfermedades diarreicas de acuerdo con la Organización Panamericana de la Salud- OPS (OPS, 2017). En tanto la Organización Mundial de Salud- OMS (2019) referencia que son 502.000 muertes por diarrea al año por causa del consumo de agua contaminada.

El Instituto Nacional de Salud- INS (2019) a través del informe Carga de la Enfermedad Ambiental en Colombia, dio a conocer que en el país el 71.6 % de las muertes producidas por la enfermedad diarreica aguda, principalmente afecta a los menores de 5 años y adultos mayores de 60 años, es preocupante la situación cuando se estima que ocho de cada diez muertes de menores de un año están relacionadas con enfermedades causadas por el consumo de agua contaminada, ocasionando 1.209 muertes para el año 2016 en el país.

Es por ello, que a través de esta investigación surge la necesidad de generar una solución mediante la construcción de filtros de aguas lluvias que sean capaces de potabilizarla específicamente para población priorizada que no tiene acceso a un sistema de acueducto, además es una alternativa adecuada para diferentes poblaciones determinadas que quieran hacer reúso y aprovechamiento de éstas aguas con fines de consumo humano; los parámetros que se tendrán en cuenta al momento de caracterizar el agua efluente de los filtros corresponden a los ensayos básicos definidos por la resolución 2115 de 2007: pH, turbiedad, color y coliformes totales; a partir de esta solución se busca generar además una solución socio-técnica local que sea eficiente y sostenible construida a partir del conocimiento de la comunidad del barrio Villa Rufina del municipio Rio Sucio- Chocó, que permita mejorar las condiciones de acceso de agua potable, mitigando las problemáticas de salud y afecciones en la piel presentes en el municipio, sirviendo de referente para llegar a ser escalable en otros contextos similares del país o en pro de futuras mejoras.

Es importante referenciar que esta investigación se encuentra alineada y contribuye al logro de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) objetivo 6: Agua limpia y saneamiento en las metas de apoyar y fortalecer la participación de las comunidades locales en la mejora de

gestión del agua y saneamiento, y lograr el acceso a servicios de saneamiento e higiene adecuados y equitativos para todos, prestando atención a las necesidades de mujeres y niños (ONU, 2016).

## CAPÍTULO I OBJETIVOS

### 1.1 Objetivo general

Diseñar una solución técnica de filtración para tratamiento de agua lluvia basado en la configuración de un lecho filtrante que garantice la eficiencia de remoción de los diferentes parámetros básicos según la Resolución 2115 de 2007.

### 1.2 Objetivos específicos

- Recolectar, mediante distintas bases de datos, información pertinente para generar una propuesta viable de prototipos de tratamiento de aguas lluvias a través de filtración, tomando como base diferentes lechos filtrantes y su respectiva caracterización.
- Definir y caracterizar los materiales más apropiados para filtros de agua lluvia en los que la eficiencia de remoción de los diferentes parámetros básicos encontrados en el agua sea óptima.
- Construir prototipos de filtros de agua lluvia teniendo en cuenta la caracterización de los diferentes materiales.
- Dimensionar el filtro a ser construido in situ, para de esta manera generar una solución técnica de filtración eficiente para la población del barrio Villa Rufina en el municipio de Riosucio, Chocó.

## CAPÍTULO II ANTECEDENTES

Una investigación realizada en la Universidad Libre, sede Bosque Popular, en Bogotá, acerca del tratamiento de agua lluvia con fines de consumo humano, arrojó como resultados que, utilizando la antracita como medio filtrante, los parámetros del agua lluvia que se reducen son el color, la turbiedad y E. Coli, además se obtiene que el pH disminuye notablemente; mientras que cuando se utiliza carbón natural, se observa disminución en el color, turbidez y E. Coli, mientras que el PH no adquiere disminución alguna (Hernández Aviles, Pedraza Navarro, & Chaparro, 2017). Así mismo, se logró distinguir que, al utilizar filtros con materiales como cascarillas de arroz y luffa cylindrica, se determina que en los filtros de únicamente cascarillas de arroz el pH tiende a bajar hasta 0.4 unidades, mientras que el filtro que tiene un soporte en luffa cylindrica tiende a aumentar su pH (Suárez, Mesa, Bravo, & Prieto, 2015).

También se puede evidenciar mediante la investigación realizada en Ecuador, que un filtro lento de arena registra un promedio de 74,6% de remoción de coliformes fecales y 80,86% de remoción de E. Coli, el filtro lento de arena con adición de zeolitas registra 61,64% de remoción de coliformes fecales y 79,29% de remoción de E. Coli, mientras que el filtro cerámico de arcilla muestra un aumento de coliformes fecales luego de la filtración del agua, y remueve en promedio el 86,25% de E. Coli (Jarrín Pérez, Ramos Marcial, & Matamoros C, 2009).

En la ciudad de Cali, Colombia, registraron resultados para un agua clarificada del río Cauca a través de una planta de tratamiento con filtros de antracita y arena, un porcentaje entre 89%-98% de esta agua, tuvieron valores de turbiedad inferiores a 5.0 UNT (Perea, Torres, Cruz, & Escobar, 2013), hay que tener en cuenta que el valor máximo permitido según el decreto 2115 de 2007 es de 2.0 UNT (Resolución 2115, 2007).

Parámetros como la turbiedad y la remoción de coliformes, fueron evaluados por Gualteros y Chacón, mediante distintos medios filtrantes como: arena fina, trozos de PVC y carbón activado, los resultados obtenidos para el filtro de arena en la eficiencia de remoción de la turbiedad fueron de 88% y en la de coliformes de 58%, en el filtro de carbón activado la eficiencia de remoción de turbiedad fue de 82% y en la de coliformes de 68%, mientras que en los filtros con trozos de PVC, tanto la turbiedad como los coliformes obtuvieron una eficiencia de remoción del 96% (Gualteros & Chacón, 2015).

Ibarra, a través de la construcción de distintos filtros caseros, evaluó la capacidad de remoción de la bacteria *Escherichia coli* en aguas contaminadas, algunos de los filtros que utilizó fueron: filtros de bioarena, filtros de vela cerámica, filtro poroso impregnado de plata coloidal y filtros de bioarena modificados; con el uso de filtros de vela cerámica, mediante el desarrollo de distintos métodos, obtuvo porcentajes de remoción del 97.7%, 98% y 100%, alcanzando la remoción adecuada según los parámetros de la norma para consumo de agua (100%), adicionándole a estos filtros plata coloidal; los filtros de bioarena alcanzaron un porcentaje de remoción de 98%, 91.5% y 90%, mientras que los filtros de bioarena modificado - que a diferencia del filtro de bioarena común tienen una capa adicional de arena recubierta con óxido de hierro- obtuvieron un porcentaje de remoción de 99.3%; utilizando filtros porosos impregnados de plata coloidal los resultados que se obtuvieron fueron un 99% de remoción, por lo cual únicamente el uso de filtros de vela cerámica con adición de plata coloidal cumplen los valores estipulados para que el agua filtrada sea apta para su posterior consumo humano (Ibarra Peñaranda, 2016).

A partir de la investigación realizada en la Universidad Católica, en Bogotá, al utilizar diferentes materiales convencionales en lechos filtrantes para la remoción de parámetros básicos como la turbiedad y el color, es posible establecer que al usar arena-antracita se remueve 80% de turbiedad y cerca de 89% de color, el carbón activado remueve 60% de turbiedad del agua caracterizada, mientras que al utilizar tierras diatomeas, únicamente el 16.7% de turbiedad es removido, siendo este material poco favorable, teniendo en cuenta también que cuando utilizan una capa mayor a 30mm, se tiende a formar una película semi impermeable, lo que genera una velocidad de flujo muy baja, por lo que es recomendable utilizar capas de menos de 5mm de tierras diatomeas (Díaz Restrepo & Niño Lozada, 2018).

Cambiando el material filtrante de grava a PVC corrugado en humedales artificiales, Arévalo, registró la eficiencia de remoción en la turbiedad y el pH; a partir de los resultados obtenidos a lo largo de 28 semanas, reconociendo que, al utilizar la grava el mayor porcentaje de remoción de turbiedad fue de 62.5% y el menor de 31.37%, es decir, que en promedio la eficiencia de remoción es de 48.6% al utilizar grava, por el contrario, utilizando como medio filtrante PVC corrugado, el valor máximo de eficiencia de remoción de turbiedad es de 85.34% y el mínimo de 48.64%, por lo que el promedio de eficiencia de remoción es de 70.2%; la medición del pH en cualquiera de los dos materiales es similar, ya que utilizando grava el valor de pH máximo fue de 7.41 y mínimo de 6.48, obteniendo así un promedio de 7.19, y utilizando PVC corrugado el valor de pH mayor fue de 7.42 y el menor de 6.46, por lo que en promedio el pH registrado fue de 7.18 (Goicochea Arévalo, 2014), por lo que se puede afirmar que tanto con la grava como con el PVC corrugado, el pH está dentro de los parámetros establecidos para que el agua sea apta para consumo humano, sin embargo, en cuanto a remoción de turbiedad es más adecuado utilizar como material filtrante PVC corrugado en lugar de grava.

### CAPÍTULO III MARCO TEÓRICO

Según la OMS La calidad del agua potable es una cuestión que preocupa en países de todo el mundo, en desarrollo y desarrollados, por su repercusión en la salud de la población. Para que el agua sea apta para consumo humano, se debe cumplir con los valores máximos que cada uno de los parámetros debe tener, la turbiedad no puede ser mayor a 2.0 UNT, el color aparente tiene una aceptabilidad máxima de 15 UPC, el pH del agua debe estar comprendida entre 6.5 y 9.0, mientras que los coliformes y el E. Coli deben ser de 0 UFC/100 cm<sup>3</sup>. (Resolución 2115, 2007)

A partir de datos generados por la Organización Panamericana de la Salud (OPS) y su *guía para diseño de sistemas de tratamiento de filtración en múltiples etapas (FiME)*, es posible determinar la calidad del agua cruda en función de los parámetros como turbiedad, color y coliformes fecales, como se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1. Resumen de rangos de calidad de agua en fuentes superficiales para orientar la selección de opciones de FiME**

<b>RANGO</b>	<b>NIVEL PROMEDIO</b>
Bajo	Turbiedad < 10 UNT Coliformes fecales < 500 UFC/100 ml Color real < 20 UPC
Intermedio	Turbiedad 10 - 20 UNT Coliformes fecales 500 - 10000 UFC/100 ml Color real 20 - 30 UPC
Alto	Turbiedad 20 - 70 UNT Coliformes fecales 10000 - 20000 UFC/100 ml Color real 30 - 40 UPC

El proceso de filtración es uno de los más usados para potabilizar aguas superficiales, se emplea con o sin pretratamiento de coagulación y sedimentación (filtración directa), para eliminar los

sólidos presentes originalmente en el agua (Comisión Nacional del Agua, 2007). Consiste en la remoción de partículas suspendidas y coloidales presentes en una suspensión acuosa que escurre a través de un medio poroso, es la responsable principal de la producción de agua de calidad coincidente con los estándares de potabilidad. (Maldonado Yactayo, 2006).

### **3.1 Marco normativo**

Al momento de realizar el diseño tanto de los filtros piloto como del filtro que va a ser construido in situ, se deben considerar diferentes parámetros de diseño, así como los valores máximos permitidos según normativa en cada uno de los parámetros básicos del agua que se van a analizar, en Colombia las normas que rigen los parámetros básicos para la sanidad y calidad para el agua potable, teniendo en cuenta el tratamiento mediante filtración, son 2: la resolución 0330 de 2017 y el decreto 2115 de 2007.

De acuerdo a esto, se conoce que la resolución 0330 de 2017 es la encargada de establecer los parámetros de diseño, en este caso del proceso de filtración, para el tratamiento del agua potable, teniendo en cuenta esta resolución determinamos diferentes variables que deben tener en cuenta al momento de realizar tanto el dimensionamiento como el diseño de los filtros piloto y el prototipo del filtro seleccionado. Por otro lado, el decreto 2115 de 2007 regula y determina los valores máximos para cada uno de los parámetros encontrados en el agua lluvia, sin embargo, para esta investigación se tendrán en cuenta únicamente los parámetros básicos que garantizan o establecen que el agua sea o no apta para consumo humano, estos parámetros, como se ha mencionado, son 4: pH, color, turbiedad y coliformes totales, estos parámetros, según este

decreto, tienen unos valores máximos permisibles para que el agua sea consumible, estos valores se muestran a continuación.

- Turbiedad: 2 Unidades Nefelométricas de Turbiedad (UNT)
- Color aparente: 15 Unidades de Platino Cobalto (UPC)
- pH: Entre 6,5 – 9,0 unidades
- Coliformes totales y Escherichia Coli: 0 UFC/100cm<sup>3</sup> (Unidades Formadoras de Colonia por cada 100 cm<sup>3</sup>)

Sin embargo, por otro lado, se debe tener en cuenta que esta normativa colombiana para el manejo y tratamiento de agua potable, se basa principalmente en la norma internacional AWWA (American Water Works Association), que es una asociación fundada para mejorar la calidad y el suministro de agua, y que enfatiza y especifica en sí los ensayos de laboratorio orientados al color, turbiedad y pH (AWWA, s.f.).

Teniendo en cuenta esta normativa internacional, se establece que los diferentes ensayos en laboratorio para cada parámetro son:

- 4500-H:2 “Typical pH electrode response as a function of temperature”
- 4500-H:I “Preparation of pH Standard Solutions”
- 4500-H:II “Standard pH Values”
- 2120 “Color”
- 2130 “Turbidity”

### 3.2 Variables en el diseño de filtros

Para el diseño de un filtro se deben apreciar diferentes variables: **1.** Características del medio filtrante, en ella se contempla parámetros como el tamaño del grano, forma, densidad y composición del grano, la distribución granulométrica y la carga del medio, se tiene en cuenta ya que este afecta la eficiencia de remoción de partículas y el incremento en pérdida de carga. **2.** Porosidad del lecho filtrante, que determina la cantidad de sólidos que pueden almacenarse en el filtro. **3.** Profundidad del lecho filtrante que afecta la pérdida de carga y la duración de la carrera. **4.** Tasa de filtración, determina el área requerida y la pérdida de carga. **5.** Pérdida de carga disponible que es una variable de diseño. (Romero Rojas, 2000)

Algunas de estas variables vienen asociadas a las características de filtración convencional que se pueden observar en la Tabla 2, según la resolución 0330 de 2017.

**Tabla 2. Características de filtración convencional.**

<b>Parámetro</b>	<b>Filtración lenta con lecho simple</b>	<b>Filtración rápida con lecho simple</b>	<b>Filtración rápida con lecho mixto</b>
Tasa de filtración (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /d)	7 - 14	< 120	180 - 350
Profundidad del medio (m)	0.8 - 1.0	0.6 - 0.9	Antracita: 0.4 - 0.6 Arena: 0.15 - 0.3

### 3.3 Medios filtrantes

El medio ideal para la filtración debe poseer las siguientes características: ser lo suficientemente grueso para tener aberturas entre los granos con gran capacidad de almacenamiento, pero a la vez, suficientemente fino para retener el paso de los sólidos suspendidos y una altura suficiente para proporcionar la duración de corrida deseada. Un filtro se puede rellenar con un sólo tipo de medio o una combinación de éstos. El medio más común empleado es la arena de sílice y para filtros duales, arena con antracita. Se emplea carbón activado como medio filtrante cuando se pretende no sólo eliminar los sólidos en suspensión, sino también remover los materiales disueltos por adsorción (Comisión Nacional del Agua, 2007).

Los materiales porosos usados más frecuentemente como medios filtrantes son la arena, la antracita y el carbón activado, estos medios pueden ser utilizados como lechos simples o lechos mixtos; sin embargo, eso no significa que estos sean los únicos materiales que sirven para filtración.

#### 3.3.1 Antracita

Un carbón se clasifica como antracita cuando tiene carácter no aglomerante, se puede clasificar en: metaantracita (% material volátil  $\leq 2$ ), antracita (% material volátil  $> 2$  y  $\leq 8$ ), y semiantracita (% material volátil  $> 8$  y  $\leq 14$ ); en algunas ocasiones se utiliza carbón de antracita triturado en lugar de arena como medio filtrante. La antracita para filtros debe ser limpia, con una dureza mayor de 2.7 en la escala de MOHS, de densidad relativa mayor de 1.4, solubilidad en ácido menor del 5% y coeficiente de uniformidad  $\leq$  a 1.7. En los filtros de antracita se puede

usar un lecho de 60 a 70 cm con tamaño efectivo de 0.70mm o mayor (Romero Rojas, 2000). Sus gránulos se caracterizan por su estructura puntiaguda y en fragmentos, tiene gran resistencia a la abrasión, baja tendencia a la aglomeración y poca dependencia al pH ya que admite valores entre 3.0 y 12.0 (Díaz Restrepo & Niño Lozada, 2018). En la Ilustración 1 se evidencia una fotografía de este material.

**Ilustración 1. Antracita (Carbotecnia, s.f.)**



### **3.3.2 Arena**

La arena es el medio filtrante más usado, en filtros rápidos de arena la profundidad del lecho es de 60 a 70cm. La arena para filtros debe tener una solubilidad en HCl 1:1 menor del 5%, una densidad relativa  $>$  de 2.5 y debe ser limpia y bien gradada. El tamaño efectivo de la arena en filtros rápidos varía entre 0.35 y 0.7mm, un valor típico es 0.5mm. Dicho medio permite tratar aguas con turbiedad de 5 a 10 UTN, el coeficiente de uniformidad varía entre 1.3 a 1.7 (Romero Rojas, 2000). En la Ilustración 2 se evidencia una fotografía de este material.

**Ilustración 2. Arena sílice (Carbotecnia, s.f.)**

### 3.3.3 Carbón activado

Es un material natural que tiene una superficie específica de 500 a 1500 m<sup>2</sup>/g. Su capacidad adsorbente es tal, que 1 gramo puede adsorber otro gramo de gases y líquidos; el carbón activado adsorbe colores, olores y sabores desagradables, turbiedad, materia disuelta, entre otros (Tejero, Suárez, Jácome, & Tempreano, 2000). El carbón activado también remueve orgánicos como fenoles y pesticidas y herbicidas del agua, la activación del carbón genera una excelente superficie de filtración, por lo que se permite una gran absorción de impurezas del agua (Díaz Restrepo & Niño Lozada, 2018). En la Ilustración 3 se evidencia una fotografía de este material.

**Ilustración 3. Carbón activado (Carbotecnia, s.f.)**

### 3.4 Mecanismos de Remoción

La filtración usualmente es considerada como el resultado de dos mecanismos distintos pero complementarios: transporte y adherencia. Inicialmente, las partículas por remover son transportadas de la suspensión a la superficie de los granos del medio filtrante. Ellas permanecen adheridas a los granos, siempre que resistan la acción de las fuerzas de cizallamiento debidas a las condiciones hidrodinámicas del escurrimiento. El transporte de partículas es un fenómeno físico e hidráulico, afectado principalmente por los parámetros que gobiernan la transferencia de masas. La adherencia entre partículas y granos es básicamente un fenómeno de acción superficial, que es influenciado por parámetros físicos y químicos. (Maldonado Yactayo, 2006)

Existen distintos mecanismos que pueden realizar transporte, los cuales se exponen a continuación a detalle.

### **3.4.1 Cribado**

El cernido o cribado, en general, actúa solo en las capas más superficiales del lecho y con partículas relativamente fuertes, capaces de resistir los esfuerzos cortantes producidos por el flujo, cuya velocidad aumenta en las constricciones (Maldonado Yactayo, 2006). Se divide en 2:

1. Mecánico: Las partículas más grandes que los poros del medio son retenidas mecánicamente.
2. Oportunidad de contacto: Partículas más pequeñas que los poros del medio son retenidas por oportunidad de contacto. (Romero Rojas, 2000)

### **3.4.2 Sedimentación**

El efecto de la gravedad sobre las partículas suspendidas durante la filtración fue sugerido hace más de 70 años, cuando Hazen consideró los poros de los filtros lentos de arena como pequeñas unidades de sedimentación. La sedimentación solo puede producirse con material suspendido relativamente grande y denso, cuya velocidad de asentamiento sea alta y en zonas del lecho donde la carga hidráulica sea baja. (Maldonado Yactayo, 2006) Las partículas se sedimentan sobre el medio filtrante, dentro del filtro. (Romero Rojas, 2000)

### **3.4.3 Impacto inercial**

Durante el escurrimiento, las líneas de corriente divergen al estar cerca de los granos del medio filtrante, de modo que las partículas suspendidas, con cantidad de movimiento suficiente para mantener su trayectoria, colisionan con los granos. (Maldonado Yactayo, 2006) Las partículas pesadas no siguen las líneas de corriente.

#### **3.4.4 Interceptación**

Normalmente, el régimen de escurrimiento durante la filtración es laminar y, por lo tanto, las partículas se mueven a lo largo de las líneas de corriente. Debido a que las partículas suspendidas tienen una densidad aproximadamente igual a la del agua, ellas serán removidas de la suspensión cuando, en relación con la superficie de los granos del medio filtrante, las líneas de corriente están a una distancia menor que la mitad del diámetro de las partículas suspendidas.

(Maldonado Yactayo, 2006)

#### **3.4.5 Adhesión**

Las partículas floculentas se adhieren a la superficie del medio filtrante. Debido a la fuerza de arrastre del agua, algunas son arrastradas antes de adherirse fuertemente y empujadas más profundamente dentro del filtro. (Romero Rojas, 2000)

#### **3.4.6 Adsorción física**

Es dependiente del área superficial, de la presencia de microporosidad, de fenómenos de oclusión y de procesos de intercambio iónico (Ríos Valencia & Castellar Ortega, 2013). La adsorción física depende de las fuerzas electrostáticas, las fuerzas electrocinéticas y las fuerzas de Vander Waals (Romero Rojas, 2000).

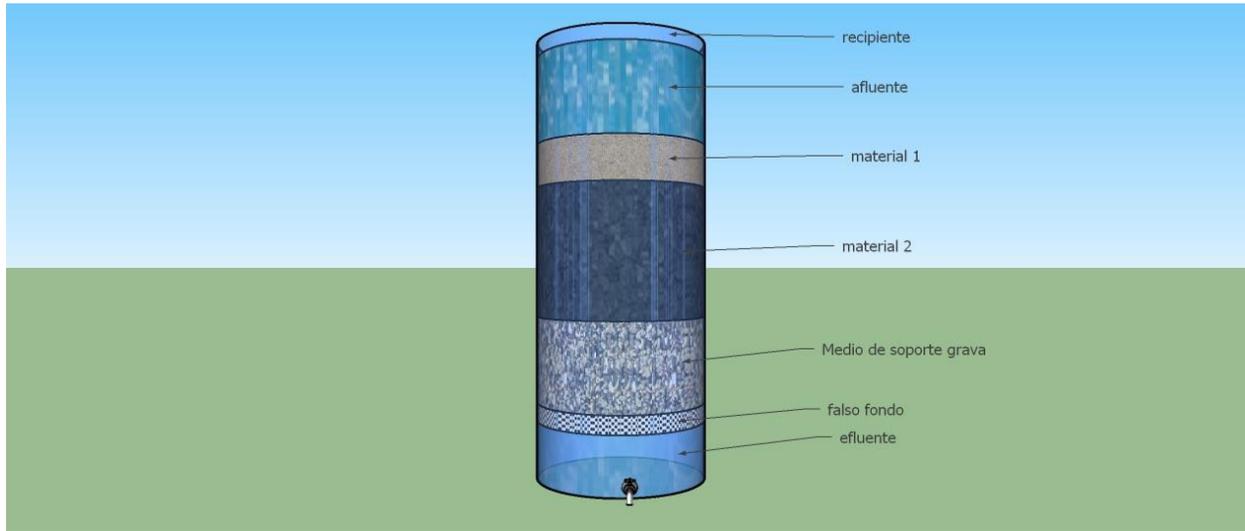
## CAPÍTULO IV CARACTERIZACIÓN DEL LECHO DE FILTRACIÓN

Para realizar el diseño y construcción de los filtros piloto en laboratorio, previamente se deben caracterizar los materiales que vayan a ser utilizados, en esta caracterización se deben establecer diferentes especificaciones de los materiales (diámetro efectivo, porosidad, densidad, entre otros), la caracterización de cada uno de los materiales se lleva a cabo ya sea bajo diferentes ensayos y métodos en el laboratorio, así como mediante datos de distintas bibliografías o fichas técnicas de cada uno de los materiales. La Tabla 3 muestra cómo se realiza la caracterización de los materiales porosos que se implementarán en los filtros.

**Tabla 3. Caracterización de los materiales filtrantes.**

<b>Material</b>	<b>Porosidad</b>	<b>Diámetro efectivo (mm)</b>	<b>Coefficiente de uniformidad</b>	<b>Densidad</b>
Arena fina	0.40	0.45 mm	1.45 a 1.8	1600 kg/m <sup>3</sup>
Arena media	0.40	0.8 mm	1.45 a 1.8	1600 kg/m <sup>3</sup>
Zeolita natural	0.35	1.18 mm	1.64	1830 kg/m <sup>3</sup>
Antracita	0.43	1.2 mm	1.45 a 1.7	750 kg/m <sup>3</sup>
Carbón activado	0.27	2.00 mm	1.4 a 2.0	450 kg/m <sup>3</sup>
Grava gruesa sílice (M 4-8)	0.40	4.8 mm	> 4	1500 kg/m <sup>3</sup>

Se muestra de la misma manera, en la Ilustración 4, un ejemplo de cómo puede quedar la distribución de distintos materiales filtrantes para formar un lecho filtrante determinado en uno de los filtros piloto que se analizarán y caracterizarán en laboratorio.

**Ilustración 4. Ejemplo de filtro piloto con lecho filtrante.**

## 4.1 Caracterización de los materiales

A continuación, se evidencia de manera resumida la caracterización de cada uno de los materiales que serán utilizados en los lechos filtrantes para el diseño de los filtros piloto.

### 4.1.1 Arena fina

De acuerdo a proveedores específicos y sus fichas técnicas, el diámetro efectivo de la arena fina para filtración de agua se comprende entre 0.35 a 0.45mm y el coeficiente de uniformidad entre 1.45 a 1.8, como se muestra en el Anexo 1, además, según datos de la empresa Stemm, la densidad de la arena es de 1.6ton/m<sup>3</sup> (Stemm. Grabbs, Tongs & Beams, s.f.); otros datos como la porosidad, según un artículo desarrollado por distintos autores para el XXVII congreso interamericano de ingeniería sanitaria y ambiental, demuestra que la porosidad de la arena es de 40%, es decir, es 0.4 (Márquez Canosa, Herrera Vasconcelos, & Gutierrez Duque)

#### **4.1.2 Arena media**

La caracterización de este material es muy similar al de la arena fina, únicamente cambiando el diámetro efectivo, es decir, que el coeficiente de uniformidad se comprende entre 1.45 a 1.8, la densidad es  $1.6\text{ton/m}^3$  y la porosidad es 0.4. El valor del diámetro efectivo, según proveedores, varía entre 0.45 a 0.80mm, como se muestra en el Anexo 1.

#### **4.1.3 Zeolita natural**

Según fichas técnicas e información en la web de la empresa mexicana Carbotecnia, la zeolita natural como material para la filtración del agua, se caracteriza porque su diámetro efectivo es de 1.18mm, el coeficiente de uniformidad es 1.64, la porosidad de 35%, es decir, 0.35, y la densidad es  $1830\text{kg/m}^3$  (Carbotecnia, s.f.).

#### **4.1.4 Antracita**

Teniendo en cuenta las especificaciones brindadas por proveedores específicos en distintas fichas técnicas, y, tal como se muestra en el

Anexo 2, se establecen distintas características para este material poroso, tales como un diámetro efectivo que varía entre 0.8 a 1.2mm, un coeficiente de uniformidad de 1.45 a 1.70 y una densidad de  $0.75\text{ton/m}^3$ ; otros valores, como la porosidad, según la empresa colombiana Quiminsa, establece que esta característica es de un valor de 42.5%, es decir, 0.425 (Quiminsa. Químicos Industriales Asociados SAS., s.f.).

#### **4.1.5 Carbón activado**

Considerando proveedores específicos, y, de acuerdo a fichas técnicas, como se muestra en el

Anexo 3, el carbón activado tiene un diámetro efectivo que varía entre 1 a 3.36mm, sin embargo, este material también puede presentarse en polvo, además, su densidad está comprendida entre 0.45 a 0.52g/cm<sup>3</sup>. De acuerdo a un estudio realizado en la Universidad Nacional de Colombia en conjunto con la Universidad de Kassel, se establecieron 14 diferentes porosidades del carbón activado teniendo en cuenta diferentes experimentos, estas porosidades están en el rango de 0.18 a 0.413 (Gómez , Klose, & Rincón, 2010). Además, según Renato Alchira, el coeficiente de uniformidad del carbón activado está en un rango entre 1.4 a 2.0 (Alchira, 2010).

#### **4.1.6 Grava**

Para el diseño y construcción de los filtros piloto se utilizará como medio de soporte grava gruesa sílice, que, según especificaciones técnicas brindadas por proveedores específicos, como se muestra en el Anexo 4, tienen un diámetro efectivo que varía de 2.4 a 4.8mm, y que cuya densidad es de aproximadamente 1500kg/m<sup>3</sup>; otros datos como la porosidad, según Sanders, varía de 25 a 40%, es decir, de 0.25 a 0.40 (Sanders, 1998). Además, según una investigación realizada en la Universidad de Piura, se determina que una grava bien gradada tiene un coeficiente de uniformidad mayor a 4 (Universidad de Piura).

## 4.2 Análisis de los lechos filtrantes

Para el diseño y construcción de los filtros piloto se deben tener en cuenta las posibles combinaciones de los materiales previamente caracterizados, y, de esta manera, determinar si el filtro será de lecho simple o de lecho mixto, según corresponda. En estas combinaciones se debe considerar también la profundidad de cada uno de los materiales según la normativa correspondiente, es decir, la resolución 0330 de 2017, hay que tener claro que la grava no trabajará como material filtrante sino como medio de soporte, por lo que, sin importar la combinación de materiales, ésta se implementará en cada uno de los filtros que se construyan.

Se muestra a continuación la Tabla 4, en la que se evidencian las posibles combinaciones de materiales para el lecho filtrante en los filtros piloto, teniendo en cuenta que se combinan máximo dos materiales diferentes en cada filtro, sin contar el material de soporte de éstos.

**Tabla 4. Combinaciones de materiales filtrantes.**

	<b>Arena fina</b>	<b>Arena media</b>	<b>Zeolita</b>	<b>Antracita</b>	<b>Carbón activado</b>
<b>Arena fina</b>	1	2	3	4	5
<b>Arena media</b>	X	6	7	8	9
<b>Zeolita</b>	X	X	10	11	12
<b>Antracita</b>	X	X	X	13	14
<b>Carbón activado</b>	X	X	X	X	15

Como se puede evidenciar, pueden generarse 15 diferentes combinaciones de materiales filtrantes, sin embargo, no todas las combinaciones son viables, como se evidencia más adelante.

### 4.3 Pérdidas de carga en el lecho de filtración

Teniendo en cuenta cada una de las posibles combinaciones de materiales que se pueden implementar en los filtros piloto, se desarrolla el cálculo de las pérdidas de carga en cada filtro teniendo en cuenta la Ecuación de Rose, que se expresa como:

#### Ecuación 1. Ecuación de Rose

$$h = 1.067 * C_D * \frac{1}{e^4} * \frac{L}{d} * \frac{v^2}{g}, \text{ donde}$$

#### Ecuación 2. Coeficiente de descarga

$$C_D = \frac{24}{Re} + \frac{3}{\sqrt[2]{Re}} + 0.34, \text{ y}$$

#### Ecuación 3. Número de Reynolds

$$Re = \frac{v*d}{\vartheta}, \text{ con } \vartheta \text{ como la viscosidad cinemática del agua.}$$

Teniendo en cuenta la zona de estudio, la temperatura ambiente es 25°C, es decir, que la viscosidad cinemática del agua es 0.00000089m<sup>2</sup>/s.

En la Ecuación de Rose, h es la pérdida de carga en el lecho, e es la porosidad del material, d es el diámetro efectivo, L es la profundidad del material en el filtro, que varía dependiendo de la combinación correspondiente, g es la gravedad, y v es la velocidad de filtración (o tasa de filtración) que, según la Tabla 2, para filtración rápida con lecho mixto, debe estar comprendida entre 180 a 350 m/d.

Se desarrolla entonces la Ecuación de Rose considerando cada una de las diferentes combinaciones antes planteadas. Con la previa caracterización de los materiales filtrantes, se puede evidenciar que valores como el diámetro efectivo y la porosidad, en algunos materiales,

están comprendidas en algún rango numérico, sin embargo, para efectos de cálculos, se tendrán en cuenta los valores planteados en la Tabla 3; también se debe tener en cuenta que la profundidad de los materiales en el lecho filtrante también puede variar dependiendo de la combinación, por lo que en el cálculo de cada una de estas combinaciones, se especificará qué valor de esta profundidad  $L$  se toma en cada material. Además, se considera una tasa de filtración  $181.25\text{m/d}$  para cada filtro, como se evidencia más adelante, así como una profundidad de lecho de grava constante de  $0.30\text{m}$  en cada uno de los filtros. Finalmente, teniendo en cuenta el valor de la pérdida de carga total en cada uno de los filtros, se mayorará este valor un  $40\%$  para determinar cuánto se puede expandir el lecho.

#### 4.3.1 Combinación 1: Arena Fina con Arena Fina

Para esta combinación, la profundidad de los lechos de arena fina será de  $0.30\text{m}$  cada uno; desarrollando la Ecuación de Rose, la pérdida de carga en este lecho filtrante se muestra a continuación:

**Pérdida en el lecho 1 (arena fina):**  $h_1 = 0.32\text{m}$

**Pérdida en el lecho 2 (arena fina):**  $h_2 = 0.32\text{m}$

**Pérdida en el medio de soporte (grava):**  $h_3 = 0.0039\text{m}$

**Pérdida total en el lecho:**  $h_t = 0.65\text{m}$

**Pérdida mayorada en el lecho:**  $h_{40\%} = 0.91\text{m}$

#### 4.3.2 Combinación 2: Arena Fina con Arena Media

Para esta combinación, la profundidad del lecho de arena fina será de 0.30m, lo mismo que para el lecho de arena media; desarrollando la Ecuación de Rose, la pérdida de carga en este lecho filtrante se muestra a continuación:

**Pérdida en el lecho 1 (arena fina):**  $h_1 = 0.32m$

**Pérdida en el lecho 2 (arena media):**  $h_2 = 0.107m$

**Pérdida en el medio de soporte (grava):**  $h_3 = 0.0039m$

**Pérdida total en el lecho:**  $h_t = 0.433m$

**Pérdida mayorada en el lecho:**  $h_{40\%} = 0.607m$

#### 4.3.3 Combinación 3: Arena Fina con Zeolita Natural

Para esta combinación, la profundidad del lecho de arena fina será de 0.15m, mientras que la profundidad del lecho de zeolita natural será de 0.45m; desarrollando la Ecuación de Rose, la pérdida de carga en este lecho filtrante se muestra a continuación:

**Pérdida en el lecho 1 (arena fina):**  $h_1 = 0.16m$

**Pérdida en el lecho 2 (zeolita natural):**  $h_2 = 0.13m$

**Pérdida en el medio de soporte (grava):**  $h_3 = 0.0039m$

**Pérdida total en el lecho:**  $h_t = 0.296m$

**Pérdida mayorada en el lecho:**  $h_{40\%} = 0.414m$

#### 4.3.4 Combinación 4: Arena Fina con Antracita

Para esta combinación, la profundidad del lecho de arena fina será de 0.15m, mientras que la profundidad del lecho de antracita será de 0.45m; desarrollando la Ecuación de Rose, la pérdida de carga en este lecho filtrante se muestra a continuación:

**Pérdida en el lecho 1 (arena fina):**  $h_1 = 0.16m$

**Pérdida en el lecho 2 (antracita):**  $h_2 = 0.056m$

**Pérdida en el medio de soporte (grava):**  $h_3 = 0.0039m$

**Pérdida total en el lecho:**  $h_t = 0.22m$

**Pérdida mayorada en el lecho:**  $h_{40\%} = 0.309m$

#### 4.3.5 Combinación 5: Arena Fina con Carbón Activado

Para esta combinación, la profundidad del lecho de arena fina será de 0.15m, mientras que la profundidad del lecho de carbón activado será de 0.45m; desarrollando la Ecuación de Rose, la pérdida de carga en este lecho filtrante se muestra a continuación:

**Pérdida en el lecho 1 (arena fina):**  $h_1 = 0.16m$

**Pérdida en el lecho 2 (carbón activado):**  $h_2 = 0.053m$

**Pérdida en el medio de soporte (grava):**  $h_3 = 0.0039m$

**Pérdida total en el lecho:**  $h_t = 0.219m$

**Pérdida mayorada en el lecho:**  $h_{40\%} = 0.306m$

#### 4.3.6 Combinación 6: Arena Media con Arena Media

Para esta combinación, la profundidad del lecho de arena media será de 0.30m cada uno; desarrollando la Ecuación de Rose, la pérdida de carga en este lecho filtrante se muestra a continuación:

**Pérdida en el lecho 1 (arena media):**  $h_1 = 0.107m$

**Pérdida en el lecho 2 (arena media):**  $h_2 = 0.107m$

**Pérdida en el medio de soporte (grava):**  $h_3 = 0.0039m$

**Pérdida total en el lecho:**  $h_t = 0.218m$

**Pérdida mayorada en el lecho:**  $h_{40\%} = 0.305m$

#### 4.3.7 Combinación 7: Arena Media con Zeolita Natural

Para esta combinación, la profundidad del lecho de arena media será de 0.15m, mientras que la profundidad del lecho de zeolita natural será de 0.45m; desarrollando la Ecuación de Rose, la pérdida de carga en este lecho filtrante se muestra a continuación:

**Pérdida en el lecho 1 (arena media):**  $h_1 = 0.053m$

**Pérdida en el lecho 2 (zeolita natural):**  $h_2 = 0.13m$

**Pérdida en el medio de soporte (grava):**  $h_3 = 0.0039m$

**Pérdida total en el lecho:**  $h_t = 0.188m$

**Pérdida mayorada en el lecho:**  $h_{40\%} = 0.264m$

#### **4.3.8 Combinación 8: Arena Media con Antracita**

Para esta combinación, la profundidad del lecho de arena media será de 0.15m, mientras que la profundidad del lecho de antracita será de 0.45m; desarrollando la Ecuación de Rose, la pérdida de carga en este lecho filtrante se muestra a continuación:

**Pérdida en el lecho 1 (arena media):**  $h_1 = 0.053m$

**Pérdida en el lecho 2 (antracita):**  $h_2 = 0.055m$

**Pérdida en el medio de soporte (grava):**  $h_3 = 0.0039m$

**Pérdida total en el lecho:**  $h_t = 0.113m$

**Pérdida mayorada en el lecho:**  $h_{40\%} = 0.158m$

#### **4.3.9 Combinación 9: Arena Media con Carbón Activado**

Para esta combinación, la profundidad del lecho de arena media será de 0.15m, mientras que la profundidad del lecho de carbón activado será de 0.45m; desarrollando la Ecuación de Rose, la pérdida de carga en este lecho filtrante se muestra a continuación:

**Pérdida en el lecho 1 (arena media):**  $h_1 = 0.053m$

**Pérdida en el lecho 2 (carbón activado):**  $h_2 = 0.053m$

**Pérdida en el medio de soporte (grava):**  $h_3 = 0.00389m$

**Pérdida total en el lecho:**  $h_t = 0.111m$

**Pérdida mayorada en el lecho:**  $h_{40\%} = 0.155m$

#### **4.3.10 Combinación 10: Zeolita Natural con Zeolita Natural**

Para esta combinación, la profundidad de los lechos de zeolita natural será de 0.40m cada uno; desarrollando la Ecuación de Rose, la pérdida de carga en este lecho filtrante se muestra a continuación:

**Pérdida en el lecho 1 (zeolita natural):**  $h_1 = 0.116m$

**Pérdida en el lecho 2 (zeolita natural):**  $h_2 = 0.116m$

**Pérdida en el medio de soporte (grava):**  $h_3 = 0.0039m$

**Pérdida total en el lecho:**  $h_t = 0.237m$

**Pérdida mayorada en el lecho:**  $h_{40\%} = 0.331m$

#### **4.3.11 Combinación 11: Zeolita Natural con Antracita**

Para esta combinación, la profundidad del lecho de zeolita natural será de 0.40m, lo mismo que para el lecho de antracita; desarrollando la Ecuación de Rose, la pérdida de carga en este lecho filtrante se muestra a continuación:

**Pérdida en el lecho 1 (zeolita natural):**  $h_1 = 0.116m$

**Pérdida en el lecho 2 (antracita):**  $h_2 = 0.049m$

**Pérdida en el medio de soporte (grava):**  $h_3 = 0.0039m$

**Pérdida total en el lecho:**  $h_t = 0.170m$

**Pérdida mayorada en el lecho:**  $h_{40\%} = 0.238m$

#### **4.3.12 Combinación 12: Zeolita Natural con Carbón Activado**

Para esta combinación, la profundidad del lecho de zeolita natural será de 0.40m, lo mismo que para el lecho de carbón activado; desarrollando la Ecuación de Rose, la pérdida de carga en este lecho filtrante se muestra a continuación:

**Pérdida en el lecho 1 (zeolita natural):**  $h_1 = 0.116m$

**Pérdida en el lecho 2 (carbón activado):**  $h_2 = 0.047m$

**Pérdida en el medio de soporte (grava):**  $h_3 = 0.0039m$

**Pérdida total en el lecho:**  $h_t = 0.168m$

**Pérdida mayorada en el lecho:**  $h_{40\%} = 0.235m$

#### 4.3.13 Combinación 13: Antracita con Antracita

Para esta combinación, la profundidad de los lechos de antracita será de 0.40m cada uno; desarrollando la Ecuación de Rose, la pérdida de carga en este lecho filtrante se muestra a continuación:

**Pérdida en el lecho 1 (antracita):**  $h_1 = 0.049m$

**Pérdida en el lecho 2 (antracita):**  $h_2 = 0.049m$

**Pérdida en el medio de soporte (grava):**  $h_3 = 0.0039m$

**Pérdida total en el lecho:**  $h_t = 0.103m$

**Pérdida mayorada en el lecho:**  $h_{40\%} = 0.144m$

#### 4.3.14 Combinación 14: Antracita con Carbón Activado

Para esta combinación, la profundidad del lecho de antracita será de 0.40m, lo mismo que para el lecho de carbón activado; desarrollando la Ecuación de Rose, la pérdida de carga en este lecho filtrante se muestra a continuación:

**Pérdida en el lecho 1 (antracita):**  $h_1 = 0.049m$

**Pérdida en el lecho 2 (carbón activado):**  $h_2 = 0.047m$

**Pérdida en el medio de soporte (grava):**  $h_3 = 0.0039m$

**Pérdida total en el lecho:**  $h_t = 0.101m$

**Pérdida mayorada en el lecho:**  $h_{40\%} = 0.141m$

#### 4.3.15 Combinación 15: Carbón Activado con Carbón Activado

Para esta combinación, la profundidad de los lechos de carbón activado será de 0.40m cada uno; desarrollando la Ecuación de Rose, la pérdida de carga en este lecho filtrante se muestra a continuación:

**Pérdida en el lecho 1 (carbón activado):**  $h_1 = 0.047m$

**Pérdida en el lecho 2 (carbón activado):**  $h_2 = 0.047m$

**Pérdida en el medio de soporte (grava):**  $h_3 = 0.0039m$

**Pérdida total en el lecho:**  $h_t = 0.098m$

**Pérdida mayorada en el lecho:**  $h_{40\%} = 0.137m$

Teniendo en cuenta cada una de estas configuraciones de lechos filtrantes, y considerando también los resultados y análisis de laboratorio, se establece la combinación más viable tanto económica como técnicamente, es decir, que la combinación que sea más eficiente en la remoción de los distintos parámetros básicos presentes en el agua, será la que se escoja para la construcción del filtro in situ en el colegio Antonio Ricaurte en Villa Rufina, en el municipio de Riosucio, Chocó.

## **CAPÍTULO V EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE LOS FILTROS**

Los filtros piloto que se ensayarán en laboratorio deben ser capaces de remover eficazmente cada uno de los parámetros básicos según la resolución 2115 de 2007 presentes en el agua lluvia, en este caso con la caracterización típica del agua lluvia del barrio Villa Rufina en el municipio de Riosucio, Chocó, que depende de varios parámetros, algunos como el material de la superficie, la cantidad de fábricas o industrias cercanas al lugar de estudio, la calidad atmosférica, entre otros. Este afluente de agua llega con unas condiciones y parámetros iniciales dependiendo de dicha caracterización típica, de acuerdo a éstos, se evalúa y analiza la eficiencia de remoción que tiene cada uno de los lechos filtrantes, teniendo en cuenta que deben cumplir con los valores máximos estipulados según la normativa correspondiente. Se espera que las condiciones iniciales del agua lluvia no tengan valores tan elevados en cada uno de los parámetros, debido a que la zona donde se realizará el estudio y posterior implementación de los filtros no tiene en su medio grandes industrias o fábricas que puedan inducirle al agua lluvia gran cantidad de contaminantes, sin embargo, el afluente de agua lluvia, bajo dichas condiciones iniciales, no es adecuado para que esta agua sea apta para el consumo humano.

### **5.1 Caracterización típica del agua lluvia**

Distintos países en el mundo han realizado análisis acerca de la recolección y aprovechamiento de las aguas lluvias, y se ha llegado a la conclusión de que la calidad, la cantidad y distintas variables se dan a través de los cambios climáticos, la geografía y de la cantidad que se pueda almacenar dependiendo del tanque que se posea para ello, por lo que un correcto aprovechamiento de las aguas lluvias depende de un estudio individual por cada país, un

inventario físico-químico de las aguas lluvias y una serie de datos obtenidos de manera individual, así como también de un correcto sistema de tratamiento del agua (Cheng Leong, Nan Chong, Eong Poh, Hermawan, & Talei, 2017).

Las propiedades físico-químicas del agua lluvia dependen de distintas variables, la calidad del agua de escorrentía en techos puede mejorar o empeorar dependiendo del tipo de materiales usados para la cubierta y los sistemas de drenaje, así como su interacción con la deposición atmosférica, si tanto la cubierta como el sistema de drenaje liberan grandes cantidades de sustancias contaminantes, afectarán la calidad del agua de las aguas receptoras si no se tiene en cuenta retención natural o técnica, sin embargo, la escorrentía de las cubiertas es considerada generalmente como no contaminada, o al menos no contaminada significativamente, comparada con aguas residuales y escorrentía de carreteras, ya que la escorrentía de carreteras contiene grandes cantidades de metales pesados, -principalmente en forma particulada-, materia suspendida e hidrocarburos (Zobrist, y otros, 1999). Las aguas lluvias que se recogen de los techos generalmente necesitan ser tratadas de una manera más simple que las aguas grises, pues no contienen tantos contaminantes como si los posee esta, pero lo que las hace mayormente diferentes, es que el agua lluvia depende de las condiciones climáticas, mientras que las aguas grises no (Kim, Lee, Jeong, Lee, & Kim, 2005).

Es posible determinar entonces que, acuerdo al material y tipo de una cubierta, así como su proximidad a medios donde pueda haber mayor o menor cantidad de fuentes contaminantes, depende la calidad de escorrentía o agua lluvia; y, aunque las aguas lluvias que se recolectan en cubiertas suelen ser menos contaminadas que aguas recolectadas mediante otros métodos -como se mencionó anteriormente-, los tejados son tanto una fuente como una vía para la escorrentía

contaminada en entornos urbanos, ya que los techos en sí son una fuente de contaminación debido a la lixiviación y desintegración del material que lo componen (Van Metre & Mahler, 2003). De acuerdo a esto, se determina que las constituyentes del agua lluvia recolectadas en una cubierta o techo son un factor importante que afecta un sistema de tratamiento o reutilización de esta agua, debido a que sus características en cuanto a contaminación podrían verse afectadas por factores como el acero, la plomería, la descomposición orgánica, las heces de pájaros, el polvo industrial y polvo de carreteras, entre otros (Du, y otros, 2019).

La variación en la fuerza y la cantidad de agua lluvia, así como de sus diferentes contaminantes, se da dependiendo de las diferencias entre las condiciones climáticas de un sector u otro, priorizando los mecanismos de reutilización en escuelas de la ciudad y la manera en que se ejecutan dichos procesos (Wung, Lin, & Huang, 2005). Se ha reportado que las fuentes de contaminación en las cubiertas incluyen la precipitación, deposición atmosférica y los materiales usados en la construcción de dicha cubierta (Campisano, y otros, 2017).

De los cuatro parámetros básicos presentes en el agua según la resolución 2115 de 2007 (pH, color, turbiedad y coliformes totales), los dos parámetros que podrían tener más dificultad en la eficacia de remoción mediante el tratamiento por filtración, debido a los altos niveles que pueden tener en la caracterización del agua cruda, son la turbiedad y los microorganismos, es decir, los coliformes totales; esto se debe a que la turbiedad en el agua lluvia está directamente relacionada con la cantidad de partículas suspendidas presentes en la cubierta o techo, ya que estas se derivan de la deposición seca, principalmente como consecuencia de la quema de biomasa agrícola y la movilización de polvo por el tráfico vehicular (Campisano, y otros, 2017), por otro lado se ha demostrado que niveles más altos de microorganismos presentes en el agua

lluvia se deben a mayores cantidades de heces de animales depositadas en la superficie de la cubierta (Yaziz, Gunting, Sapari, & Ghazali, 1989). Sin embargo, teniendo en cuenta la ubicación y características del barrio Villa Rufina en Riosucio, Chocó, no se esperan valores muy elevados de estos parámetros.

En Colombia, para caracterizar agua lluvia de una zona específica, se toman las muestras, que posteriormente son llevadas al Laboratorio de Calidad Ambiental del IDEAM, en donde son analizadas químicamente. Todos los procedimientos que se realizan en el laboratorio están basados en la Normas Técnicas Colombianas NTC ISO 17025, que se aplica a los laboratorios ambientales de las entidades del Sistema Nacional Ambiental (SINA) Para determinar el comportamiento de las características del agua lluvia es necesario saber el pH, conductividad, nitratos y sulfatos; la conductividad, al ser un indicador significativo del contenido de nitratos y sulfatos, resulta ser contrario al comportamiento del pH. De esta manera, a medida que la conductividad aumenta (el contenido de nitratos y sulfatos) el pH disminuye, valores conocidos gracias al análisis químico de las muestras recolectadas en los sitios de monitoreo del IDEAM. En Colombia, las ciudades que presentan más probabilidades de tener lluvia ácida son en las que sus actividades económicas dependen más del comercio con alta influencia del sector industrial, como por ejemplo ciudades como Medellín, Cali, Bogotá y Barrancabermeja, ciudades como Barranquilla, que, a pesar de ser comercial e industrial, debido a que se encuentra influenciada por la brisa del Mar Caribe, puede neutralizar cualquier proceso de acidificación en el medio. Además, posee características climáticas secas en los primeros meses del año; por otro lado, ciudades como Neiva e Ibagué siendo ciudades agropecuarias, poseen niveles bajos de acidez.

Para que el agua lluvia sea catalogada como lluvia ácida su pH debe estar por encima de 5.6, siendo este el pH del agua lluvia normal (IDEAM, s.f.).

Se establece entonces en la Tabla 5 la caracterización típica del agua lluvia en el barrio Villa Rufina en el municipio de Riosucio, Chocó, teniendo en cuenta cada uno de los parámetros básicos iniciales, para posteriormente, mediante el tratamiento mediante los filtros, determinar la eficiencia de remoción en cada uno de estos parámetros.

Tabla 5. Caracterización típica del agua lluvia en Villa Rufina, Riosucio, Chocó.

PARÁMETRO	VALOR	UNIDADES	VALOR MÁXIMO SEGÚN RES. 2115
pH		Unidades	6.5 – 9.0
Color		UPC	15.0
Turbiedad		UNT	2.0
Coliformes		UFC/100cm <sup>3</sup>	0.0

## 5.2 Eficiencia de remoción de los lechos filtrantes

Teniendo en cuenta los objetivos del proyecto de investigación, los parámetros a medir son: pH, color, turbiedad y coliformes totales, con los que se medirá la eficiencia de remoción de cada lecho filtrante, teniendo en cuenta el material que lo compone, es decir, considerando las respectivas combinaciones analizadas en el capítulo anterior. A continuación, se muestra para cada una de las combinaciones propuestas la

Tabla 6, desarrollada de acuerdo a los resultados obtenidos en laboratorio.

Tabla 6. Eficiencia de remoción del filtro con las diferentes combinaciones.

COMBINACIÓN		PROFUNDIDAD DE MEDIO (m)	pH	COLOR (UPC)	TURBIEDAD (UNT)	COLIFORMES (UFC/100cm <sup>3</sup> )	EFICIENCIA DE REMOCIÓN (%)	OBSERVACIONES
1	MEDIO 1	ARENA FINA	0.30					
	MEDIO 2	ARENA FINA	0.30					
	MEDIO DE SOPORTE	GRAVA	0.30					
2	MEDIO 1	ARENA FINA	0.30					
	MEDIO 2	ARENA MEDIA	0.30					
	MEDIO DE SOPORTE	GRAVA	0.30					
3	MEDIO 1	ARENA FINA	0.15					
	MEDIO 2	ZEOLITA	0.45					
	MEDIO DE SOPORTE	GRAVA	0.30					
4	MEDIO 1	ARENA FINA	0.15					
	MEDIO 2	ANTRACITA	0.45					
	MEDIO DE SOPORTE	GRAVA	0.30					
5	MEDIO 1	ARENA FINA	0.15					
	MEDIO 2	CARBÓN ACT	0.45					
	MEDIO DE SOPORTE	GRAVA	0.30					
6	MEDIO 1	ARENA MEDIA	0.30					
	MEDIO 2	ARENA MEDIA	0.30					
	MEDIO DE SOPORTE	GRAVA	0.30					
7	MEDIO 1	ARENA MEDIA	0.15					
	MEDIO 2	ZEOLITA	0.45					
	MEDIO DE SOPORTE	GRAVA	0.30					
8	MEDIO 1	ARENA MEDIA	0.15					
	MEDIO 2	ANTRACITA	0.45					
	MEDIO DE SOPORTE	GRAVA	0.30					
9	MEDIO 1	ARENA MEDIA	0.15					
	MEDIO 2	CARBÓN ACT	0.45					
	MEDIO DE SOPORTE	GRAVA	0.30					
10	MEDIO 1	ZEOLITA	0.40					
	MEDIO 2	ZEOLITA	0.40					
	MEDIO DE SOPORTE	GRAVA	0.30					
11	MEDIO 1	ZEOLITA	0.40					
	MEDIO 2	ANTRACITA	0.40					
	MEDIO DE SOPORTE	GRAVA	0.30					

COMBINACIÓN		PROFUNDIDAD DE MEDIO (m)	pH	COLOR (UPC)	TURBIEDAD (UNT)	COLIFORMES (UFC/100cm <sup>3</sup> )	EFICIENCIA DE REMOCIÓN (%)	OBSERVACIONES
12	MEDIO 1	ZEOLITA	0.40					
	MEDIO 2	CARBÓN ACT	0.40					
	MEDIO DE SOPORTE	GRAVA	0.30					
13	MEDIO 1	ANTRACITA	0.40					
	MEDIO 2	ANTRACITA	0.40					
	MEDIO DE SOPORTE	GRAVA	0.30					
14	MEDIO 1	ANTRACITA	0.40					
	MEDIO 2	CARBÓN ACT	0.40					
	MEDIO DE SOPORTE	GRAVA	0.30					
15	MEDIO 1	CARBÓN ACT	0.40					
	MEDIO 2	CARBÓN ACT	0.40					
	MEDIO DE SOPORTE	GRAVA	0.30					

## CAPÍTULO VI DISEÑO DE UNA SOLUCIÓN DE TRATAMIENTO

En este capítulo se describe detalladamente la metodología utilizada para el diseño y construcción de los filtros que, de una manera adecuada, garantizan ser una opción eficaz para el tratamiento de aguas lluvias de la región de Riosucio, Chocó. Se muestra entonces el desarrollo para el cálculo del caudal de diseño, el dimensionamiento de los filtros, así como el presupuesto requerido para la posterior construcción de estos.

Ilustración 5. Ubicación geográfica del municipio de Riosucio, Chocó (OCHA, 2019).



### 6.1 Características de la zona (precipitación)

La intensidad de la lluvia depende directamente de la precipitación y la duración de la misma, estas dos causas se ven afectadas por los periodos de retorno, y precisamente es lo que

analiza y se interpreta en una curva de Intensidad Duración y Frecuencia (IDF). En una forma conceptual se dice que las curvas IDF resultan de datos representativos de la intensidad de cada tormenta en específico y que depende de la zona de estudio, es decir, cada zona tiene una características particulares y esto hace que las condiciones climáticas son completamente diferentes, por esto se es importante tener los datos de una estación meteorológica u otros dispositivos de medición que sean realmente confiables, al igual registradas y regidas por la entidad de control competente (Perez Núñez, 2020).

Para realizar el procedimiento correspondiente al cálculo de las curvas IDF, se toma la ecuación propuesta por Bernard desarrollada en el año 1969, ecuación que fue adaptada para Colombia después de ser usada en diferentes países, en esta se tienen parámetros base, siendo estos datos específicos para cada región de Colombia, en este caso es la región del pacífico.

- **R1:** Región Andina,
- **R2:** Región Caribe,
- **R3:** Región del Pacifico,
- **R4:** Región de la Orinoquia, y
- **R5:** Región de la Amazonia.

La ecuación para el Cálculo de la intensidad de lluvia se muestra a continuación.

#### Ecuación 4. Cálculo de la intensidad de lluvia

$$I = a * \frac{T^b}{t^c} M^d * N^e * PT^f$$

Donde:

- a, b, c, d, e y f: son parámetros que dependen de la relación  $\frac{R_1^{10}}{R_{24}^{10}} \cdot R_t^T$  está definida como la profundidad de precipitación correspondiente a una duración t y un tiempo de retorno T.
- T: Tiempo de retorno, en años,
- t: Tiempo de duración de la precipitación, en minutos,
- M: Precipitación máxima 24 horas,
- N: Días de lluvias, y
- PT: Precipitación total anual (PT en mm).

De una manera adicional se muestran en la Tabla 7 los parámetros a, b, c, d, e y f, según la zona de Colombia, para ser utilizados en la Ecuación 4. Cálculo de la intensidad de lluvia.

Tabla 7. Parámetros a, b, c, d y f por región en Colombia para ser utilizados en la ecuación de la intensidad determinada.

	a	b	C	D	E	f
R. Andina (R1)	1,61	0,19	0,65	0,75	-0,15	0,08
R. Caribe (R2)	8,51	0,21	0,5	-0,01	-0,08	0,28
R. Pacifico (R3)	2,31	0,19	0,58	-0,2	0,12	0,4
R. Orinoquia (R4)	1,3E-26	0,19	0,58	1,19	-1,46	8,28

Tomada de (Vargas M. & Díaz-Granados O., 2014)

En la Tabla 8, además, se evidencian los parámetros de N, M y PT.

Tabla 8. Parámetros M, PT y N para ser utilizados en la ecuación de la intensidad determinada

Parámetros		
<b>M</b>	Precipitación máxima en 24 horas	49.6
<b>PT</b>	Precipitación total anual (PT en mm)	2058.2
<b>N</b>	Días de lluvia	310

Tomada de (Rangel-Ch & Arellano-P, 2004)

## 6.2 Cálculo de caudales

Se realiza el cálculo del caudal de consumo, así como el caudal por el método racional, para posteriormente determinar el caudal de diseño con el cual se realizará el dimensionamiento

y construcción de los filtros piloto, teniendo en cuenta que, para el diseño, desarrollo y construcción de los filtros, se utiliza el caudal de consumo.

### 6.2.1 Caudal de consumo

Para el cálculo del caudal de consumo se debe tener en cuenta el consumo por persona por día, en este caso de los estudiantes del colegio Antonio Ricaurte en Riosucio, Chocó, así como la cantidad de estudiantes del colegio, para de esta manera desarrollar la Ecuación 5.

#### Ecuación 5. Caudal de consumo

$$Q = \text{Consumo} * N^{\circ} \text{estudiantes.}$$

Según la NTC 1500, y considerando la evaluación de consumo para internados, se establece un consumo de 250litros/persona/día (Código Colombiano de Fontanería, 2004); y según registros del colegio Antonio Ricaurte, hay aproximadamente 725 estudiantes. De esta manera, desarrollando la ecuación establecida previamente, se determina que el caudal de consumo es de 181250L/d, que, expresado en unidades de litros por segundo, aproximadamente es 2.1L/s.

#### Ilustración 6. Fotografía general del colegio Antonio Ricaurte



### 6.2.2 Caudal por el método racional

El cálculo del caudal por el método racional se determina teniendo en cuenta tres variables: el coeficiente de escorrentía de la superficie donde caerá el afluente de agua lluvia (C), la intensidad de lluvia de la zona de estudio (I), medida en mm/h, y el área de cubierta donde se recolectará el agua lluvia (A). Este caudal se calcula teniendo en cuenta la Ecuación 6.

#### Ecuación 6. Caudal por el método racional

$$Q = C * I * A$$

A continuación, se especifica la manera para determinar cada una de estas variables mencionadas.

El coeficiente de escorrentía depende del material de la superficie donde se recolectará el afluente de agua lluvia, para nuestra zona de estudio, este material es zinc; de acuerdo con el ministerio de vivienda y urbanismo de Chile, el coeficiente de escorrentía para techos en zinc, latón, y metálicos en general, se puede dividir en mínimo, medio y máximo, con valores de 0.85,

0.90 y 0.95, respectivamente (Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile, 2005), para efectos de cálculo se toma el valor promedio, es decir, 0.90.

La intensidad de lluvia, que se mide en milímetros por hora, se determina teniendo en cuenta el método de las curvas sintéticas o curvas IDF, que se describió previamente, así como la Ecuación 4. Cálculo de la intensidad de lluvia, teniendo en cuenta los parámetros a, b, c, d y f establecidos en la Tabla 7 para la región del Pacífico; se considera entonces en la gráfica de las curvas. Según el artículo 135 de la resolución 0330 de 2017, se deben tener en cuenta tiempos de duración de 3 a 10 minutos y un periodo de retorno de 5 a 10 años, para efectos de cálculo se toma un tiempo de concentración –o duración-, de 5 minutos, así como un periodo de retorno de 5 años. Desarrollando la ecuación de la intensidad mostrada previamente, se obtienen los resultados que se muestran en la Tabla 9. De acuerdo con estos resultados, y con el análisis previo, teniendo en cuenta una duración de 5 minutos y un periodo de retorno de 5 años, se determina que la intensidad de la lluvia para la zona de estudio es de 255.58mm/h, que para efectos de cálculo se establece como 0.25558m/h.

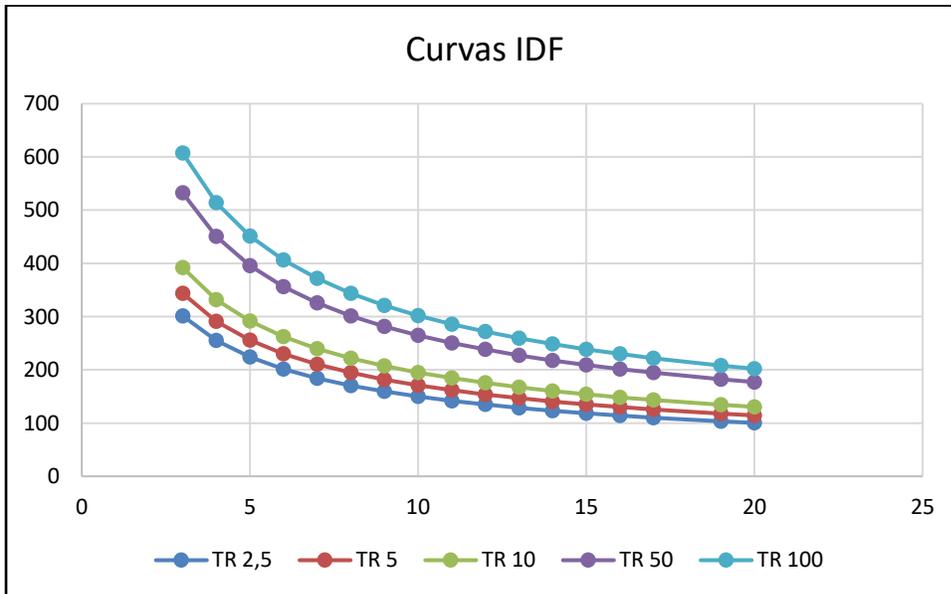
**Tabla 9. Resultados de la intensidad teniendo en cuenta la ecuación de intensidad determinada.**

<b>Periodo de retorno (años)</b>	<b>2.5</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>50</b>	<b>100</b>
<b>Duración (minutos)</b>	<b>Intensidad (mm/h)</b>				
<b>3</b>	301.30758	343.720755	392.104165	532.3604168	607.297447
<b>4</b>	255.003176	290.898371	331.846307	450.5482314	513.969075
<b>5</b>	224.046303	255.583893	291.560832	395.8525817	451.574262
<b>6</b>	201.563857	229.936734	262.303483	356.1298354	406.259994
<b>7</b>	184.324694	210.270923	239.869439	325.6710999	371.513774
<b>8</b>	170.587888	194.600473	221.993159	301.4004468	343.826694
<b>9</b>	159.32346	181.750422	207.334287	281.4980746	321.12279
<b>10</b>	149.878861	170.976367	195.043636	264.8110383	302.086824

Periodo de retorno (años)	2.5	5	10	50	100
Duración (minutos)	Intensidad (mm/h)				
11	141.818415	161.781302	184.554239	250.5695695	285.840673
12	134.838919	153.819346	175.471529	238.2379599	271.77322
13	128.722137	146.841543	167.511504	227.4306224	259.444602
14	123.306544	140.663631	160.463966	217.8621692	248.529258
15	118.469745	135.145987	154.169638	209.3163504	238.780498
16	114.117118	130.180668	148.505382	201.6259814	230.007604
17	110.174227	125.68276	143.374332	194.6595476	222.060549
19	103.291194	117.830846	134.417154	182.4983724	208.187521
20	100.263529	114.376996	130.477127	177.1489925	202.085143

Se muestran además en la Ilustración 7 las curvas IDF de la gráfica obtenidas para la región de estudio priorizada.

Ilustración 7. Curvas IDF para la región del Chocó.



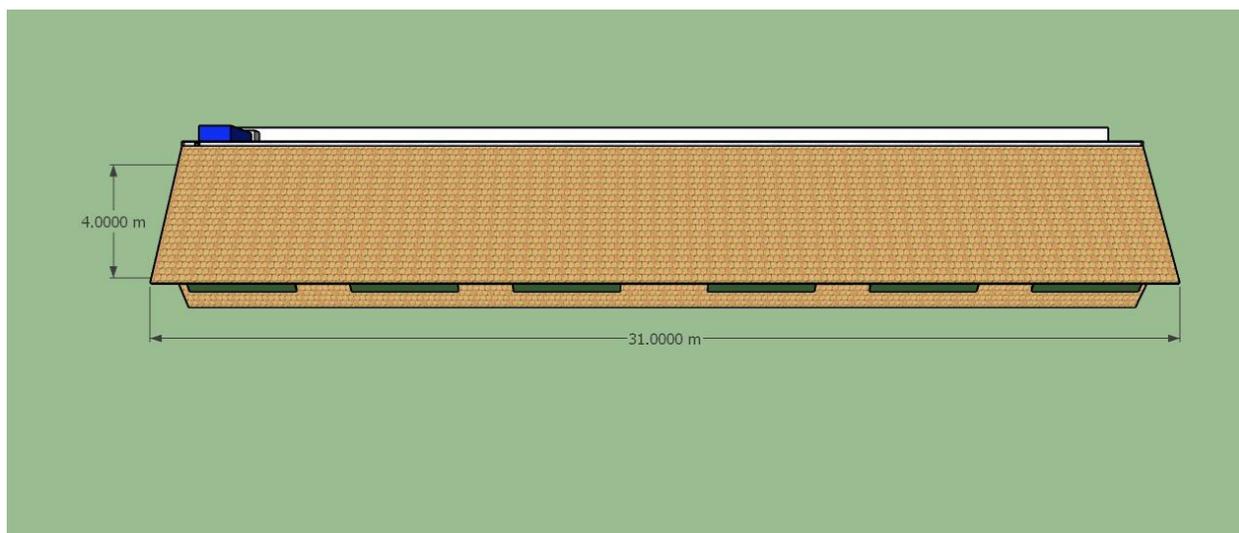
Por último, se debe tener en cuenta el área de cubierta donde se recolectará el agua lluvia, según datos del colegio Antonio Ricaurte, teniendo en cuenta la cubierta con mayor área

superficial, esta área es aproximadamente de  $120\text{m}^2$ , como se muestra en la Ilustración 8 y en la Ilustración 9.

**Ilustración 8. Vista frontal de la zona de recolección del agua lluvia.**



**Ilustración 9. Vista en planta de la zona de recolección del agua lluvia.**



De esta manera, considerando cada una de las variables establecidas, se determina entonces, según el cálculo respectivo de la Ecuación 6, que el caudal por el método racional es  $27.60\text{m}^3/\text{h}$ , es decir,  $7.67\text{L/s}$ .

### 6.3 Caudal de diseño

Como se mencionó anteriormente, se determina como caudal de diseño para los filtros el caudal de consumo diario, este caudal, según los cálculos respectivos realizados previamente es 2.1L/s, es decir, que se consume un caudal de 181.25m<sup>3</sup>/d, teniendo en cuenta este caudal, se realiza posteriormente el dimensionamiento del filtro. Se debe considerar también que el caudal disponible, es decir, el caudal calculado por el método racional, satisface adecuadamente la demanda de caudal, es decir, el caudal de consumo o de diseño.

### 6.4 Dimensionamiento del filtro

Para el dimensionamiento del filtro se debe tener en cuenta una tasa de filtración propuesta, que, para filtros rápidos de lecho mixto, según la resolución 0330 de 2017 y la Tabla 2, se comprende entre 180 a 350 m/d, así como el caudal de diseño, que se determinó previamente. La tasa de filtración propuesta es 180m/d, de esta manera se calcula el área superficial del filtro mediante la ecuación  $AS = Q/TF$ , donde Q es el caudal y TF la tasa de filtración, desarrollando esta ecuación se obtiene que el área superficial del filtro debe ser 1.01m<sup>2</sup>.

Teniendo en cuenta esta área superficial se determina tanto la longitud como la base del filtro, mediante las ecuaciones  $L = \sqrt[2]{AS * K}$  y  $B = \sqrt{\frac{AS}{K}}$ , respectivamente, donde K es un factor de cálculo que se calcula mediante la ecuación  $K = \frac{2N}{N+1}$ , siendo N el número de filtros, es decir,

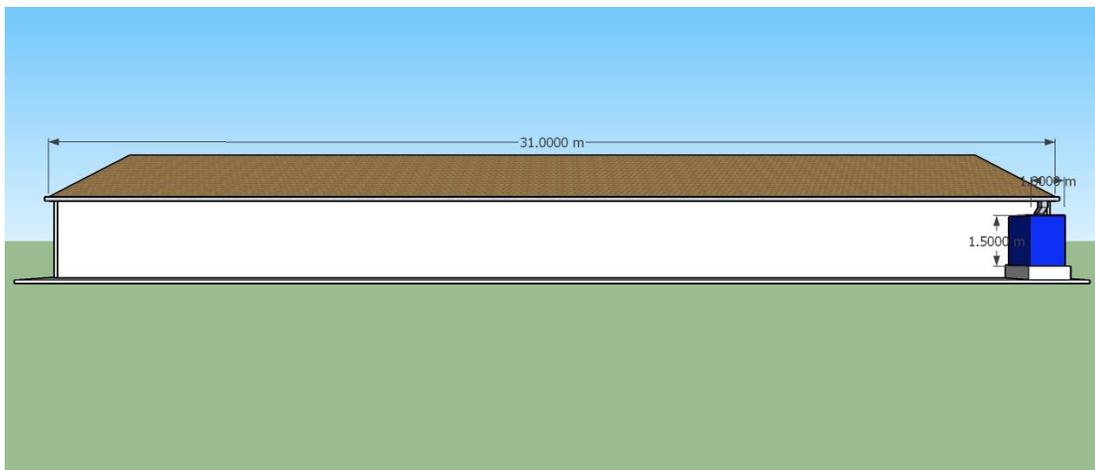
1. De esta manera, mediante el desarrollo de cada una de las ecuaciones se determina que el factor K es 1, utilizando el valor de este factor se calcula la longitud y la base del filtro como

1.003m y 1.003m, respectivamente, sin embargo, para el uso de medidas constructivas se determina que las dimensiones tanto de la longitud como de la base del filtro es 1m.

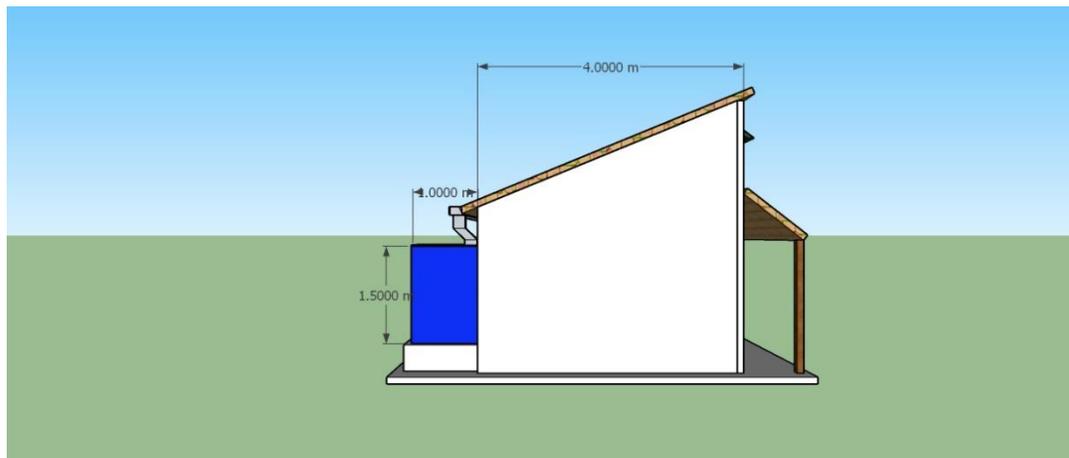
Teniendo en cuenta las dimensiones de la longitud y base del filtro, se debe recalculer el área superficial del filtro mediante la ecuación  $AS = L * B$ , que, mediante su respectivo desarrollo, se determina que ésta área superficial es  $1m^2$ . De acuerdo a los nuevos cálculos se evidencia que el área superficial cambió su valor, por lo que también se debe recalculer una tasa de filtración nueva y verificar que esté comprendida dentro del rango permitido por la norma, este tasa de filtración se calcula mediante la ecuación  $TF = Q/AS$ , realizando el respectivo cálculo, se determina que la tasa de filtración para el filtro será de 181.25m/d. Esta tasa de filtración recalculada se utiliza para el cálculo de las pérdidas en cada una de las combinaciones de materiales filtrantes analizadas en el capítulo 4.3.

Se muestra entonces en las siguientes ilustraciones distintos cortes del modelo del colegio Antonio Ricaurte, específicamente en la cubierta donde se realizará la recolección del agua lluvia.

**Ilustración 10. Vista posterior de la zona de recolección del agua lluvia.**



**Ilustración 11. Vista lateral de la zona de recolección del agua lluvia.**



Se muestra, además, en la Ilustración 12, la comparación entre la cubierta donde se realizará la recolección del agua lluvia in situ en el colegio Antonio Ricaurte y el modelado de la misma.

**Ilustración 12. Comparación entre la zona real y el modelo de la cubierta donde se realizará la recolección del agua lluvia en el colegio Antonio Ricaurte en Riosucio, Chocó.**



De la misma manera, se evidencian en las siguientes ilustraciones los detalles del filtro en sí, además de la canaleta de recolección.

Ilustración 11. Detalles del filtro in situ.

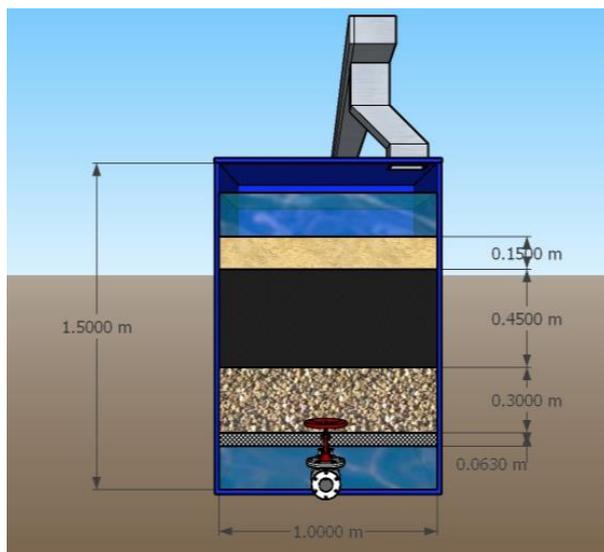
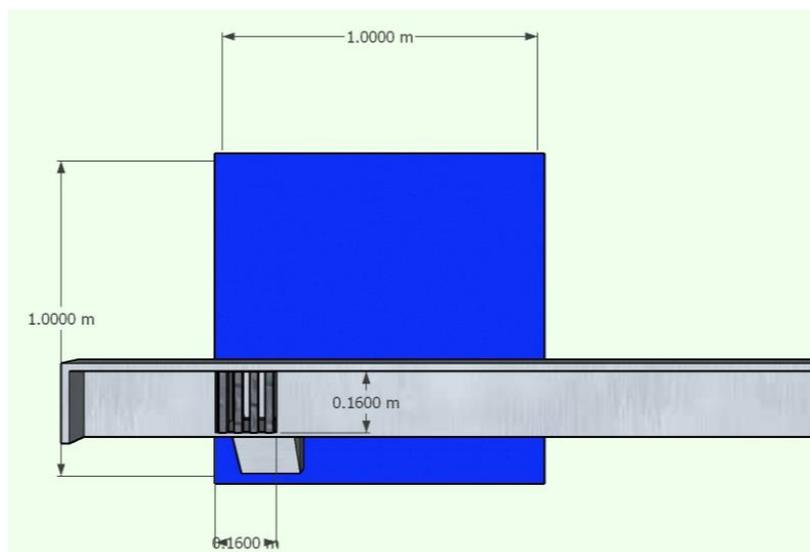


Ilustración 12. Detalles de la canaleta de recolección del agua lluvia para el filtro.



## 6.5 Presupuesto

De acuerdo a los materiales que se utilizarán para la construcción de los filtros como lechos filtrantes, así como accesorios como tanques, codos, válvulas, entre otros, se genera un

presupuesto general para la construcción de los filtros piloto en laboratorio, este presupuesto se muestra en la Tabla 10.

**Tabla 10. Presupuesto general para la construcción de los filtros piloto.**

<b>Producto</b>	<b>Presentación</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio total</b>
Arena fina	Bulto	\$ 15,000	3	\$ 45,000
Arena media	Bulto	\$ 15,000	3	\$ 45,000
Carbón activado	Bulto	\$ 175,000	2	\$ 350,000
Carbón antracita	Bulto	\$ 25,000	2	\$ 50,000
Zeolita	Bulto	\$ 175,000	2	\$ 350,000
Grava	Bulto	\$ 15,000	3	\$ 45,000
Caneca tambor de 200L	Unidad	\$ 166,600	2	\$ 333,200
Falso fondo semiparabólico con boquillas	Unidad de 1m x 1m, 64 boquillas	\$ 180,000	2	\$ 360,000
Válvula PVC 2" lisa 235psi, Humboldt	Unidad	\$ 24,900	4	\$ 99,600
Codo PVC 90° x 2" presión	Unidad	\$ 9,000	4	\$ 36,000
Unión universal 2" presión lisa, Humboldt	Unidad	\$ 20,900	4	\$ 83,600
Collarín de derivación con inserto metálico 2" x 1/2	Unidad	\$ 13,900	4	\$ 55,600
SoldaMax PVC pavco x 1/4 galón	Unidad	\$ 62,990	1	\$ 62,990
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 1,915,990</b>

## **CAPÍTULO VII OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES**

Debido a la contingencia por el estado de emergencia en el que se encuentra el país, no ha sido posible realizar la caracterización del agua lluvia de la zona de estudio ni la construcción del filtro piloto. Debido a esto, tampoco ha sido posible determinar los resultados en cuanto a eficiencia de remoción de los parámetros básicos presentes en el agua lluvia teniendo en cuenta cada una de las configuraciones de los lechos filtrantes. Se determinaron únicamente los cálculos y procedimientos correspondientes a caudales, dimensionamiento del filtro, caracterización de los materiales y pérdidas de energía en los lechos filtrantes. Por esta razón, no se pueden establecer adecuadamente unas observaciones y recomendaciones determinadas.

## **CAPÍTULO VIII CONCLUSIONES**

De igual manera, como se mencionó en el capítulo anterior, no es posible determinar unas conclusiones acertadas sin tener en cuenta el análisis de los resultados que se obtienen en laboratorio, estos resultados, debido a la contingencia social, no ha sido posible establecerlos, debido a esto no se pueden generar unas conclusiones adecuadas.

### Referencias

Alchira, R. (12 de Febrero de 2010). *SlideShare*. Obtenido de Columnas de carbón activado:

<https://es.slideshare.net/renatolachira/carbn-activado>

AWWA. (s.f.). *American Water Works Association*. Obtenido de

<https://www.awwa.org/Store/Product-Details/productId/65266295>

Buitrago Medina, N. F. (2011). Calidad de agua de escorrentía de techo para el prediseño de una piscina de retención en el campus de la Universidad Nacional de Colombia.

Campisano, A., Butler, D., Ward, S., Burns, M., Friedler, E., DeBusk, K., . . . Han, M. (2017).

Urban rainwater harvesting systems: Research, implementation and future perspectives.

*Water Research*, 195-209.

Carbotecnia. (s.f.). *Carbotecnia*. Obtenido de <https://www.carbotecnia.info/producto/medio-zeolita-natural-filtrante/>

Carbotecnia. (s.f.). *Carbotecnia - Antracita*. Obtenido de

<https://www.carbotecnia.info/producto/antracita/>

Carbotecnia. (s.f.). *Carbotecnia - Arena Sílice*. Obtenido de

<https://www.carbotecnia.info/producto/medio-arena-silica-para-filtros-de-agua/>

Carbotecnia. (s.f.). *Carbotecnia - Carbón activado*. Obtenido de

<https://www.carbotecnia.info/producto/carbon-activado-para-purificar-agua/>

Cheng Leong, J., Nan Chong, M., Eong Poh, P., Hermawan, A., & Talei, A. (2017). Longitudinal assessment of rainwater quality under tropical climatic conditions in enabling effective rainwater harvesting and reuse schemes. *Cleaner Production*.

Código Colombiano de Fontanería. (2004). *NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 1500 (Segunda Actualización)*. Bogotá D.C: ICONTEC.

Comisión Nacional del Agua. (2007). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. Coyoacán, México.

DANE. (s.f.). *DANE información para todos*. (DANE) Recuperado el Agosto de 2019, de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/salud/calidad-de-vida-ecv/encuesta-nacional-de-calidad-de-vida-ecv-2018>

Díaz Restrepo, K. Y., & Niño Lozada, Y. E. (2018). Evaluación del comportamiento de materiales alternativos para lechos filtrantes en procesos de potabilización de agua. Bogotá, Colombia: Universidad Católica de Colombia.

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*.

Goicochea Arévalo, D. S. (2014). Influencia de los materiales filtrantes, PVC corrugado y grava, en la remoción de materia orgánica, en humedales artificiales. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Ambiental.

- Gómez , A., Klose, W., & Rincón, S. (2010). Carbón activado de cuesco de palma. Estudio de termogravimetría y estructura. En A. Gómez, W. Klose, & S. Rincón, *Carbón activado de cuesco de palma. Estudio de termogravimetría y estructura* (pág. 83). Kassel: Kassel University.
- Gualteros, L., & Chacón, M. A. (2015). Estudio de la eficiencia de lechos filtrantes para la potabilización de agua proveniente de la quebrada la despensa en el municipio Guaduas, Cundinamarca, vereda La Yerbabuena.
- Hernández Aviles, D. M., Pedraza Navarro, D. B., & Chaparro, T. R. (2017). Tratamiento de agua lluvia con fines de consumo humano.
- Ibarra Peñaranda, N. E. (14 de 04 de 2016). Análisis de filtros caseros como técnica de potabilización del agua en el sector rural colombiano. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional Abierta y a Distancia.
- IDEAM. (s.f.). *IDEAM*. Obtenido de Programa nacional de caracterización del agua lluvia: <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/el-programa-nacional-de-caracterizacion-del-agua-lluvia>
- Jarrín Pérez, F., Ramos Marcial, P., & Matamoros C, D. (2009). Proyecto semilla: "Evaluación de sistemas de filtración de agua de bajo costo para consumo humano".
- Kim, R.-H., Lee, S., Jeong, J., Lee, J.-H., & Kim, Y.-K. (2005). Reuse of greywater and rainwater using fiber filter media and metal membrane. *DESALINATION*.

Maldonado Yactayo, V. A. (2006). *Tratamiento de Agua para Consumo Humano – Plantas de Filtración Rápida. Manual I: Teoría Tomo I y II*. Lima.

Márquez Canosa, E., Herrera Vasconcelos, T., & Gutierrez Duque, N. (s.f.). Características físico-químicas de las zeolitas naturales como medio filtrante. *Asociación brasilera de ingeniería sanitaria y ambiental*.

Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile. (2005). *Guía de diseño y especificaciones de elementos urbanos de infraestructura de aguas lluvias*. Chile.

OCHA. (21 de Marzo de 2019). *Colombia - Confinamiento en Riosucio, Carmen del Darién y Juradó (Chocó)*. Obtenido de Humanitarian response:  
<https://www.humanitarianresponse.info/fr/operations/colombia/document/colombia-confinamiento-en-riosucio-carmen-del-dari%C3%A9n-y-jurad%C3%B3-choc%C3%B3>

OMS. (s.f.). *Organización Mundial de la Salud*. Recuperado el Agosto de 2019, de  
[https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/diseases/es/](https://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/es/)

ONU. (2016). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Obtenido de  
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

OPS. (2005). *Guía para diseño de sistemas de tratamiento de filtración en múltiples etapas*.  
Lima: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.

Ospina, Ó., & Ramírez, H. (2014). Evaluación de la calidad del agua de lluvia para su aprovechamiento y uso doméstico en Ibagué, Tolima, Colombia.

Perea, L. M., Torres, P., Cruz, C. H., & Escobar, J. C. (2013). Influencia de la configuración del medio filtrante sobre el proceso de filtración a tasa constante del agua clarificada del río Cauca. *Revista de ingeniería*, 38-44.

Perez Núñez, M. (2020). *Escuela de Ingeniería y Medio Ambiente*. Obtenido de Cálculo de la curva de intensidad de la tormenta. Curvas IDF: <http://eimaformacion.com/calculo-de-la-curva-de-intensidad-de-la-tormenta-curvas-idf/>

Ponce Ochoa, E. (13 de Mayo de 2005). Diseño de un tren de potabilización para una planta generadora de agua embotellada. *Tesis profesional*. Cholula, Puebla, México: Universidad de las Américas Puebla.

Quiminsa. Químicos Industriales Asociados SAS. (s.f.). *Quiminsa*. Obtenido de <http://quiminsa.com/antracita-tratamiento-agua.html>

Rangel-Ch, J., & Arellano-P, H. (2004). Clima del Chocó biogeográfico/ Costa Pacífica de Colombia. En J. O. Rangel-Ch, & H. Arellano-P, *Clima del Chocó biogeográfico/ Costa Pacífica de Colombia* (págs. 39-82). Bogotá D.C.

Resolución 0330 (2017).

Resolución 2115 (2007).

Ríos Valencia, J. S., & Castellar Ortega, G. C. (2013). Predicción de las curvas de ruptura para la remoción de plomo (II) en una disolución acuosa sobre carbón activado en una columna empacada. *Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 141-158.

Romero Rojas, J. A. (2000). *Purificación del agua*. Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.

Sanders, L. (1998). A manual of field hydrogeology. En L. L. Sanders, *A manual of field hydrogeology* (pág. 381). Londres: Upper Saddle River, N.J.

Stemm. Grabbs, Tongs & Beams. (s.f.). *Stemm grabbs, tongs & beams*. Obtenido de <https://www.stemm.com/index.php/es/densidades-de-materiales>

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. *Mutis*, 5, 21-27.

Tejero, I., Suárez, J., Jácome, A., & Tempreano, J. (2000). Filtración. En I. Tejero, J. Suárez, A. Jácome, & J. Tempreano, *Problemas de ingeniería sanitaria y ambiental*. Coruña: Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad de Cantabria. Santander.

Torres Parra, C. A., & Villanueva Perdomo, S. (2014). *El filtro de arena lenta: manual para el armado, instalación y monitoreo*. Bogotá: Universidad Piloto de Colombia.

Universidad de Piura. (s.f.). El suelo como material de retención. Piura y Lima: Universidad de Piura.

Van Metre, P., & Mahler, B. (2003). The contribution of particles washed from rooftops to contaminant loading to urban streams. *2nd International Symposium on Contaminated Sediments*.

- Vargas M., R., & Díaz-Granados O., M. (2014). Curvas sintéticas regionalizadas de intensidad-duración-frecuencia para Colombia. *Universidad de los Andes*.
- Wung, T.-C., Lin, S.-H., & Huang, S.-M. (2005). Rainwater reuse supply and demand response in urban elementary school of different districts in Taipei. *Resources Conservation & Recycling*.
- Yactayo, V. M. (s.f.). *Filtración*.
- Yaziz, M., Gunting, H., Sapari, N., & Ghazali, A. (1989). Variations in rainwater quality from roof catchments. *Water Research*, 761-765.
- Zobrist, J., Müller, S., Ammann, A., Bucheli, T., Mottier, V., Ochs, M., . . . Boller, M. (1999). Quality of Roof Runoff for Groundwater Infiltration. *PERGAMON*.

## Anexos

### Anexo 1. Especificaciones técnicas de la arena fina y media (estándar)

## FICHA TÉCNICA DE LA ARENA SÍLICE

### ESPECIFICACIONES

PARAMETROS	VALOR
Humedad Total	0,05 %
Solubilidad en HCL (20% peso, 24h)	0,32 %
Solubilidad en NaOH (10% peso, 24h)	0,11 %
Dureza (7 escala Mohs)	7
Desgaste	0,06 %
Sílice	98,5 %
Perdida Por Ignición	0,48 %

El producto cumple con la norma AWWA B 100 – 01 y NTC 2572.

### GRANULOMETRIA

TIPO	TAMAÑO EFECTIVO (mm)	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD
ARENA FINA	Min 0.35 - Max 0.45	1.45 – 1.80
ARENA ESTANDAR	Min 0.45 – Max 0.80	
ARENA GRUESA	Min 0.80 – Max 2.00	

### CARACTERISTICAS

La Arena Sílice es un agregado de color claro con porcentaje de silicio del 98.5 % y cuenta con un detallado proceso de lavado, secado, tamizado (clasificación granulométrica), y empaque en sacos de polipropileno, con el objeto de ser entregada visiblemente libre de arcilla, polvo, materiales orgánicos y micáceos.

### EMPAQUE

Sacos de polipropileno cocidos y pesados a 25 kg y 50 kg.

### ALMACENAMIENTO

Debe almacenarse en un lugar seco.

### PRECAUCIONES

La arena sílice no es un material peligroso sin embargo debe utilizarse protección respiratoria y para los ojos.

## Anexo 2. Especificaciones técnicas de la antracita

**FICHA TÉCNICA DEL CARBÓN ANTRACITA****ESPECIFICACIONES**

<b>PARAMETROS</b>	<b>VALOR</b>
Carbono Fijo B. Seca*	87.99%
Materia Volátil*	5.81%
Cenizas B. Seca*	6.20
Dureza (Escala Mohs)	3.50
Desgaste	0.73%
Humedad Total*	3.28 %
Solubilidad en HCL (20% peso, 24h)	0.70%
Solubilidad en NaOH (10% peso, 24h)	0.41%
Densidad	0.75 Ton/m3
Gravedad Especifica	1.52

\* Método ASTM D.

El producto cumple con la norma AWWA B 100 – 01 y NTC 2572.

**GRANULOMETRÍA**

- Tamaño Efectivo: Mínimo 0.80 mm – Máximo 1.20 mm
- Coeficiente de Uniformidad: 1.45 – 1.70

**CARACTERÍSTICAS**

La Antracita es procesada con carbón Antracita de los más altos índices de carbono fijo. Esta es seleccionada específicamente para tratamientos de aguas y durante su producción pasa por varias inspecciones de tamaño. Muestras representativas son elegidas al azar para un completo análisis de control de calidad en el laboratorio en cuanto a tamaño efectivo, coeficiente de uniformidad, peso específico, solubilidad al ácido y dureza.

**EMPAQUE**

Sacos de Polipropileno cocidos y pesados a 25 kg y 50 kg.

**ALMACENAMIENTO**

Debe almacenarse en un lugar seco y proteger el empaque del sol, la humedad y el agua.

**PRECAUCIÓN**

La Antracita no es un producto peligroso, sin embargo se recomienda utilizar protección respiratoria y para los ojos.

## Anexo 3. Especificaciones técnicas del carbón activado

## FICHA TECNICA DEL CARBÓN ACTIVADO DE ORIGEN MINERAL

### LOTE 0207- F

**Método de activación:** Vapor a alta temperatura.

**Materia prima:** Lignito (Mineral)

**Tamaño de grano** (mallas): polvo, 70, 32, 20, 16, 12, 9, 6, 4, 8x30 y 1 a 1 ½ mm., 12\* 40.

#### ESPECIFICACIONES 4CL -70H NORMA

- Densidad aparente (g/cc) 0-45-0.52: Norma ASTM 2854
- Área superficial específica (m<sup>2</sup>/g) 750: Norma BET H2
- Volumen de poro (cc(/g) 0.35-0.36
- PH en agua 8.0.-8.5
- Cenizas (%) Max. 12.0: Norma ASTM 2886
- Resistencia a la abrasión (%) 87: Norma ASTM 3802
- Humedad al empaque (%) Max. 3.5: Norma ASTM 2867
- Densidad aparente (mg 12/g): Norma 700 JIS
- Numero de Yodo: 800 mgI<sub>2</sub>/g CA min.

#### Granulometría:

Malla N° 6 = 3.36 mm

Malla N° 1 a 1 ½ mm = 2.00 mm

Malla N° 16 = .1.00 mm

Malla N° 100 = En polvo.

Malla 4x8 = Pasante malla 4 retiene 8

Malla N° 8-10 = 2 – 3 mm

#### Aplicación y usos:

El carbón Activado es utilizado principalmente en el tratamiento de aguas.

#### Características:

1. Adsorción
2. Deodorización

## Anexo 4. Especificaciones técnicas de la grava y gravilla

**FICHA TÉCNICA DE LA GRAVA Y GRAVILLA DE CANTO RODADO****ESPECIFICACIONES**

<b>PARAMETROS</b>	<b>VALOR</b>
Densidad de Masa No Compactada	1503 kg/m <sup>3</sup>
Solubilidad en HCL (20% peso, 24h)	0.90 %
Dureza (Escala Mohs)	7
Gravedad Especifica	2.62 %
Esfericidad	0.8 %
Perdida Por Ignición	0.31 %
Partículas Planas o Alargadas % Max	1.85 %

El producto cumple con la norma AWWA B 100 – 06 y NTC 2572.

**GRANULOMETRÍA**

<b>DISTRIBUCION DE TAMAÑOS</b>	
<b>PULGADAS</b>	<b>MILIMETROS</b>
2" – 1 ½"	50 - 38
1 ½" – 1"	38 - 25
1" – ½"	25 - 12
½" – ¼"	12 - 6
¼" – 1/8"	6 - 3
1/8" – 1/16" O M10	3 - 1.6

**CARACTERISTICAS**

Son agregados gruesos de soporte, la cual en una alta proporción de partículas tiene aristas redondeadas y tienden a tener una forma redonda. Por consiguiente, viene de depósitos aluviales. Se encuentra libre de arcilla, polvo, materiales orgánicos y micáceos. (NTC 2752)

**EMPAQUE**

Sacos de polipropileno cocidos y pesados a 25 kg y 50 kg.

**PRECAUCIÓN**

La Grava no es un producto peligroso, sin embargo se recomienda utilizar protección respiratoria y para los ojos.