



## **Institución Universitaria**

Evaluación de la cantidad, calidad fisicoquímica y microbiológica del agua lluvia para los potenciales usos domésticos. Caso de estudio: Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia.

Joan Amir Arroyave Rojas.

Instituto Tecnológico Metropolitano.  
Facultad de Ciencias Exactas y Aplicadas.  
Medellín, Colombia.

2019.

Evaluación de la cantidad, calidad fisicoquímica y microbiológica del agua lluvia para los potenciales usos domésticos. Caso de estudio: Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia.

Joan Amir Arroyave Rojas

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título en Magister Desarrollo Sostenible

Director (a):

Doctor Carlos Andrés Medina Restrepo

Línea de Investigación: Gestión Ambiental

Grupo de Investigación: Ambiente, Hábitat y Sostenibilidad

Instituto Tecnológico Metropolitano

Facultad de Ciencias Exactas y Aplicadas

Medellín, Colombia

2019

**Dedicatoria**

A la Vida y al Amor

A la primera, por la oportunidad de poder soñar, crear o simplemente realizar;

Al segundo, porque es la motivación, la energía y la entrega incondicional al otro.

## **Agradecimientos**

A mis hijos, Juan José Arroyave Quintero y María Isabel Arroyave Quintero, mis mejores maestros; de los cuales aprendo cada día más, de su inteligencia, fortaleza y amor; son la motivación para dar lo mejor de mí, sencillamente son mi vida y la representación en la tierra del verdadero amor.

A mis padres Juan de Dios Arroyave Monroy y Aura Ligia Rojas Mazo, y a mi hermanita Jorlady Astrith Arroyave Rojas; que siempre han sido el soporte y referentes para emprender nuevos proyectos y retos; por todas las expresiones de cariño y amor, además de ser incondicionales en todos los momentos de mi existencia.

A Carlos Andrés Medina Restrepo por dirigir este proyecto y acompañarme como tutor, compañero y amigo en todos los momentos complejos de este proceso.

A la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia por permitirme realizar este proyecto y ser feliz en todas las facetas que puedo desarrollar como docente, investigador, director de proyectos, directivo, ingeniero, entre otras.

Al Instituto Tecnológico Metropolitano – Institución Universitaria por el proceso de formación, los espacios, los recursos y la búsqueda permanente del conocimiento y la formación para continuar construyendo la sociedad que soñamos.

## Resumen

El agua es un recurso natural importante en el desarrollo de toda comunidad, El agua es un recurso natural importante en el desarrollo de toda comunidad, toda vez que se emplea en las diferentes actividades cotidianas, sin embargo, su uso está determinado por la disponibilidad y calidad; desde la perspectiva del desarrollo sostenible es importante buscar como disminuir los impactos ambientales, en este sentido, la búsqueda de fuentes alternativas de agua (Arroyave, Díaz, Vergara y Macías, 2011), como es el caso de la captación del agua lluvia (Cano, 2016), para lo cual se realizó la cuantificación de la disponibilidad de dicho recurso y su calidad para determinar los potenciales usos domésticos; de igual forma, el empleo del agua lluvia genera beneficios sociales y económicos; el agua lluvia es una fuente de agua económica debido a que se requieren instalaciones sencillas para su captación y conducción, que por lo general están instalados en todas las edificaciones; para el desarrollo de la esta investigación se instaló un sistema piloto de cosecha de agua lluvia en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia y se evaluó el potencial de captación, la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua lluvia, diferentes procesos para el acondicionamiento del deterioro de la calidad y en análisis económico de la implementación de uso de este recurso para la Institución. El agua lluvia captada en la Institución presenta un deterioro de la calidad fisicoquímico y microbiológica del agua lluvia asociado al proceso de arrastre y limpieza de partículas, heces, precipitaciones, entre otras que se presentan en las cubiertas; con el fin de mejorar la calidad del agua lluvia se evaluaron diferentes procesos físicoquímicos (coagulación, sedimentación y filtración) para remover la turbiedad presente en la misma; el proceso de coagulación con cloruro férrico obtuvo la mejor remoción de turbiedad con un 92.8% en promedio, alcanzando una turbiedad promedio de 0.80 UNT, concentración que cumple la normatividad nacional

(Resolución 2115, 2007); una vez clarificada el agua lluvia se puede someter a cualquier proceso de desinfección para potenciar los usos más exigentes como el consumo humano; por otro lado, potenciando el uso del agua lluvia en la Institución se puede lograr una reducción vía tarifa de servicios públicos de \$48.596.473 al año; debido a que potencialmente se podría sustituir el consumo de 10.036 m<sup>3</sup>/año por el agua lluvia. El uso del agua lluvia como fuente alternativa de agua (Decreto 0549, 2015) es una estrategia en el marco de la construcción sostenible (Decreto 1077, 2015) (Decreto 1285, 2015) y los Objetivos de Desarrollo Sostenible – ODS (ONU, 2015) que propenden por tener comunidades y ciudades sostenibles mejorando el desempeño ambiental de la sociedad y disminuyendo la demanda de bienes y servicios asociados al empleo del recurso hídrico.

**Palabras clave:** cosecha de agua lluvia, fuente alternativa de agua, calidad del agua lluvia, calidad fisicoquímica del agua lluvia, calidad microbiológica del agua lluvia, procesos de potabilización, construcción sostenible, sostenibilidad.

### **Abstract**

Water is an important natural resource in the development of every community, since it is used in different daily activities, however, its use is determined by availability and quality; From the perspective of sustainable development it is important to look for how to reduce environmental impacts, in this sense, the search for alternative water sources (Arroyave, Díaz, Vergara and Macías, 2011), as is the case of rainwater harvesting (Cano , 2016), for which the quantification of the availability of said resource and its quality was performed to determine the potential domestic uses; similarly, the use of rainwater generates social and economic benefits; rainwater is an economical source of water because simple facilities are required for collection and conduction, which are usually installed in all buildings; for the development of this investigation, a pilot rainwater harvesting system was installed in the I.U. Colegio

Mayor de Antioquia and the collection potential, the physicochemical and microbiological quality of rainwater, different processes for conditioning the deterioration of quality and in economic analysis of the implementation of use of this resource for the Institution were evaluated. Rainwater collected in the Institution shows a deterioration in the physicochemical and microbiological quality of rainwater associated with the process of dragging and cleaning of particles, feces, precipitation, among others that occur on the roofs; in order to improve the quality of rainwater, different physical-chemical processes (Coagulation, sedimentation and filtration) were evaluated to remove the turbidity present in it; the process of coagulation with ferric chloride obtained the best turbidity removal with an average 92.8%, reaching an average turbidity of 0.80 UNT, a concentration that complies with national regulations (Resolution 2115, 2007); once the rainwater has been clarified, it can be subjected to any disinfection process to enhance the most demanding uses such as human consumption; on the other hand, by promoting the use of rainwater in the Institution, a reduction can be achieved via a public service fee of \$ 48,596,473 per year; because the consumption of 10,036 m<sup>3</sup>/year could potentially be replaced by rainwater. The use of rainwater as an alternative source of water (Decree 0549, 2015) is a strategy in the framework of sustainable construction (Decree 1077, 2015) (Decree 1285, 2015) and the Sustainable Development Goals - SDG (UN, 2015) that tend to have sustainable communities and cities by improving the environmental performance of society and decreasing the demand for goods and services associated with the use of water resources.

**Keyword:** Harvest of rainwater, Alternative source of water, Quality of rainwater, Physicochemical quality of rainwater, Microbiological quality of rainwater, Purification processes, Sustainable construction, Sustainability

## Contenido

<b>1. Capítulo 1 Introducción.....</b>	<b>12</b>
1.1 Planteamiento del problema.....	13
1.2 Justificación .....	14
1.3 Marco teórico .....	16
1.3.1 Construcción sostenible.....	16
1.3.2 El recurso hídrico.....	17
1.3.3 Captación de Agua Lluvia.....	18
1.3.4 Calidad del Agua Lluvia.....	19
1.3.5 Aprovechamiento del agua lluvia .....	21
1.4 Objetivo General .....	22
1.4.1 Objetivos específicos .....	22
<b>2 Capítulo 2. Metodología.....</b>	<b>23</b>
2.1 Captación de aguas lluvias .....	23
2.2 Caracterización fisicoquímica y microbiológica de aguas lluvias.....	27
2.3 Evaluación de los potenciales usos domésticos y procesos de tratamiento o adecuación del agua lluvia en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia. ....	29
2.4 Evaluación económicamente los sistemas de captación y tratamiento del agua lluvia para los potenciales usos en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia.....	32
<b>3 Capítulo 3. Análisis de Resultados.....</b>	<b>33</b>
3.1 Potencial de captación de agua lluvia en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia.....	33
3.2 Calidad fisicoquímica y microbiología del agua lluvia captada mediante un sistema piloto.....	36
3.3 Evaluación de procesos de tratabilidad del agua lluvia en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia .....	49
<b>4 Conclusiones .....</b>	<b>59</b>
<b>5 Recomendaciones .....</b>	<b>61</b>
<b>6 Bibliografía .....</b>	<b>62</b>



## Lista de Tablas

Tabla 1 Ubicación estaciones meteorológica para Medellín .....	24
Tabla 2 Precipitación histórica mensual para la estación meteorológica La Iguana.....	25
Tabla 3 Proyección de captación de agua lluvia en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia .....	35
Tabla 4 Análisis económico de la captación de agua lluvia en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia. ....	35
Tabla 5 Determinación de parámetros fisicoquímicos al agua lluvia en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia. ....	37
Tabla 6 Determinación de parámetros fisicoquímicos al agua lluvia en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia. ....	40
Tabla 7 Determinación de parámetros microbiológicos al agua lluvia en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia.....	45
Tabla 8 Análisis fisicoquímico del agua lluvia recolectada en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia .....	48
Tabla 9 Determinación de dosis optima de coagulante para los ensayos de tratabilidad del agua lluvia con sulfato de aluminio y cloruro férrico .....	51
Tabla 10 Evaluación de la remoción de turbiedad empleando el proceso físico de la sedimentación en el agua lluvia captada en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia.....	54
Tabla 11 Evaluación de la remoción de turbiedad empleando el proceso físico de la filtración en el agua lluvia captada en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia .....	56
Tabla 12 Remoción promedio de turbiedad presente en el agua lluvia mediante diferentes procesos fisicoquímicos .....	58

**Lista de Gráficas**

Gráfica No 1 pH del agua lluvia captada en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia .....	41
Gráfica No 2 Turbiedad del agua lluvia captada en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia.....	41
Gráfica No 3 Conductividad eléctrica del agua lluvia captada en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia .....	42
Gráfica No 4 Alcalinidad del agua lluvia captada en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia.....	43
Gráfica No 5 Resultados de remoción de turbiedad en los ensayos de coagulación con sulfato de aluminio.....	52
Gráfica No 6 Resultados de remoción de turbiedad en los ensayos de coagulación con cloruro férrico.....	52
Gráfica No 7 Comparación de remoción de turbiedad en los ensayos de coagulación con cloruro férrico y sulfato de aluminio .....	53
Gráfica No 8 Resultados de remoción de turbiedad en los ensayos de sedimentación .....	55
Gráfica No 9 Resultados de remoción de turbiedad en los ensayos de filtración .....	57
Gráfica No 10 Comparación de Resultados de remoción de turbiedad en los ensayos de tratabilidad del agua lluvia en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia. ....	57
Gráfica No 11 Remoción promedio de turbiedad presente en el agua lluvia mediante diferentes procesos fisicoquímicos .....	58

## Lista de Imágenes

Imagen 1 Ubicación estaciones meteorológicas para Medellín.....	24
Imagen 2 Sistema de captación de agua lluvia en la I.U Colegio Mayor de Antioquia .	26
Imagen 3 Detalle de reservorios de 1 m <sup>3</sup> cada uno para el almacenamiento de agua lluvia en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia .....	26
Imagen 4 Planta de cubiertas I.U. Colegio Mayor de Antioquia.....	27
Imagen 5 Análisis de alcalinidad, muestra de agua lluvia recolectada en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia.....	28
Imagen 6 Test de jarra, Ensayo de coagulación para la tratabilidad del agua lluvia captado en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia.....	31
Imagen 7 Cono Imhoff, Ensayo de sedimentación para la tratabilidad del agua lluvia captado en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia.....	32
Imagen 8 Ensayo de filtración para la tratabilidad del agua lluvia captado en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia .....	33
Imagen 9 Test de jarra, Ensayo de coagulación con sulfato de aluminio para la tratabilidad del agua lluvia captado en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia .....	49
Imagen 10 Test de jarra, Ensayo de coagulación con cloruro férrico para la tratabilidad del agua lluvia captado en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia .....	50
Imagen 11 Formación de floculos, Ensayo de coagulación con cloruro férrico para la tratabilidad del agua lluvia captado en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia .....	50
Imagen 12 Ensayo de sedimentación para la tratabilidad del agua lluvia captado en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia.....	53
Imagen 13 Ensayo de filtración para la tratabilidad del agua lluvia captado en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia .....	56

## **1. Capítulo 1 Introducción**

Esta investigación realiza aportes en el marco de los Objetivos de Desarrollo Sostenible – ODS de la ONU, contribuyendo a la generación de conocimiento asociados a los siguientes objetivos: Agua limpia y saneamiento, ciudades y comunidades sostenibles, producción y consumo responsables y acción por el clima (ONU, 2015); toda vez, que el potenciar el aprovechamiento del agua lluvia como fuente alternativa de recursos hídrico contribuye en algún grado a mejorar el desempeño ambiental de las comunidades y la sociedad en general.

Adicionalmente, el crecimiento de las urbes y el modo de construcción de las mismas conlleva a una significativa demanda de bienes y servicios ambientales (Granero, Ferrando, Sánchez y Pérez, 2015) por la necesidad de suministrar alimentos, uso del suelo, energía, agua, entre otros (Bedoya, 2011) (Bedoya, 2015); esta investigación aporta a disminuir la demanda de agua, planteando la posibilidad de aprovechamiento de una fuente alternativa, como lo es el agua lluvia; para tal fin, fue importante evaluar su cantidad, y calidad fisicoquímica y microbiológica con el propósito de verificar los potenciales usos domésticos en un contexto institucional (Caso de estudio: I.U. Colegio Mayor de Antioquia), en este acercamiento se evaluó la cantidad y calidad del agua en el centro occidente de la ciudad de Medellín; lugar donde se encuentra la Institución y el sistema piloto de captación de agua lluvia.

Por otro lado, el crecimiento de las ciudades requiere de una demanda y uso del suelo para su edificación y configuración, que genera una mayor área construida, que por lo general es impermeable, esto facilita la concentración en un menor tiempo de las aguas pluviales y dificulta el drenaje de las mismas (Stedinger, 2012) (Douglas, Alam,

Maghenda, McDonnell, McLean y Campbell, 2008); a medida que la ciudad avanza y crece, este tipo de problemáticas se ven agudizadas por fenómenos más severos de precipitación, esto asociado a la variabilidad climática que se presenta, debido al cambio climático (Alam, Siwar, Jaafar y Talib, 2016); provocan incremento en la precipitación, mayor escorrentía, avenidas torrenciales, inundaciones (Douglas *et al*, 2008) y en algunos casos la anegación de las zonas bajas de las ciudades. Sin embargo, realizando la captación del agua lluvia y valorando los potenciales usos, se contribuye a disminuir la problemática de avenidas torrenciales e inundaciones (Stedinger, 2012), además de darle un valor agregado por su potencial uso; de esta forma, trae consigo diferentes beneficios sociales y económicos, al evitar pérdidas materiales y humanas por los fenómenos de vulnerabilidad y gestión del riesgo, y los beneficios económicos al emplear una fuente alternativa de agua de bajo costo para los consumos domésticos (Arroyave y Garcés, 2007) (Arroyave *et al*, 2011), disminuyendo la demanda de bienes y servicios ambientales como el agua de los ecosistemas aledaños a la ciudad.

### **1.1 Planteamiento del problema**

Los usos irracionales del agua conllevan a un sin número de impactos ambientales, desequilibrios ecológicos (Rahel y Olden, 2008), pérdida de biodiversidad, problemáticas de deforestación y desertización, disminución de la oferta ambiental del recurso hídrico, contaminación de las fuentes de agua, entre otras problemáticas (Bedoya, 2011), el presente proyecto de investigación genera aportes para tratar de disminuir algunos de estos impactos desde el conocimiento y el desarrollo investigativo de programas de producción más limpia al interior de las edificaciones (Arroyave y Garcés, 2007) (Cano, 2016) (NTC 1500, 2004); de esta forma, se busca potenciar la solución de problemáticas del recurso hídrico a nivel local y regional; para

el desarrollo del presente proyecto se empleó un sistema piloto de captación de agua lluvia ubicado en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia (Arroyave *et al*, 2011).

De este modo, se contribuye a mejorar el desempeño ambiental de la Institución (Arroyave y Garcés, 2007), la disminución de los impactos ambientales y la demanda del recurso hídrico (Bedoya, 2007), por lo tanto, se evaluó la cantidad, la calidad del agua lluvia y los potenciales usos domésticos para plantear una posible fuente alternativa y programas de ahorro y uso eficiente de recurso hídrico (Decreto 0549, 2015) (Decreto 1285, 2015) (Arroyave *et al*, 2011) (Bedoya, 2011). De esta forma, se puede reducir el suministro y abasto de agua potable (Cano, 2016) (NTC 1500, 2004), disminución del vertimiento de aguas servidas, disminución de los costos económicos que asume la Institución vía tarifa de acueducto y potenciar una fuente alternativa de suministro de agua (Arroyave *et al*, 2011) (Palacio, 2010) (CEPIS, 2001).

## **1.2 Justificación**

De forma particular, este proyecto se realizó en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia con el fin de aportar a mejorar el desempeño ambiental de la Institución y su sistema de gestión ambiental; la evaluación de la calidad del agua lluvia busco determinar sus características (Daoud, Swaileh, Hussein y Matani, 2011) (Ahmed, Goonetilleke y Gardner, 2010) (Ahmed, Gardner y Toze, 2011) (Ahmed, Hodgers, Sidhu y Toze, 2012) y su potencial uso doméstico e institucional en el caso de estudio mencionado anteriormente, este aspecto genera un valor agregado asociado a la determinación de los usos; toda vez que complementa el estudio de evaluación económica de la captación del agua lluvia realizado en el año 2010 – 2011 (Arroyave *et al*, 2011) en donde se determinó que el empleo de dicha estrategia de construcción

sostenible (Decreto 1285, 2015) (Bedoya, 2011) puede generar un ahorro aproximado mensual de \$768.250; lo que conlleva a una valoración económica del proyecto; además, el lograr determinar la calidad del agua genera un valor agregado de los posibles usos, toda vez que posibilita un uso institucional del agua.

Por todo lo anterior, el proyecto de investigación de la evaluación de la cantidad, calidad fisicoquímica y microbiológica del agua lluvia para los potenciales usos domésticos contribuye a mejorar el desempeño ambiental y a fortalecer las estrategias de desarrollo sostenible, gestión ambiental y del riesgo en un contexto de ciudad, debido a que plantea la captación de una fuente alternativa de agua, transformándola en una tecnología ambientalmente amigable con el ambiente (Arroyave y Garcés, 2007), de igual forma, realiza una valoración del agua lluvia para satisfacer las necesidades de agua para consumo doméstico de la Institución; sugiere la mitigación y adaptación a los fenómenos asociados de la variabilidad climática provocada por el cambio climático; transformándose en un mecanismo de resiliencia ambiental, económica y social para un contexto de ciudad.

Adicionalmente, se realizó la evaluación de diferentes procesos fisicoquímicos de potabilización como coagulación, floculación, sedimentación y/o filtración, que facilita diferentes estrategias para su uso por parte de la comunidad académica y la Institución; de esta forma, se alcanzan impactos positivos en lo ambiental, social y económico para la Institución asociado al desarrollo de este proyecto de investigación.

### **1.3 Marco teórico**

A partir de la reunión de Marrakech impulsada por la Organización de Naciones Unidas (ONU) (Bedoya, 2007), se busca mejorar el desempeño ambiental de los sectores productivos, para lo cual se han desarrollado estrategias como la Producción Más Limpia – PML que han trabajado sobre los temas de la ecoeficiencia, la contaminación y la acelerada pérdida de recursos naturales, lo que constituye un indicador de ineficiencias en la producción y en el uso de productos y servicios. En la medida en que estas ineficiencias sean evitadas a través de la instrumentación de alternativas preventivas, los sectores mejoran su desempeño ambiental y al hacerlo obtienen beneficios económicos (Arroyave y Garcés, 2007).

#### **1.3.1 Construcción sostenible**

La construcción sostenible son las alternativas de gestión ambiental, la arquitectura, la ingeniería y la construcción para hacer el ejercicio de la actividad constructiva más amigable con el ambiente, propendiendo por hacer que las construcciones sean más eficientes en el uso y requerimiento de los recursos empleados para el desarrollo de las edificaciones y construcciones en general (Bedoya, 2011); además de buscar disminuir los impactos ambientales de las salidas del sistema como los Residuos de Construcción y Demolición – RCD's (Bedoya, 2015), vertimientos, consumos energéticos (Bedoya, 2007), entre otros para mejorar las condiciones de calidad de vida de las comunidades y la sociedad.

Otro concepto de construcción sostenible asociado a la normatividad nacional, es el conjunto de medidas pasivas y activas, en diseño y construcción de edificaciones, que permitan alcanzar los porcentajes mínimos de ahorro de agua y energía señalados en la resolución 0549 de 2015, encaminada al mejoramiento de la calidad de vida de sus



habitantes y al ejercicio de actuaciones de responsabilidad ambiental y social (Resolución 0549, 2015) (Ministerios de Vivienda, ciudad y territorio, 2015)

### **1.3.2 El recurso hídrico**

El agua es una necesidad básica muy importante para los humanos, donde solamente el 3% de los recursos de agua de la tierra son agua fresca y el 97% restante es agua en océanos, la cual no es bebible. El 3% de agua fresca disponible en la tierra está distribuida así: 79% se encuentra en casquetes y glaciares; 29% está disponible como agua subterránea y sólo el 1% del agua fresca está disponible fácilmente (Ministerios de Vivienda, ciudad y territorio, 2015).

El agua es uno de los recursos naturales renovables más importantes para el desarrollo de la humanidad, es el elemento fundamental para las funciones metabólicas de los seres vivos. Históricamente, se ha trabajado sobre el tema del agua realizando gestión sobre su calidad y previniendo, gestionando o tratando el grado de contaminación (Arroyave y Garcés, 2007) (Gonzales *et al*, 2010) que puede presentar un cuerpo de agua o un vertimiento (Decreto 1575, 2007) (Resolución 2115, 2007); sin embargo, en la actualidad se pone de manifiesto la necesidad de gestionar la disponibilidad y la calidad del recurso hídrico asociada está a diferentes problemáticas ambientales como la deforestación, cambio en los usos del suelo, incremento en la demanda de agua, cambio climático, etc. De acuerdo a lo anterior, se requiere de un cambio cultural y en la forma de producción que reoriente los patrones insostenibles de producción y consumo por parte de los diferentes sectores de la sociedad, lo que contribuiría a reducir la contaminación, conservar los recursos, favorecer la integridad ambiental de los bienes y servicios, y estimular el uso sostenible de la biodiversidad y los ecosistemas, que a su vez contribuiría a mejorar la competitividad empresarial

(Ministerio de vivienda, ambiente y desarrollo territorial, 2010) y de la calidad de vida (Arroyave y Garcés, 2007).

Existente diferentes fuentes de agua las cuales se clasifican de acuerdo a su ubicación como lo son fuentes superficiales y subterráneas; para las primeras a su vez, se clasifican de acuerdo a su hidráulica como fuentes loticas, que son las que poseen movimiento, entre las cuales tenemos los ríos, quebradas, riachuelos, entre otro; y las lenticas o de quietud, como los lagos, lagunas, embalses, entre otros; adicionalmente está el agua lluvia que complementa el ciclo hidrológico; esta fuente de agua ha sido empleada durante la historia como una fuente de fácil y económico acceso; debido a que toda unidad habitacional posee un techo o cubierta, lo que favorece su captación o cosecha para la recolección del agua para diferentes usos.

El agua lluvia proviene de los procesos de precipitación, para el caso de nuestro contexto tropical, se genera una precipitación por lo general líquida, lo que facilita su captación, recolección y almacenamiento; el sistema es sencillo en el orden que el elemento más importante de dicho sistema es la cubierta o techo para la cosecha o captación de agua, y que toda vivienda posee una; posteriormente, se realiza el transporte del agua recolectada y se almacena en diferentes estructuras o equipamientos como reservorios para regular el volumen de agua que se puede almacenar durante las temporadas de lluvia.

### **1.3.3 Captación de Agua Lluvia**

La captación de agua de lluvia es un medio fácil de obtener agua para consumo humano y/o uso agrícola (Palacio, 2010) (CEPIS, 2001) (Arroyave *et al*, 2011). En muchos lugares del mundo con alta o media precipitación y en donde no se dispone de agua en cantidad y/o calidad necesaria para consumo humano, se recurre al agua de

lluvia como fuente de abastecimiento (Arroyave *et al*, 2011) (Silvero, Hoyos, y Ocaña, 2012); el agua de lluvia es interceptada, recolectada y almacenada en depósitos para su posterior distribución y empleo de acuerdo a los usos para los cuales se disponga. En la captación del agua de lluvia con fines domésticos se acostumbra a utilizar la superficie de la planta de techos para la captación, esto contribuye a minimizar la contaminación del agua por la cercanía para el consumo (Cano, 2016). Adicionalmente, los excedentes de agua pueden ser empleados en pequeñas áreas verdes para la producción de algunos alimentos que puedan complementar su dieta; la captación del agua para uso agrícola necesita de mayores superficies de captación, por lo que se requiere de extensas superficies impermeables para recolectar la mayor cantidad posible de agua, todo esto asociado a una mayor demanda de agua dependiendo de los requerimientos de los cultivos que se desean abastecer por esta fuente (Silvero, Hoyos, y Ocaña, 2012).

De esta forma, se realiza un análisis para la implementación de un sistema de captación de agua lluvia como fuente alternativa en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia, que sin duda alguna conlleva a mejorar el desempeño ambiental de la edificación asociado al recurso hídrico y a la implementación de programas de producción más limpia mediante la incorporación de tecnologías amigables con el ambiente o ambientalmente sostenible (Arroyave y Garcés, 2007), al incorporar el aprovechamiento de recursos (Cano, 2016) y fuentes alternativas de los mismos (Arroyave *et al*, 2011).

#### **1.3.4 Calidad del Agua Lluvia**

A nivel mundial ha existido una preocupación por la calidad del agua para consumo, toda vez que la misma delimita sus usos, en el caso de la fuente alternativa del agua lluvia, se presentan estudios que determinan la importancia de la

contaminación fisicoquímica (Daoud *et al*, 2011) y la inocuidad de la misma para determinar su empleo (Ahmed, Goonetilleke y Gardner, 2010) (Ahmed, Gardner y Toze, 2011) (Ahmed *et al*, 2012); en zonas industriales y de ciudad se presentan concentraciones de diversos contaminantes que son arrastrados por la lluvia o la escorrentía que se presenta en la cubiertas de las edificaciones y que terminan disueltas o suspendidas en el agua.

Desde esta perspectiva toma importancia la necesidad de evaluar la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua lluvia con el fin de determinar los posibles usos asociados a su calidad, o de ser el caso, realizar la adecuación, procesos o tratamiento del agua lluvia para alcanzar los estándares requeridos para los usos domésticos, entre los procesos típicos de tratamiento y potabilización del agua están la coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección (Marín, 2003) (Arboleda, 2000); los cuales buscan lograr la calidad del agua adecuada para su consumo, incluyendo la ingesta; la cual es el uso más delicado, toda vez que implica la inocuidad del agua y la preservación de la salud e incluso la vida de las personas; debido a que por el factor de calidad del agua desde la perspectiva microbiológica se pueden transmitir enfermedades de origen hídrico como el cólera (Keller, Justino y Cassini, 2013), desinteria bacteriana, entre otras enfermedades (Bellido, Barcellos, Barbosa y Bastos, 2010) (Ahmed, Goonetilleke y Gardner, 2010); que pueden perjudicar el desarrollo de una población o comunidad; generando problemáticas de salud pública (Granero, Ferrando, Sánchez y Pérez, 2015) (Arboleda, 2000).

Por todo lo anterior, la determinación de la calidad del agua lluvia y la verificación de la misma después de realizar procesos de potabilización, es importante a la luz de la normatividad nacional (Decreto 1575, 2007) (Resolución 2115, 2007); con el fin de prevenir la ocurrencia de eventos de morbilidad y/o mortalidad por enfermedades de origen hídrico (Granero, Ferrando, Sánchez y Pérez, 2015) (Arboleda, 2000).

### **1.3.5 Aprovechamiento del agua lluvia**

El agua lluvia es una fuente alternativa de recurso hídrico de fácil acceso y aprovechamiento, el cual se ve condicionado a su disponibilidad y calidad; en la normatividad nacional se definen diferentes usos para el agua consumo humano y doméstico, preservación de flora y fauna, agrícola, pecuario, recreativo, industrial, estético, pesca, maricultura y acuicultura, y navegación y transporte acuático (Decreto 3930, 2010); sin embargo, esta clasificación de usos es general de acuerdo a los requerimientos de los renglones de la economía nacional; otro autores planean otro tipo de usos del agua como domésticos y productivos, sanitarios y de higiene, protección de cuencas, soberanía alimentaria, conservación de suelos, recarga de acuíferos, preservación de ecosistemas estratégicos, prevención de desastres y estrategias de reconstrucción después de los desastres y usos simbólicos, lúdicos y sagrados (Pacheco, 2008).

Existe en la literatura investigaciones que plantea usos agrícolas, pecuarios, domésticos (Ospina-Zuñiga y Ramírez-Arcila, 2010) y no domésticos (Cano y Bedoya, 2010) (Cano, 2016) al agua lluvia para sus diferentes aplicaciones, haciendo mayor énfasis en riego, procesos de limpieza, descarga de sanitarios, aseo en general, entre otros (Pacheco, 2008); de igual forma, existen tendencias a emplear el agua lluvia como

fuelle de abastecimiento a pequeñas comunidades (Arango y Flórez, 2012), considerando la adecuación de la calidad del agua para que esta sea potable y de esta forma, no se limite su uso (Hernández, 2017) (Bedoya, 2011) (Cano, 2016).

En el análisis de potenciales usos del agua lluvia en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia, al ser una institución de educación se plantean usos similares a los domésticos (Cano y Bedoya, 2010) (Cano, 2016) (Palacio, 2010), aunque su distribución puede ser diferente; toda vez que los consumos asociados a la preparación de alimentos, lavado, entre otros, no son estrictamente similares a los de una vivienda.

#### **1.4 Objetivo General**

Evaluar la captación y calidad fisicoquímica y microbiología del agua lluvia y sus potenciales usos domésticos en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia

##### **1.4.1 Objetivos específicos**

- Cuantificar el potencial de captación del agua lluvia para las instalaciones de la I.U. Colegio Mayor de Antioquia.
- Determinar la calidad fisicoquímica y microbiología del agua lluvia captada mediante un sistema piloto.
- Evaluar los potenciales usos domésticos y procesos de tratamiento o adecuación del agua lluvia para los potenciales usos en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia.
- Evaluar económicamente los sistemas de captación y tratamiento del agua lluvia para los potenciales usos en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia.

## 2 Capítulo 2. Metodología

Para el desarrollo del proyecto se levantó información secundaria asociada a consumos de agua potable y descarga de agua residual en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia; al igual, se construyó un sistema piloto para la captación o cosecha de agua lluvia y la recolección de las muestras para su posterior análisis fisicoquímico y microbiológico (APHA – AWWA - WPCF, 1992) (Marín, 2003); además de los ensayos y pruebas de potabilidad; además, se definieron los potenciales usos de agua en la Institución; a continuación se describen con mayor precisión los materiales, métodos, equipos y metodología empleada para la adquisición de la información para evaluar la captación y calidad fisicoquímica y microbiología del agua lluvia y sus potenciales usos domésticos en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia.

### 2.1 Captación de aguas lluvias

El desarrollo experimental del proyecto consto de la instalación de un sistema piloto para la captación de aguas lluvias, con un área aferente de captación de agua lluvia, en una de las cubiertas de techo de la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, correspondiente a 30 m<sup>2</sup>; posteriormente, se instaló el sistema piloto para la captación de agua lluvia, compuesto de dos tanques plásticos con una capacidad de 1000 L cada uno, interconectados por una tubería de una pulgada de diámetro (ver Imagen No 2 y 3); la instalación se complementó llevando todos bajantes de cuatro pulgadas de la red de agua lluvia del área definida a los reservorios antes mencionados (Arroyave *et al*, 2011), en este sistema se evaluó el potencial de captación del agua lluvia de las cubiertas de la Institución; para lo cual se empleó información histórica hidrometeorológica para la ciudad de Medellín (IDEAM, 2019) para calcular el potencial de captación de agua lluvia en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia.

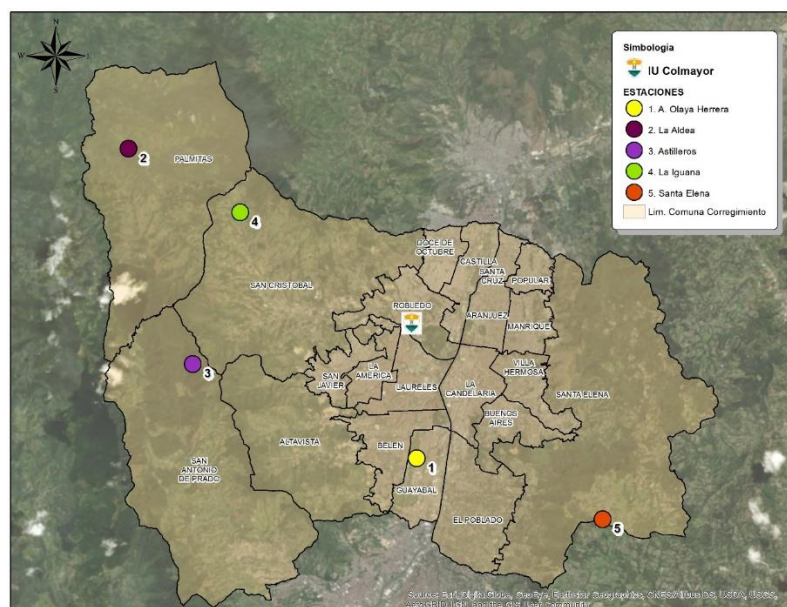
En la tabla No1 se consigna la ubicación de las estaciones meteorológicas que se encuentran registradas por el IDEAM para la ciudad de Medellín; como se puede apreciar en la imagen No 1 la estación La Iguana está en la zona de influencia de la I.U. Colegio Mayor de Antioquia; por tal razón, la información meteorológica para el parámetro de precipitación mensual empleada fue la de esta estación.

**Tabla 1 Ubicación estaciones meteorológica para Medellín**

Nombre Estación Meteorológica	Elevación (msnm)	Longitud	Latitud
Aeropuerto Olaya Herrera	1490	75°35'20.3"W	6°13'14.2"N
La Aldea	1638	75°42'3.1"W	6°20'27.6"N
Astilleros	2450	75°40'33.1"W	6°15'26.3"N
La Iguana	2300	75°39'27.1"W	6°18'58.6"N
Santa Helena	2550	75°31'0.3"W	6°11'48.8"N

Fuente: IDEAM, 2019. Recuperado: <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/clima>

**Imagen 1 Ubicación estaciones meteorológicas para Medellín**



Fuente: Autor



En la tabla No 2 se consigna la información de precipitación histórica mensual y cantidad de días de lluvia para la estación La Iguana acorde a la información que reporta el IDEAM para dicha estación.

**Tabla 2 Precipitación histórica mensual para la estación meteorológica La Iguana**

Mes	Precipitación Mensual (mm)	Número de Días de Lluvia
Enero	80,6	8
Febrero	87,3	10
Marzo	157,0	14
Abril	233,7	18
Mayo	243,4	18
Junio	178,0	16
Julio	133,9	15
Agosto	131,9	15
Septiembre	228,5	18
Octubre	287,9	20
Noviembre	252,6	18
Diciembre	121,5	11
Anual	2129,5	180

Fuente: IDEAM, 2019. Recuperado: <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/clima>

En la imagen No 2 se observa el sistema piloto construido para la captación o cosecha de agua lluvia en la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, con el fin de poder recolectar agua lluvia y poder evaluar la calidad fisicoquímica y microbiológica de la misma.

En la imagen No 3 se detalla los reservorios o tanque donde se almaceno el agua lluvia cosechada o captada unidos entre sí por una tubería de una pulgada de diámetro.

De igual forma, en la imagen No 4 se observa la planta de techos y cubiertas de los diferentes edificios que configuran la infraestructura de la I.U. Colegio Mayor de Antioquia con un área total de 4698 m<sup>2</sup>, superficie aferente para la captación o cosecha potencial del agua lluvia.

**Imagen 2 Sistema de captación de agua lluvia en la I.U Colegio Mayor de Antioquia**



Fuente: Autor

**Imagen 3 Detalle de reservorios de 1 m<sup>3</sup> cada uno para el almacenamiento de agua lluvia en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia**



Fuente: Autor

### Imagen 4 Planta de cubiertas I.U. Colegio Mayor de Antioquia



Fuente: Autor

## 2.2 Caracterización fisicoquímica y microbiológica de aguas lluvias

La calidad de agua lluvia recolectada se evaluó de acuerdo a la metodología definida en los Análisis de Aguas y Aguas Residuales (APHA – AWWA - WPCF, 1992) (Marín, 2003) a la cual se le cuantificaron los parámetros de turbiedad, conductividad eléctrica, pH y alcalinidad (Imagen 5 cambio de color en la valoración de la alcalinidad) acordes a la norma de calidad de agua para consumo (Resolución 1575, 2007) (Decreto 1575, 2007). El periodo de recolección de datos de calidad del agua lluvia estuvo comprendido entre los meses de agosto de 2017 y marzo de 2019, en total se analizaron fisicoquímicamente 109 muestras de agua lluvia en dicho periodo; adicionalmente, se evaluaron parámetros fisicoquímicos a dos muestras de agua al comienzo de la temporada de lluvias entre el mes de febrero y marzo de 2019, considerando que a comienzo de estas temporadas se presentan las condiciones más desfavorables de calidad de agua, toda vez, que durante la época de sequía se genera la llegada de material particulado a las cubiertas que deteriora de forma significativa la calidad del agua lluvia; se tomaron dos muestras puntuales, el 20 de febrero y 1 de

marzo de 2019; para determinar los parámetros de calidad del agua a los parámetros de turbiedad, color aparente, pH, alcalinidad (ver Imagen 5 cambio de color en la valoración de la alcalinidad), dureza total, cloruros, sulfatos, hierro, nitratos, y algunos metales pesados referenciados en la literatura y que revisten importancia sanitaria y sobre la salud, como cadmio, aluminio, plomo y zinc (Arboleda, 2000) (APHA – AWWA - WPCF, 1992); estas muestras fueron analizadas en un laboratorio externo acreditado por el IDEAM para dar validez a los resultados obtenidos.

En la imagen 5 se observa la valoración de la alcalinidad en una muestra de agua lluvia, como se aprecia hay una diferencia de color del colorante verde de bromocresol, la muestra original tiene un color azul y posterior a la adición de ácido sulfúrico 0.02N vira a un color verde, el cual indica que la valoración de la alcalinidad se ha agotado.

**Imagen 5 Análisis de alcalinidad, muestra de agua lluvia recolectada en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia.**



Fuente: Autor

Por otro lado, se evaluaron parámetros microbiológicos de forma periódica para determinar el deterioro de la calidad microbiológica del agua lluvia, debido al contacto de la misma con la superficie de captación y poder cuantificar el grado de contaminación microbiológica que determina si el agua lluvia era apta para consumo

humano acorde a la normatividad nacional (Decreto 1575, 2007) (Resolución 2115, 2007). Los parámetros microbiológicos que se analizaron fueron Coliformes totales, mesofilos, coliformes fecales, enterococcus faecales y pseudomonas aeruginosa (Arboleda, 2000) (APHA – AWWA - WPCF, 1992) (Marín, 2003).

### **2.3 Evaluación de los potenciales usos domésticos y procesos de tratamiento o adecuación del agua lluvia en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia.**

Para definir los potenciales usos del agua lluvia se tuvo presente la normatividad ambiental vigente en el país (Decreto 3930, 2010) y los usos que se le da al agua en el país; sin embargo, se realizó el análisis a nivel de la Institución para su empleo.

Se realizó la toma de muestras de aproximadamente 40 litros de agua lluvia, volumen suficiente para realizar todos ensayos de tratabilidad de coagulación, sedimentación y filtración; previa agitación del agua recolectada para tener una muestra homogénea y que tuviera las características representativas del agua lluvia recolectada.

Se evaluaron diferentes procesos físicos y químicos para determinar la necesidad del acondicionamiento del agua lluvia, con el fin de ser empleada en todos los posibles usos, tratando de obtener un agua de característica similares a la potable, es decir, para que no hubiera restricción en el uso para consumo humano que es el más exigente, asociados a la posibilidad de transmisión de enfermedades de origen hídrico; para lo cual se evaluó la coagulación, sedimentación y filtración (Arboleda, 2000) (Romero, 2013), considerando que el deterioro del agua lluvia se provoca por la presencia de color, turbiedad y deterioro microbiológico (Arboleda, 2000) (Romero, 2013) (Granero, Ferrando, Sánchez y Pérez, 2015). Para cada uno de los procesos evaluados se realizaron 12 ensayos de trazabilidad en diferentes fechas considerando la variabilidad

de la calidad del agua lluvia en lo relacionado a la turbiedad, que fue el parámetro definido para determinar la eficiencia en la remoción de las impurezas presentes en el agua lluvia.

El proceso de coagulación se realizó variando el tipo de coagulante entre los dos coagulantes más empleados y presentes en el mercado, los cuales fueron el sulfato de aluminio ( $\text{Al}_3(\text{SO}_4)_2$ ) y el cloruro férrico ( $\text{FeCl}_3$ ) (Arboleda, 2000) (Romero, 2013), además de variar la concentración de coagulante en un rango de 10 a 60 mg/L para cada uno de los coagulantes empleados; al comienzo se realiza la caracterización del agua lluvia determinando los parámetros de turbiedad, pH y alcalinidad con el fin de cuantificar su calidad inicial y los parámetros para un adecuado proceso de coagulación, en este aparte teniendo en cuenta la baja concentración de alcalinidad que presenta el agua lluvia, se adiciono 40 mg/L de hidróxido de calcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) para favorecer la reacción de coagulación con el fin de desestabilizar las partículas que generan color y turbiedad en el agua lluvia; el proceso se realizó en un test de jarras (Imagen No 6) en el cual se utilizaron 6 jarras de dos litro de capacidad; se adiciono un litro de agua lluvia y se dosifico el hidróxido de calcio, y el coagulante a cada jarra en el rango indicado anteriormente en un proceso de mezcla rápida a 100 RPM en el test de jarra durante un minuto, luego se realizó el proceso de mezcla lenta o floculación a 30 RPM durante 10 minutos (Arboleda, 2000) (Romero, 2013), con el fin de favorecer la conformación y aglomeración de los floculos de las partículas que trasmiten color y turbiedad al agua; posteriormente, se dejaron las jarras en completa quietud durante 10 minutos, simulando el proceso de sedimentación, para la remoción de las partículas conformadas; luego de este proceso simulando el tren de tratamiento de una planta de potabilización de agua, se tomaron muestras del sobre nadante de las jarras para determinar la turbiedad final

del agua y poder evaluar la eficiencia en la remoción de la turbiedad del agua tratada (Arboleda, 2000) (Romero, 2013).

**Imagen 6 Test de jarra, Ensayo de coagulación para la tratabilidad del agua lluvia captado en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia**



Fuente: Autor

Otro de los procesos físicos evaluados para la adecuación de la calidad del agua lluvia fue la sedimentación (Arboleda, 2000) (Romero, 2013), considerando que las partículas que transmiten color y turbiedad pudieran ser removidas por este proceso; se emplearon conos immhoff para realizar el proceso de sedimentación, cada cono immhoff tiene una capacidad de un litro de agua y se dejó en total reposo durante una hora, en este caso se realizaron procesos de sedimentación por duplicado con el fin de darle validez estadística a los datos obtenidos, como se puede apreciar en la imagen No 7; previo al ensayo se evaluó la turbiedad del agua para determinar su calidad y posteriormente al ensayo se recolecto agua del sobre nadante de los conos immhoff para determinar la turbiedad final y determinar la eficiencia en la remoción de la turbiedad presenta en el agua lluvia (Arboleda, 2000) (Romero, 2013).

**Imagen 7 Cono Immoff, Ensayo de sedimentación para la tratabilidad del agua lluvia captado en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia**



Fuente: Autor

Por otro lado, se realizó la evaluación del proceso de filtración (Arboleda, 2000) (Romero, 2013) con el fin de comparar este proceso físico con la eficiencia de remoción de turbiedad con los antes mencionados (coagulación y sedimentación); inicialmente se evaluaron dos tipos de medio filtrante, papel de filtro cualitativo y membrana de 0,45 micras; sin embargo, en los ensayos previos no fue concluyente la diferencia entre los valores encontrados, por lo que se empleó solo el papel de filtro cualitativo; de igual forma, se caracterizó el agua lluvia previa a los ensayos y se determinó la turbiedad del agua filtrada para determinar la eficiencia en la remoción de la turbiedad del agua lluvia (Arboleda, 2000) (Romero, 2013), como se puede apreciar en la imagen No 8.

**2.4 Evaluación económicamente los sistemas de captación y tratamiento del agua lluvia para los potenciales usos en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia.**

Para la evaluación económica del empleo del agua lluvia como fuente alternativa se recopiló información histórica de los consumos de agua potable en la I.U. Colegio



Mayor de Antioquia para el periodo entre el 2016 y 2019, de acuerdo a las facturas de los servicios públicos domiciliarios (Arroyave *et al*, 2011); paralelamente, se adquirió la información histórica promedio de la precipitación para el área de estudio (ver Tabla No 2); posteriormente, se hizo una proyección económica de los beneficios de este tipo de fuentes alternativas, para determinar la sostenibilidad económica, social y ambiental de la implementación del proyecto, teniendo en cuenta el área superficial de la planta de techos y cubiertas de la I. U. Colegio Mayor de Antioquia (4.698 m<sup>2</sup>) (ver imagen No 4); área que se podría emplear para la captación y recolección del agua lluvia como alternativa de recurso hídrico (Arroyave *et al*, 2011).

**Imagen 8 Ensayo de filtración para la tratabilidad del agua lluvia captado en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia**



Fuente: Autor

### **3 Capítulo 3. Análisis de Resultados**

#### **3.1 Potencial de captación de agua lluvia en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia**

Empleando los datos históricos meteorológicos de la estación La Iguana en cuanto a precipitación mensual, acorde a los datos consignados en la tabla No 2, se determinó el potencial de captación de agua lluvia si se empleara la totalidad de la

superficie de las cubiertas y techos de la I.U. Colegio Mayor de Antioquia; la cual se consigna en la tabla No 3; como se puede evidenciar se puede recolectar en promedio mensual de 836 m<sup>3</sup>; encontrando variaciones significativas en el mes de enero con un potencial de captación de 379 m<sup>3</sup>, mientras que los meses de mayor potencial de captación son abril y mayo con un aporte de 1098 m<sup>3</sup> y 1144 m<sup>3</sup> respectivamente; y los meses de octubre y noviembre con un aporte de 1353 m<sup>3</sup> y 1187 m<sup>3</sup> respectivamente, estos últimos cuatro meses mencionados corresponden a las dos temporadas de lluvia que tenemos en el interior del país y en la zona andina; por tal razón, son los meses de mayor potencial de captación o cosecha de agua lluvia.

Considerando el potencial de cosecha o captación de agua lluvia de la tabla No 3, se realiza el análisis económico de la disminución del valor de las facturas del servicio de acueducto, considerando que el agua lluvia se puede emplear para múltiples usos que no requieren agua potable, como lo son aseo, riego de jardines y ornato, vaciado de baterías sanitarias, entre otros usos potenciales; en la tabla No 4 se realiza el análisis económico del empleo del agua lluvia en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia.

**Tabla 3 Proyección de captación de agua lluvia en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia**

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
<b>Precipitación promedio (mm)</b>	80,6	87,3	157,0	233,7	243,4	178,0	133,9	131,9	228,5	287,9	252,6	121,5
<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	4698	4698	4698	4698	4698	4698	4698	4698	4698	4698	4698	4698
<b>Volumen Total Agua (m<sup>3</sup>)</b>	379	410	738	1098	1144	836	629	619	1074	1353	1187	571
<b>Días de Lluvia</b>	8	10	14	18	18	16	15	15	18	20	18	11
<b>Volumen Promedio Almacenado (m<sup>3</sup>)</b>	<b>103,8</b>	<b>129,8</b>	<b>348,3</b>	<b>656,8</b>	<b>684,0</b>	<b>439,7</b>	<b>312,1</b>	<b>313,2</b>	<b>650,2</b>	<b>904,3</b>	<b>694,6</b>	<b>207,1</b>

**Tabla 4 Análisis económico de la captación de agua lluvia en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia.**

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
<b>Volumen Total Agua (m<sup>3</sup>)</b>	379	410	738	1098	1144	836	629	619	1074	1353	1187	571
<b>Consumo Promedio Institucional (m<sup>3</sup>)</b>	1117	1117	1117	1117	1117	1117	1117	1117	1117	1117	1117	1117
<b>Diferencia Volumen (m<sup>3</sup>)</b>	738	707	379	19	-27	281	488	498	43	-236	-70	546
<b>Ahorro (\$)</b>	\$ 983.096	\$ 1.064.196	\$ 1.914.835	\$ 2.850.164	\$ 2.968.461	\$ 2.170.263	\$ 1.632.440	\$ 1.607.981	\$ 2.787.086	\$ 3.511.162	\$ 3.080.931	\$ 1.481.829

De acuerdo los cálculos de la tabla No 4 se tendría un ahorro promedio mensual de \$2.170.368 y anual de \$26.044.417 si se captara todo el potencial de cosecha de agua lluvia en la totalidad del área de cubiertas o techos (4698 m<sup>2</sup>) de la I.U. Colegio Mayor de Antioquia de acuerdo a la tarifa del servicio de acueducto; sin embargo, hay que considerar que el servicio de alcantarillado realiza el cobro con base a la cantidad en metros cúbicos que se consumen en el servicio de acueducto; por lo anterior, al ahorro proyectado se debe sumar una cifra equivalente a \$22.544.027 por concepto de alcantarillado; por lo tanto, el potencial ahorro anual de implementación de esta alternativa de fuente de recurso hídrico para la I.U. Colegio Mayor de Antioquia sería de \$48.596.473 anual, si se disminuyera los costos de acueducto y alcantarillado asociado al potencial de captación y uso del agua lluvia en la Institución.

### **3.2 Calidad fisicoquímica y microbiología del agua lluvia captada mediante un sistema piloto**

Para determinar y evaluar la calidad fisicoquímica del agua lluvia captada en el sistema piloto en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia, se recolectaron muestras de agua en la mayoría de los eventos que presentaron precipitación y recolección de agua lluvia, se recolectaron 109 muestras de agua, a las cuales se les determinaron los parámetros fisicoquímicos básicos de campo, en la tabla No 5 se consigna los datos de los diferentes parámetros determinados.

**Tabla 5 Determinación de parámetros fisicoquímicos al agua lluvia en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia.**

<b>FECHA</b>	<b>Turbiedad (UNT)</b>	<b>pH</b>	<b>CONDUCTIVIDAD (mv)</b>	<b>ALCALINIDAD (mg/L)</b>
1/08/2017	30,65	7,07	113,8	10,0
3/08/2017	1,82	7,31	37,1	10,0
4/08/2017	1,77	6,72	28,1	6,0
5/08/2017	1,74	6,45	29,6	8,0
7/08/2017	1,87	6,99	25,3	6,0
10/08/2017	1,54	6,50	22,4	4,0
11/08/2017	2,15	6,82	23,1	6,0
13/08/2017	3,07	6,83	37,6	6,0
14/08/2017	2,55	8,26	32,6	6,0
15/08/2017	2,22	7,08	31,0	6,0
17/08/2017	3,61	7,61	24,7	8,0
19/08/2017	8,26	7,32	52,3	4,0
20/08/2017	4,61	7,32	17,4	4,0
24/08/2017	9,02	6,89	75,1	10,0
25/08/2017	1,99	6,70	31,9	6,0
29/08/2017	3,89	6,50	18,2	6,0
30/08/2017	3,77	6,53	15,0	4,0
4/09/2017	3,84	9,53	26,6	10,0
5/09/2017	1,07	9,56	30,5	12,0
6/09/2017	1,12	8,95	33,3	10,0
11/09/2017	1,83	8,94	27,7	6,0
13/09/2017	1,24	9,15	23,9	2,0
15/09/2017	2,74	9,05	25,5	8,0
18/09/2017	0,94	9,05	23,4	10,0
19/09/2017	1,13	8,97	20,0	8,0
20/09/2017	7,50	8,30	47,4	10,0
21/09/2017	4,43	8,29	22,4	6,0
23/09/2017	2,66	7,90	32,3	8,0
2/10/2017	4,38	6,11	28,0	4,0
3/10/2017	1,44	5,80	26,5	6,0
4/10/2017	4,69	6,10	91,2	8,0
7/10/2017	2,14	6,14	36,7	8,0
21/10/2017	4,02	5,86	40,3	8,0
23/10/2017	6,23	5,96	33,4	4,0
24/10/2017	4,25	5,89	38,8	10,0
25/10/2017	4,39	5,90	34,0	6,0
26/10/2017	11,85	5,90	77,5	6,0
27/10/2017	4,41	6,00	24,4	6,0
30/10/2017	2,37	5,99	57,5	6,0
31/10/2017	11,80	6,02	57,0	6,0

1/11/2017	6,03	6,38	75,6	8,0
2/11/2017	9,86	6,04	63,6	4,0
3/11/2017	11,06	6,03	66,1	6,0
4/11/2017	5,93	6,19	68,3	6,0
7/11/2017	53,62	6,10	91,0	6,0
9/11/2017	35,41	6,14	163,2	6,0
15/11/2017	7,00	6,21	105,6	8,0
16/11/2017	5,90	6,38	59,2	6,0
17/11/2017	2,98	6,46	34,1	6,0
18/11/2017	3,93	6,54	36,5	4,0
20/11/2017	3,74	7,50	24,8	6,0
21/11/2017	6,72	7,52	23,8	6,0
22/11/2017	9,93	7,45	73,6	8,0
27/11/2017	5,91	6,14	59,6	6,0
28/11/2017	6,02	6,10	50,4	6,0
29/11/2017	5,91	6,18	61,5	8,0
30/11/2017	5,82	6,21	70,7	6,0
29/12/2017	5,53	6,09	95,6	16,0
26/02/2018	10,14	6,49	30,3	1,2
27/02/2018	7,04	6,22	24,7	10,0
15/03/2018	3,28	6,45	141,3	12,0
24/03/2018	5,71	6,35	14,3	8,0
9/04/2018	7,52	6,68	16,4	8,0
10/04/2018	8,13	6,86	28,2	12,0
11/04/2018	2,29	6,84	7,8	8,0
12/04/2018	6,45	5,52	23,7	8,0
13/04/2018	8,61	5,66	28,3	6,0
14/04/2018	4,67	6,49	24,2	12,0
16/04/2018	3,80	6,35	61,9	20,0
17/04/2018	6,42	6,20	22,2	8,0
22/04/2018	5,18	5,85	12,8	8,0
25/04/2018	1,97	6,32	19,1	6,0
26/04/2018	9,25	6,13	13,4	4,0
30/04/2018	4,83	6,38	20,9	8,0
1/05/2018	2,88	6,51	21,7	6,0
3/05/2018	6,30	5,40	18,3	6,0
4/05/2018	2,60	4,98	16,7	6,0
7/05/2018	2,53	5,29	22,9	6,0
8/05/2018	4,15	5,30	22,5	6,0
10/05/2018	3,00	5,70	20,3	6,0
11/05/2018	2,85	5,56	22,5	6,0
20/05/2018	4,10	5,84	13,6	8,0
22/05/2018	5,41	6,13	14,7	8,0
28/05/2018	2,04	5,48	16,2	10,0
16/07/2018	7,98	5,49	27,1	10,0

24/07/2018	7,08	6,23	30,8	18,0
28/07/2018	15,25	6,18	17,3	8,0
2/08/2018	2,44	6,31	18,6	14,0
5/08/2018	1,67	6,06	17,5	8,0
13/08/2018	4,70	5,77	42,1	8,0
14/08/2018	3,44	6,28	21,2	10,0
26/08/2018	3,37	6,71	57,8	14,0
4/09/2018	3,59	6,95	18,5	10,0
5/09/2018	2,73	6,77	13,4	10,0
6/09/2018	1,59	7,14	11,3	8,0
13/09/2018	3,46	7,07	26,5	10,0
14/09/2018	2,66	7,07	15,4	10,0
15/09/2018	4,18	6,92	21,2	10,0
19/09/2018	1,72	6,12	78,0	10,0
26/09/2018	4,57	5,81	28,0	12,0
27/09/2018	2,86	5,98	16,0	10,0
1/10/2018	2,15	6,04	22,0	8,0
2/10/2018	2,98	5,24	30,0	8,0
4/10/2018	7,79	5,79	16,0	8,0
20/02/2019	16,26	6,37	28,0	8,0
26/02/2019	7,23	6,23	32,0	6,0
28/02/2019	4,37	6,34	24,0	6,0
1/03/2019	9,87	6,49	23,0	8,0
12/03/2019	7,50	6,64	30,0	8,0
Promedio	5,77	6,60	37,1	7,8
Desviación Estándar	6,67	0,95	27,0	2,9

Fuente: Autor

Para este estudio es importante el análisis de los datos atípicos debido a que representan el deterioro más significativo de la calidad del agua lluvia en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia, y de esta forma, la evaluación de los procesos de tratamiento para lograr que esta tenga niveles aceptables para los potenciales usos; sin embargo, los valores desviados significativamente no representan el comportamiento y el nivel de la calidad del agua lluvia en el área de estudio; por tal razón, al retirar 19 de los datos de agua lluvia correspondientes a las siguientes fechas 01/08/2017, 19/08/2017, 24/08/2017, 26/10/2017, 31/10/2017, 02/11/2017, 03/11/2017, 07/11/2017, 09/11/2017, 22/11/2017, 26/02/2018, 10/04/2018, 13/04/2018, 26/04/2018, 16/07/2018, 28/07/2018,

04/10/2018, 20/02/2019 y 01/03/2019 que presentan las desviaciones más significativas de los datos, se obtiene los promedios y desviación estándar para cada uno de los parámetros de calidad del agua que se consignan en la tabla No 6.

**Tabla 6 Determinación de parámetros fisicoquímicos al agua lluvia en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia.**

<b>FECHA</b>	<b>Turbiedad (UNT)</b>	<b>pH</b>	<b>CONDUCTIVIDAD (mv)</b>	<b>ALCALINIDAD (mg/L)</b>
<b>Promedio</b>	3,82	6,65	33,3	8,0
<b>Desviación Estándar</b>	1,80	1,01	22,4	2,9

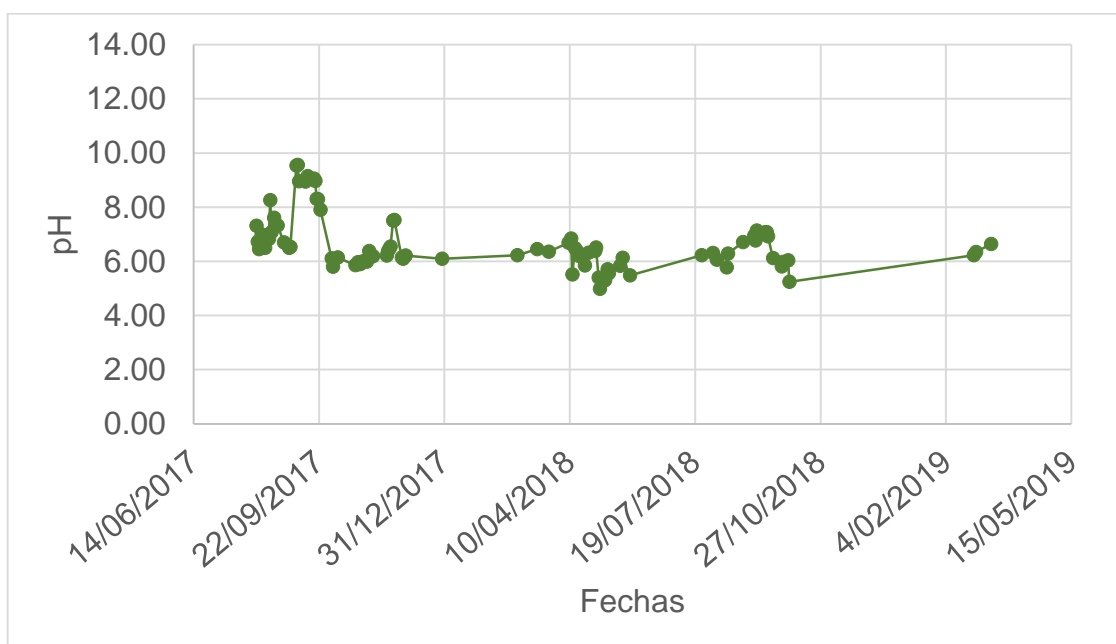
Por tal razón, para el periodo del estudio de agosto de 2017 y marzo de 2019, se analizan 90 muestras y datos fisicoquímicos, valor superior de muestras al realizar la determinación del tamaño muestral con un universo de días de lluvia de 262 días, de acuerdo a la Tabla No 2, un nivel de confianza del 92% y un error esperado del 8%; el cual arroja una muestra de 82 mediciones o datos de agua lluvia para el área de estudio.

Por lo anterior, los datos y análisis de resultados que se presentan en la tabla No 6, representan la calidad fisicoquímica del agua lluvia con un nivel de confianza del 92% y un error estimado del 8%.

Como se puede apreciar en la tabla No 6 y en el grafica No 1, se obtuvo un pH promedio de las muestras analizadas de 6,65 unidades de pH y una desviación estándar de 1,01; lo que indica que existe una variabilidad de los datos de una unidad de pH; por otro lado, el valor promedio obtenido muestra que no se presenta un fenómeno marcado de lluvia acida o de acidificación de la precipitación, toda vez que el promedio del valor de pH es superior a 5,6; valor de pH que define la existencia de lluvia acida (Ospina-Zuñiga y Ramírez-Arcila, 2014).

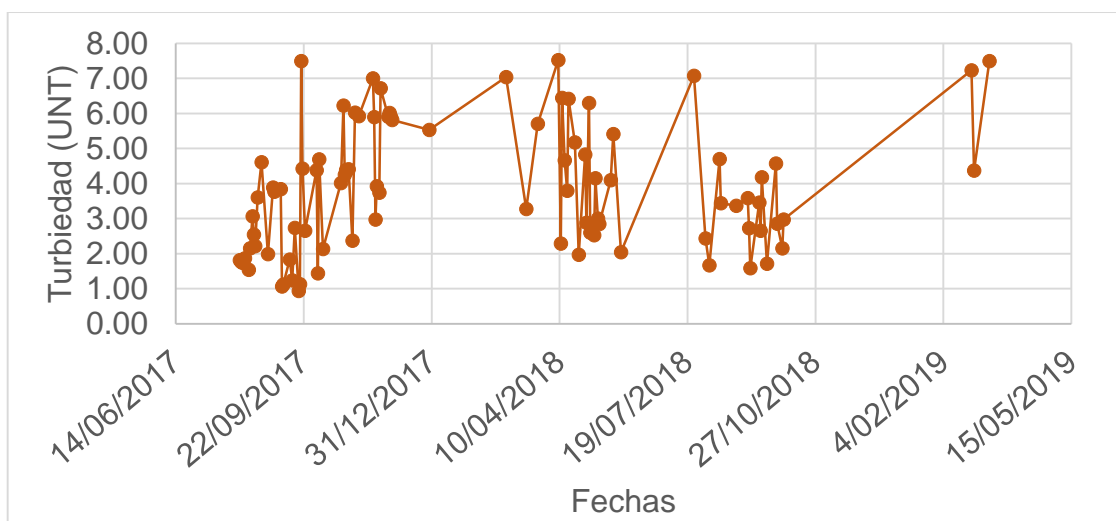


**Gráfica No 1 pH del agua lluvia captada en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia**



Fuente: Autor

**Gráfica No 2 Turbiedad del agua lluvia captada en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia**

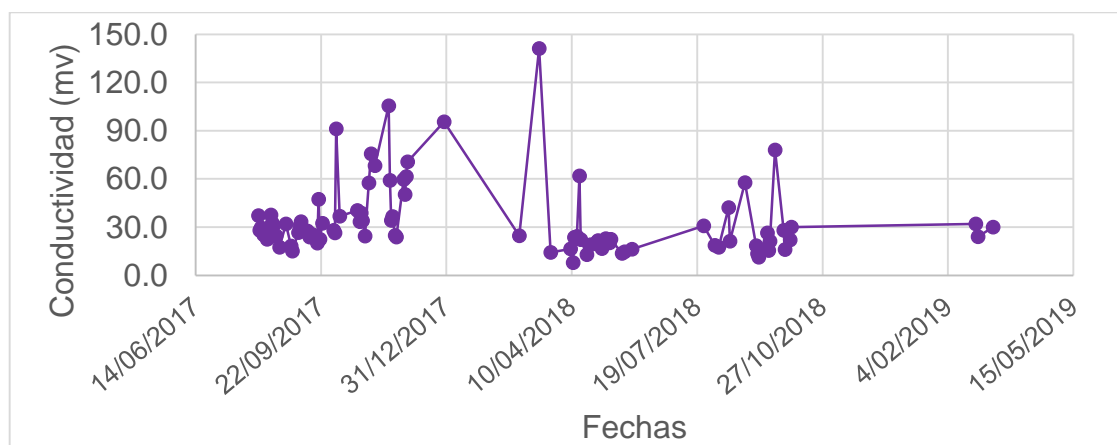


Fuente: Autor

Adicionalmente, se observa en la tabla No 6 y en el grafica No 2, la turbiedad del agua lluvia recolectada tienen un valor promedio de 3,82 UNT con una desviación estándar de 1,80 UNT; esto se debe a que al comienzo de las temporadas de lluvia el

efecto de limpieza y barrido de las primeras lluvias provocan el barrido de los depósitos, suciedad, hojas de los árboles, heces de las aves, material particulado, entre otras impurezas que se pueden depositar en las superficies de las cubiertas de las edificaciones; como se observa en la imagen No 2, el área aferente de captación de agua lluvia del sistema piloto ubicado en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia se encuentra aledaña a arboles de altura significativa, además de su cercanía a vías arteriales como la carrera 78 y 80 que cuentan con un alto flujo vehicular; por tal razón, es significativo el aporte de impurezas y por ende del incremento de la turbiedad en el agua lluvia de las primeras precipitaciones; por otro lado, el valor promedio de la turbiedad (3,82 UNT) es superior a limite permisible de turbiedad en la normatividad colombiana (Decreto 1575, 2007) (Resolución 2115, 2007) por lo que se requiere su acondicionamiento para algunos usos potenciales en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia; toda vez que el color y la turbiedad juegan un papel importante en la percepción organoléptica del agua y puede desfavorecer los potenciales usos del agua lluvia.

### Gráfica No 3 Conductividad eléctrica del agua lluvia captada en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia



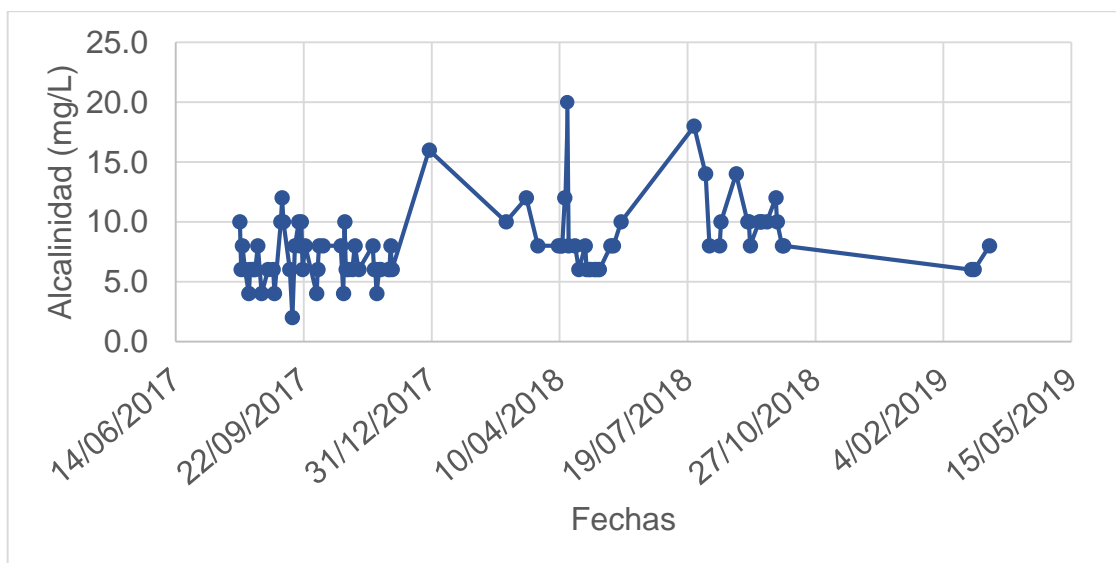
Fuente: Autor

Con se observa en la tabla No 6 y la gráfica No 3, la conductividad eléctrica presento un valor promedio de 33,3 mv con una desviación estándar de 22,4 mv, la cual

representa una variabilidad en los datos significativa, debido a lo explicado anteriormente y que se relaciona con el efecto de lavado o arrastre de las primeras lluvias; sin embargo, es un valor de conductividad eléctrica relativamente bajo comparado con agua naturales.

Adicionalmente se presenta un valor promedio de alcalinidad del 8,0 mg/L de  $\text{CaCO}_3$  con una desviación estándar de 2,9 mg/L de  $\text{CaCO}_3$  como se puede evidenciar en la tabla No 6 y la gráfica No 4, el cual es un valor bajo comparada con un agua natural, lo que significa tanto para la conductividad eléctrica y la alcalinidad no existe un arrastre significativo de iones de la atmosfera ni de la superficie aferente de captación de agua lluvia.

**Gráfica No 4 Alcalinidad del agua lluvia captada en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia**



Fuente: Autor

Para determinar y evaluar la calidad microbiológica del agua lluvia captada en el sistema piloto en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia, se recolectaron muestras de agua en la mayoría de los eventos que presentaron precipitación y recolección de agua lluvia, se recolectaron y analizaron 38 muestras de agua, a las cuales se les determinaron los

parámetros microbiológicos de Coliformes totales, Coliformes fecales, Mesófilos, Eenterococcus Fecales y Pseudomonas Aeruginosa; en la tabla No 7 se consigna los datos de los diferentes parámetros determinados.

Considerando que el periodo del estudio se realizó de agosto de 2017 y marzo de 2019, se tiene un universo de días de lluvia de 262 días, de acuerdo a la Tabla No 2, realizando el cálculo del tamaño muestral los datos y análisis de resultados que se presentan en la tabla No 7, representan la calidad microbiológica del agua lluvia con un nivel de confianza del 88% y un error estimado del 12%.; el cual arroja un tamaño muestral de 37 mediciones o datos de agua lluvia para el área de estudio.

En la tabla No 7 se puede observar que durante el periodo de recolección de muestras de agua lluvia en el sistema piloto en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia se presentó contaminación de microorganismos, esto de acuerdo a la presencia de mesófilos y coliformes totales; es claro que esto se da debido al contacto del agua lluvia con la superficie de captación y recolección de dicha agua; por otro lado, se aprecia la presencia de indicadores microbiológicos de materia fecal como lo son los coliformes fecales, Eenterococcus Fecales y Pseudomonas Aeruginosa; los cuales se dan por la presencia de heces de diferentes animales que pueden depositar sus heces en las cubiertas como aves, roedores, entre otros; de esta forma, se limita considerablemente los potenciales usos del agua lluvia; toda vez que la presencia de microorganismos patógenos favorecen la trasmisión y morbilidad de enfermedades de origen hídrico; por lo tanto, esta agua no es apta para consumo humano debido a la presencia de estos microorganismos patógenos, de esta forma, se plantea que para investigaciones subsiguientes se realice la evaluación de procesos de desinfección con el fin de eliminar los microorganismo presentes y poder alcanzar la potabilidad del agua y ampliar los

potenciales usos a aquellos que requieran agua potable para su ingesta o contacto directo a los seres humanos.

**Tabla 7 Determinación de parámetros microbiológicos al agua lluvia en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia**

Fecha	Coliformes Totales (UFC/100mL)	Coliformes Fecales (UFC/100mL)	Mesófilos (UFC/100 mL)	Eenterococcus Fecales (UFC/100mL)	Pseudomonas Aeruginosa (UFC/100mL)
18/10/2017	>200	50	>200	Negativo	120
19/10/2017	>200	>200	>200	>200	Negativo
20/10/2017	>200	>200	>200	50	2
21/10/2017	>200	14	>200	12	Negativo
24/10/2017	>200	10	>200	NR	>200
25/10/2017	>200	20	>200	80	>200
26/10/2017	>200	54	>200	10	Negativo
27/10/2017	>200	3	>200	13	>200
30/10/2017	>200	6	>200	NR	>200
31/10/2017	>200	80	>200	NR	NR
2/11/2017	>200	120	>200	1	Negativo
9/11/2017	>200	40	>200	NR	NR
14/11/2017	>200	44	>200	>200	Negativo
20/11/2017	>200	24	>200	Negativo	>200
21/11/2017	>200	12	>200	Negativo	>200
22/11/2017	>200	50	>200	18	30
27/11/2017	>200	50	>200	>200	180
29/11/2017	>200	>200	>200	92	>200
1/12/2017	>200	80	>200	8	40
1/12/2017	>200	88	>200	8	90
10/04/2018	> 200	> 200	> 200	NR	NR
11/04/2018	> 200	> 200	> 200	NR	NR
12/04/2018	> 200	> 200	> 200	NR	NR
13/04/2018	> 200	> 200	> 200	NR	NR
14/04/2018	> 200	> 200	> 200	NR	NR
16/04/2018	> 200	> 200	> 200	NR	NR
17/04/2018	> 200	> 200	> 200	NR	NR
11/05/2018	> 200	> 200	> 200	NR	NR
20/05/2018	> 200	> 200	> 200	NR	NR
22/05/2018	> 200	> 200	> 200	NR	NR
29/05/2018	> 200	> 200	> 200	NR	NR
6/09/2018	> 200	50	> 200	NR	NR
26/09/2018	> 200	30	> 200	NR	NR
27/09/2018	> 200	60	> 200	NR	NR

2/10/2018	> 200	20	> 200	NR	NR
20/02/2019	> 200	> 200	30	> 200	2
26/03/2019	> 200	> 200	90	> 200	10
1/03/2019	96	> 200	50	> 200	14

N.R.: No se realizo

Por otro lado, con el fin de fortalecer el diagnóstico de la calidad del agua lluvia, se realizó el análisis de dos muestras de agua lluvia recolectada en las primeras lluvias del mes de febrero y marzo de 2019; que de acuerdo a lo expresado anteriormente, presenta una mayor carga de partículas y contaminantes por el efecto de barrido y limpieza de los agentes contaminantes depositados en las cubiertas y techos de la I.U. Colegio Mayor de Antioquia; por lo tanto, en la tabla No 8 se consignan los resultados del análisis fisicoquímico del agua lluvia realizados en un laboratorio externo acreditado por el IDEAM, con el fin de dar validez a los resultados obtenidos.

Como se observa en los resultados de la tabla No 8, se presenta un deterioro de la calidad del agua lluvia para los parámetros organolépticos como color aparente (15,5 y 23 UPC) y turbiedad (11 y 5 NTU); adicionalmente, se presenta un pH de 5,12 y 5,31 con presencia de acidez significativa asociado a la normatividad (Decreto 1575, 2007) (Resolución 2115, 2007); por otro lado, cuando se analiza la presencia de sulfatos (<5,00 mg (SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>/L) y nitratos (<6,20 mg NO<sub>3</sub>/L), ambos parámetros están por debajo del nivel de detección de la técnica para cada parámetro; por lo que se puede expresar que a pesar que el estudio se realizó en una atmosfera de una ciudad con niveles en alguno casos significativos de contaminantes atmosféricos, no se presenta un deterioro de calidad de agua lluvia significativa por los gases de azufre y nitrógeno en el agua; cruzando estos dos parámetros con la dureza, se evidencia que la dureza es muy baja, por lo que se puede catalogar el agua lluvia recolectada como una agua blanda, con presencia baja de cationes como el calcio, magnesio y manganeso; propio la dilución de

este tipo de iones de las formaciones geológicas; sin embargo para este estudio, se puede decir que no hay un arrastre significativo de cationes (calcio, magnesio y manganeso) de la atmosfera o de las precipitaciones que se pueden presentar en las cubiertas; y los demás iones de Cadmio total ( $<0,050$  mg Cd/L), Aluminio ( $<0,1$  mg Al/L), Cloruros ( $<5,00$  mg Cl/L), Hierro total ( $<0,200$  mg Fe/L), Plomo total ( $<0,005$  mg Pb/L) y Zinc Total ( $0,239$  y  $0,136$  mg Zn/L); para todos los cationes analizados se presentan niveles inferiores a los exigidos por la normatividad colombiana (Resolución 2115, 2007) y se correlaciona con los niveles bajos de la conductividad eléctrica que se presentan en la Tabla No 5 y 6, y la gráfica No 3; por tal razón, y asociado a los resultados históricos de la calidad del agua lluvia (ver Tabla No 5 y 6) se deben evaluar procesos de tratamiento que favorezca la remoción de las sustancias que proveen color y turbiedad al agua lluvia y la eliminación de los microorganismos indicadores de presencia de heces y microorganismos patógenos.

De acuerdo a la calidad del agua lluvia registrada durante el periodo de estudio, es un agua que presenta algunas alteraciones en su composición lo que limita sus potenciales usos; sin embargo, es claro que se puede emplear para usos que no requieren la ingesta directa del agua, como limpieza, aseo, vaciado de sanitarios, lavado de superficies, entre otros usos; de igual forma, en el siguiente ítem se evaluaron procesos de potabilización que condujeron a una mejora en la calidad del agua lluvia y por ende, a ampliar los potenciales usos de agua lluvia en la Institución.

**Tabla 8 Análisis fisicoquímico del agua lluvia recolectada en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia**

<b>Parámetro</b>	<b>Método</b>	<b>Técnicas</b>	<b>Resultado Muestra (20 Febrero 2019)</b>	<b>Resultado Muestra (1 Marzo 2019)</b>
Cadmio total (mg Cd/L)N	SM 3030K, SM 3113 B Edición	Espectrofotométrico de Absorción	<0,050	<0,050
Dureza total (mg CaCO3/L)	SM 2340 C	Volumétrico, EDTA	8,7	13,4
Aluminio (mg Al/L)	Análogo a: SM 3500-AI B	Colorimétrico- Kit	<0,1	<0,1
Alcalinidad, pH final titulación (U de pH)	SM 4500-H+ B, Ed. 23:2017	Electrométrico	4,32	4,38
Cloruros (mg Cl/L)	SM 4500-Cl- B	Volumétrico	<5,00	<5,00
Alcalinidad total (mg CaCO3/L)	SM 2320 B	Volumétrico	3,10+/-0,20	3,38+/-0,21
Color aparente (UPC)	2120 C	Espectrofotométrico	15,5	22,3
Hierro total (mg Fe/L)	SM 3030 E; SM 3111 B	Absorción Atómica llama A-Ac	<0,200	<0,200
Nitratos (mg NO3/L)	SM 4500-NO3-D	Método electrodo	<6,20	<6,20
pH 25°C (unidades de pH)	SM 4500-H+ B, Ed. 22:2012	Electrométrico	5,12	5,31
Plomo total (mg Pb/L)	SM 3030 E; SM 3111 B	Absorción Atómica llama A-Ac	<0,005	<0,005
Sulfatos (mg (SO4)3/L)	SM 4500 SO4-2 E	Turbidimétrico	<5,00	<5,00
Turbiedad (NTU)	SM 2130 B	Nefelométrico	11	5
Zinc Total (mg Zn/L)	SM 3030 E; SM 3111 B	Absorción Atómica llama A-Ac	0,239	0,136

Fuente: Autor



### **3.3 Evaluación de procesos de tratabilidad del agua lluvia en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia**

Se evaluaron procesos físicos y químicos para el acondicionamiento de la calidad del agua lluvia cosechada o recolectada en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia, con el fin de potenciar los posibles usos, en este sentido se evaluaron procesos de coagulación, sedimentación y filtración, acorde al deterioro del agua lluvia provocada por la presencia de color y turbiedad.

#### **Imagen 9 Test de jarra, Ensayo de coagulación con sulfato de aluminio para la tratabilidad del agua lluvia captado en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia**

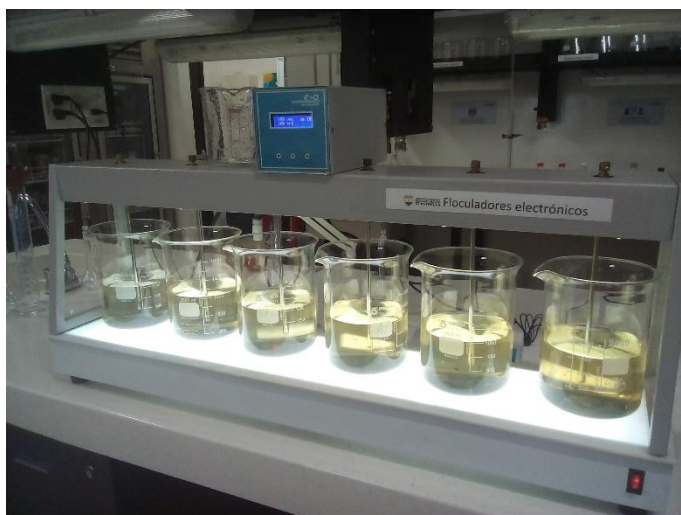


Fuente: Autor

En las imágenes 9 y 10 se evidencia los ensayos de coagulación para el sulfato de aluminio ( $\text{Al}_3(\text{SO}_4)_2$ ) y cloruro férrico ( $\text{FeCl}_3$ ) empleando el test de jarra para el proceso de desestabilización y remoción de la turbiedad presente en el agua lluvia.

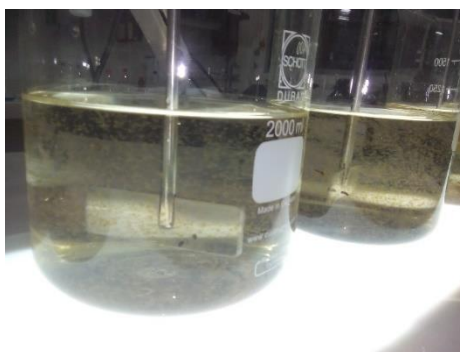
De igual forma, en la imagen 11 se presenta la desestabilización y formación de floculos de las partículas que generan color y turbiedad presente en el agua lluvia recolectada en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia.

**Imagen 10 Test de jarra, Ensayo de coagulación con cloruro férrico para la tratabilidad del agua lluvia captado en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia**



Fuente: Autor

**Imagen 11 Formación de floculos, Ensayo de coagulación con cloruro férrico para la tratabilidad del agua lluvia captado en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia**



Fuente: Autor

En la tabla No 9 se consignan los datos de la determinación de la dosis optima de coagulante para los ensayos de tratabilidad con sulfato de aluminio y cloruro férrico para el agua lluvia captada y recolectada en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia.

En la tabla No 9 y las graficas 5 y 6 se observa que para el sulfato de aluminio ( $\text{Al}_3(\text{SO}_4)_2$ ) se obtuvo una eficiencia en la remoción del 73,4% y una desviación estándar de 25,7%; lo que indica una variabilidad significativa en los resultados obtenidos y una dosis optima promedio de 45,8 mg/L de sulfato de aluminio; por otro

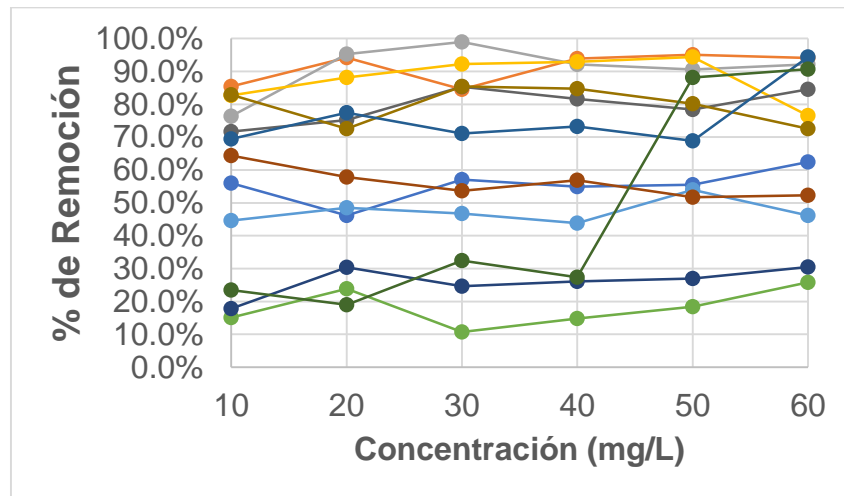
lado, para el cloruro férrico ( $\text{FeCl}_3$ ) se obtuvo un porcentaje de remoción de turbiedad del 92,8% y una desviación estándar del 4,0%; presentándose una variabilidad en los datos relativamente baja, es decir, que los datos obtenidos representan de una forma adecuada el proceso de coagulación; y por ende se obtuvo una dosis optima del 47,5 mg/L de  $\text{FeCl}_3$  con mejores resultados en la evaluación de este proceso fisicoquímico.

**Tabla 9 Determinación de dosis optima de coagulante para los ensayos de tratabilidad del agua lluvia con sulfato de aluminio y cloruro férrico**

Ensayo	Sulfato de Aluminio			Cloruro Férrico		
	Dosis optima (mg/L)	Turbiedad Final (UNT)	% Remoción	Dosis optima (mg/L)	Turbiedad Final (UNT)	% Remoción
1	60	3,39	62,4%	60	0,49	94,6%
2	30	0,08	98,9%	50	0,77	89,8%
3	50	0,51	94,4%	40	1,02	88,8%
4	50	0,60	95,1%	30	1,76	85,6%
5	50	6,80	54,0%	40	0,95	93,6%
6	60	2,71	25,8%	50	0,42	88,5%
7	60	5,11	30,5%	60	0,48	93,5%
8	10	3,54	64,4%	60	0,45	95,5%
9	30	13,29	85,3%	50	0,43	99,5%
10	30	5,06	85,4%	30	1,74	95,0%
11	60	0,92	94,3%	50	0,52	96,8%
12	60	0,70	90,7%	50	0,55	92,7%
Promedio	45,8	3,56	73,4%	47,5	0,80	92,8%
Desviación Estándar	16,8	3,76	25,7%	10,6	0,49	4,0%

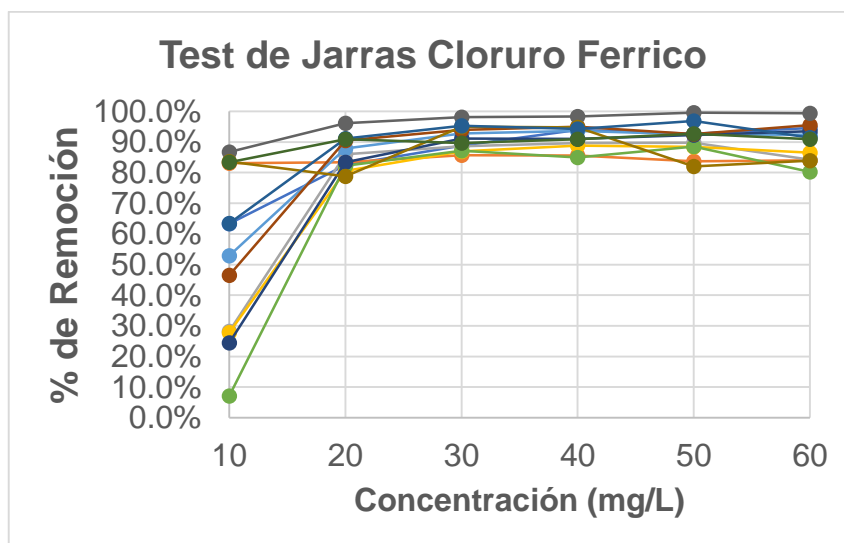
Fuente: Autor

**Gráfica No 5 Resultados de remoción de turbiedad en los ensayos de coagulación con sulfato de aluminio**



Fuente: Autor

**Gráfica No 6 Resultados de remoción de turbiedad en los ensayos de coagulación con cloruro férrico**

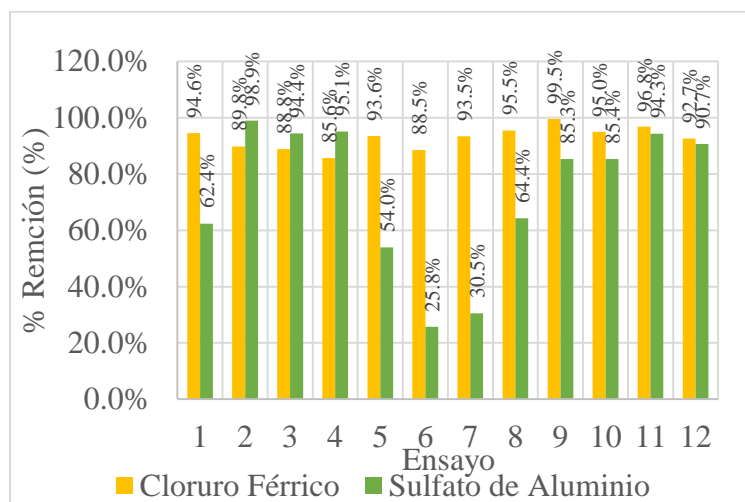


Fuente: Autor

Por todo lo anterior, y como se observa en la gráfica No 6 el coagulante que presenta mejores resultados para la remoción de la turbiedad presente en el agua lluvia captada en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia es el cloruro férrico ( $\text{FeCl}_3$ ), en el caso

que se pueda implementar un sistema de potabilización de esta fuente alternativa de recurso hídrico.

### Gráfica No 7 Comparación de remoción de turbiedad en los ensayos de coagulación con cloruro férrico y sulfato de aluminio



Fuente: Autor

En la imagen 12 se puede observar el proceso de sedimentación para la remoción de la turbiedad presente en las muestras de agua lluvia recolectada en el sistema piloto de captación de aguas lluvias en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia.

### Imagen 12 Ensayo de sedimentación para la tratabilidad del agua lluvia captado en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia.



Fuente: Autor

En la tabla No 10 se presentan los datos promedio obtenidos en la evaluación del proceso físico de la sedimentación con el fin de remover la turbiedad presente en el agua lluvia recolectada.

**Tabla 10 Evaluación de la remoción de turbiedad empleando el proceso físico de la sedimentación en el agua lluvia captada en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia**

Ensayo	Turbiedad Final (UNT)	% Remoción
1	2,0	77,3%
2	2,4	67,6%
3	5,1	44,0%
4	3,0	75,2%
5	9,7	34,2%
6	2,2	38,9%
7	3,8	48,5%
8	4,7	52,5%
9	12,5	86,1%
10	3,3	90,5%
11	7,1	56,2%
12	5,3	29,1%
Promedio	5,1	58,4%
Desviación Estándar	3,2	20,7%

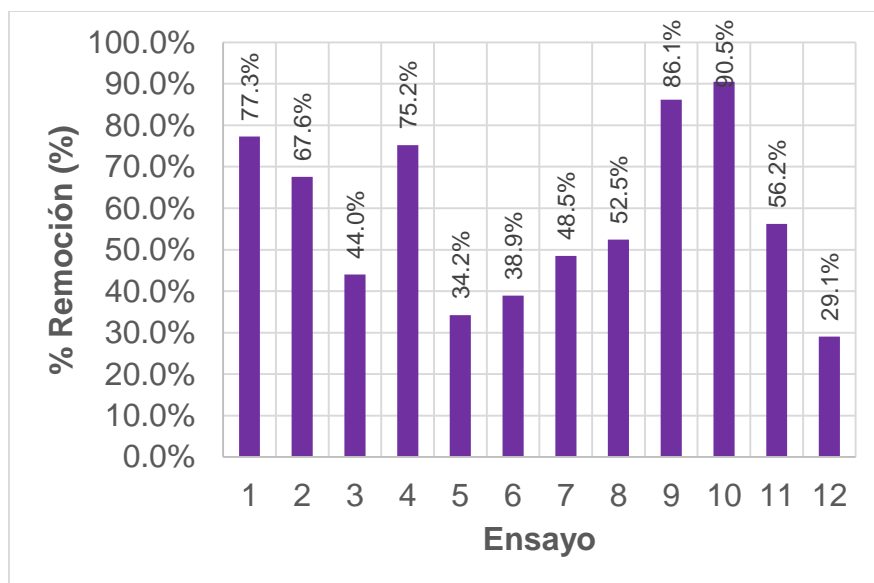
Fuente: Autor

Como se observa en la tabla No 10 y en la gráfica 8 se obtuvo un 58,4% de remoción de la turbiedad con una desviación estándar del 20,7%; remoción que es significativa para un proceso que no empleo ningún aditivo ni proceso adicional, lo que corrobora que una proporción significativa de la turbiedad se liga a la presencia de partículas en el agua; sin embargo, la turbiedad final promedio fue de 5,1 UNT con una desviación estándar de 3,2 UNT; valor que supera el límite de este parámetro en la normatividad nacional (Resolución 1575, 2007); límite que está fijado en 2,0 UNT.

Los resultados obtenidos refuerzan lo evidenciado en el sistema piloto; como se puede observar en la imagen 3, el sistema de reservorios o tanque estaba compuesto de dos unidades, en estos se evidenciaba que en el primer tanque que recolectaba el agua lluvia directamente de los bajantes, se presentaba una mayor turbiedad en el agua,

mientras que en el segundo tanque este parámetro disminuía, generándose una especie de pretratamiento del agua lluvia en el primer tanque, y este asociado al tiempo de residencia hidráulico de por lo general de un día máximo, y al agua estas en quietud se favorecía el proceso de la sedimentación.

### Gráfica No 8 Resultados de remoción de turbiedad en los ensayos de sedimentación



Fuente: Autor

En las imágenes 13 se presenta la ejecución de la evaluación del proceso físico de la filtración con el fin de remover la turbiedad presente en el agua lluvia recolectada; como se puede apreciar, sobre el papel de filtro cualitativo se evidencia la presencia y remoción de partículas de las muestras de agua lluvia sometidas a este proceso físico mediante el mecanismo del cernido.

En la tabla No 11 se consignan los datos de remoción promedio de turbiedad mediante el proceso de la filtración, de igual forma, y como se puede apreciar en la gráfica No 9 se logra una remoción promedio del 74,1% y una desviación estándar del 15,2% en las muestras sometidas a este tratamiento.

**Imagen 13 Ensayo de filtración para la tratabilidad del agua lluvia captado en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia**



Fuente: Autor

**Tabla 11 Evaluación de la remoción de turbiedad empleando el proceso físico de la filtración en el agua lluvia captada en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia**

Ensayo	Turbiedad (UNT)	% Remoción
1	2,0	77,3%
2	2,0	73,6%
3	3,5	61,2%
4	1,3	89,3%
5	1,8	87,7%
6	1,9	46,8%
7	3,4	53,9%
8	2,8	71,7%
9	6,1	93,3%
10	2,5	92,9%
11	3,9	76,1%
12	2,6	65,1%
Promedio	2,8	74,1%
Desviación Estándar	1,3	15,2%

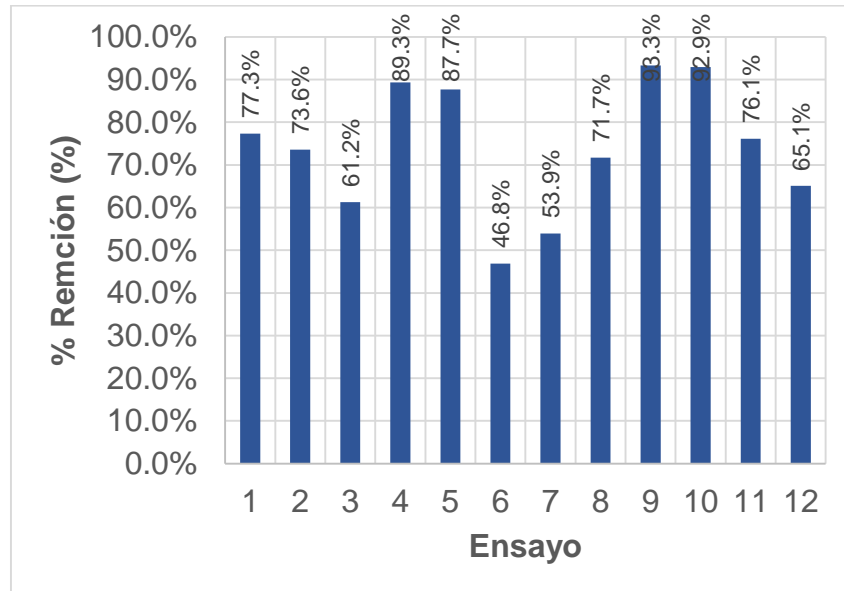
Fuente: Autor

Como se observa incrementa un 15,7% la eficiencia de la remoción de la turbiedad entre el proceso de la sedimentación y la filtración, este último emplea elementos externos como el medio filtrante (papel de filtro cualitativo) para remover las partículas que proporcionan la turbiedad del agua lluvia; sin embargo, muy similar a los



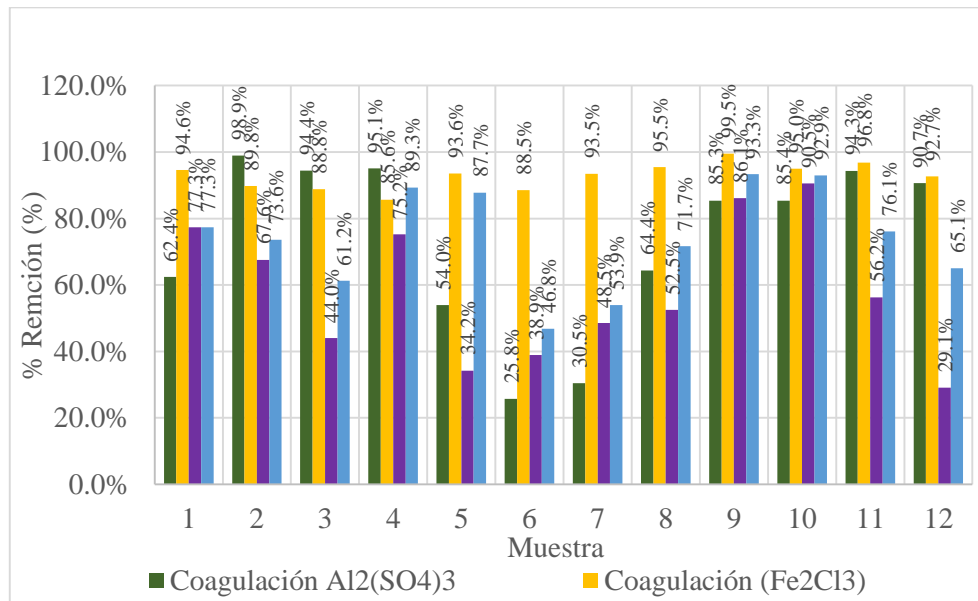
resultados obtenidos al proceso de coagulación con sulfato de aluminio ( $\text{Al}_3(\text{SO}_4)_2$ ), el cual no alcanza la desestabilidad adecuada de las partículas que generan turbiedad al agua lluvia.

**Gráfica No 9 Resultados de remoción de turbiedad en los ensayos de filtración**



Fuente: Autor

**Gráfica No 10 Comparación de Resultados de remoción de turbiedad en los ensayos de tratabilidad del agua lluvia en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia.**



Fuente: Autor

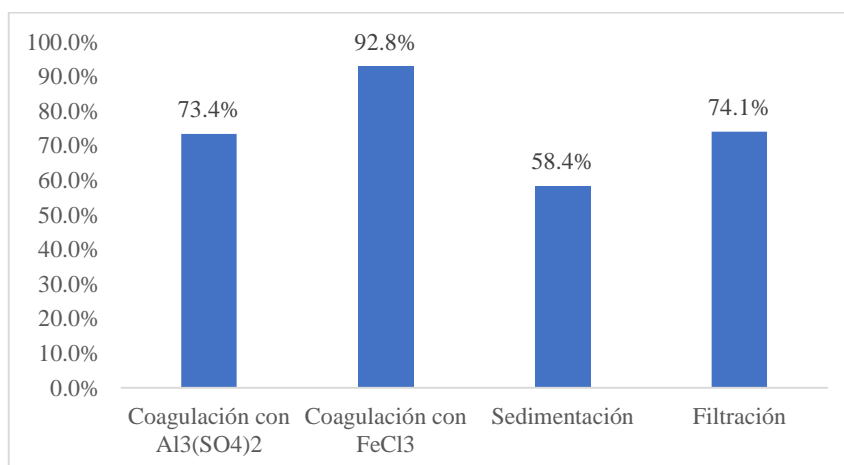
Por todo lo anterior, como se observa en la tabla No 12 y en los gráficos 10 y 11 el proceso que mejores resultados obtuvo para lograr una adecuada remoción de la turbiedad en el agua lluvia captada y recolectada en el sistema piloto en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia fue el sistema de coagulación con cloruro férrico con un porcentaje del 92,8% con una desviación estándar del 4,0%; el cual obtiene una turbiedad final de 0,80 UNT y una desviación estándar de 0,49 UNT; como se observa este valor cumple el límite permisible en la normatividad ambiental para Colombia (Resolución 1575, 2007) para el parámetro de la turbiedad, el cual es de 2,0 UNT.

**Tabla 12 Remoción promedio de turbiedad presente en el agua lluvia mediante diferentes procesos fisicoquímicos**

Proceso fisicoquímico	Turbiedad Final Promedio (UNT)	% Remoción Promedio	Desviación Estándar
Coagulación con $\text{Al}_3(\text{SO}_4)_2$	3,56	73,4%	25,7%
Coagulación con $\text{FeCl}_3$	0,80	92,8%	4,0%
Sedimentación	5,11	58,4%	20,7%
Filtración	2,82	74,1%	15,2%

Fuente: Autor

**Gráfica No 11 Remoción promedio de turbiedad presente en el agua lluvia mediante diferentes procesos fisicoquímicos**



Fuente: Autor

De acuerdo a los resultados obtenidos en la evaluación de la calidad del agua después de realizar los procesos de tratabilidad, el agua lluvia acondicionada se puede emplear para todos los usos, siempre que se realice la eliminación de color, turbiedad y microorganismos presentes en el agua lluvia con el fin de tener un agua apta para consumo humano, de esta forma, no se limitarían sus potenciales usos. De igual forma, los resultados de esta investigación han permeado el sistema de Gestión Ambiental institucional y en la actualidad el proceso de infraestructura está en el proceso de diseño de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia que constara de un tanque de almacenamiento, una red perimetral en la institución para aprovechar el agua lluvia en la red contraincendios de la institución y la conexión de algunos sistema de vaciado de sanitarios que se faciliten en su abastecimiento; inicialmente se proyecta abastecer los servicios sanitarios del bloque patrimonial, favoreciendo aproximadamente a 2400 estudiantes, empleados y directivos de la institución.

#### **4 Conclusiones**

La construcción sostenible y todas las estrategias de gestión ambiental que se puedan implementar para disminuir los impactos ambientales y la demanda de bienes y servicios ambientales, contribuyen a mejorar el desempeño ambiental de las instituciones, las empresas y la sociedad en general, en la búsqueda permanente de lograr las metas propuestas en los Objetivos de Desarrollo Sostenible – ODS; la captación o cosecha y el empleo del agua lluvia como fuente alternativa de recurso hídrico puede favorecer alcanzar las metas del sexto y onceavo ODS – Agua Limpia y Saneamiento, y Ciudades y comunidades sostenibles; de igual forma, la construcción sostenible y gran parte de sus estrategias se han transformado en mecanismos de

resiliencia ante fenómenos de gestión del riesgo, en el caso de la captación de agua lluvia contribuye a disminuir la posibilidad de avenidas torrenciales, equidad al acceso de servicios básicos, inundaciones, entre otros fenómenos de riesgo que se pueden presentar de acuerdo a los diferentes contextos donde se pueda emplear; de esta forma, se contribuye al desarrollo sostenible, a la equidad en el acceso de las comunidades a servicios públicos y de bajo costo, además de disminuir la demanda de agua de las fuentes hídricas que abastecen los sistemas de acueducto de los municipios o ciudades.

El agua lluvia captada en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia presenta alteraciones en la calidad fisicoquímica y microbiológica similares a un agua natural con presencia de partículas y microorganismos, toda vez que el proceso de barrido que genera el agua lluvia sobre las cubiertas y techos arrastra el material particulado depositado, hojas y materia orgánica de la cobertura de los árboles aledaños a las cubiertas, las heces de aves, entre otras fuentes de contaminación que se pueden presentar; las cuales deterioran la calidad del agua lluvia captada o cosechada en las cubiertas de la Institución; sin embargo, no se presenta un deterioro que sobrepase los niveles de la normatividad nacional (Resolución 2115, 2007) con respecto a los iones y metales que se pueden presentar en una atmósfera de ciudad con presencia de industria.

El agua lluvia es una fuente de agua alternativa que se puede emplear en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia para satisfacer demandas y consumos que no son exigentes en la calidad del agua, como riego, aseo, lavado, vaciado de baterías sanitarias, entre otros; de igual forma, se obtuvieron resultados significativos en los procesos de tratabilidad del agua lluvia para la remoción de turbiedad; por lo tanto, los sistemas de coagulación y en especial la coagulación con cloruro férrico es un proceso fisicoquímico adecuado para el tratamiento del agua lluvia captada en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia.

El empleo del agua lluvia como fuente alternativa de agua en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia puede generar la disminución de las cuentas de servicios públicos de acueducto y alcantarillado en \$48.596.473 anual; toda vez, que captando el potencial de recolección y empleándolo en los diferentes usos de agua no potable, se disminuye la demanda de agua del sistema de acueducto del prestador de servicios públicos domiciliarios de la ciudad, de esta forma, se obtiene un beneficio económico que puede emplearse en implementar redes ecológicas y/o sistemas de tratamiento o acondicionamiento de agua lluvia para usos que requieren una mejor calidad del agua.

## **5 Recomendaciones**

Aprovechar el potencial de captación o cosecha de agua lluvia en las instalaciones de la I.U. Colegio Mayor de Antioquia, con el fin de volverse un referente en ambiental y transformar la infraestructura física en un laboratorio académico y de buenas prácticas ambientales y de construcción sostenible que favorezca la formación y transformación de hábitos de toda su comunidad académica y esta, lo extrapole a toda la sociedad.

Realizar el aprovechamiento del agua lluvia en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia para los usos potenciales que no requieran agua potable o apta para el consumo humano; los cuales no necesiten de procesos de tratamiento o adecuación, con el fin de disminuir la demanda de bienes y servicios ambientales asociados al agua, además de la necesidad de sistemas, equipos y reactivos para el tratamiento de la misma; para lo cual, se recomienda la adecuación o construcción de una red ecológica dedicada al riego y actividades de aseo y lavado que no son exigentes en la calidad del agua para su realización.

## 6 Bibliografía

Ahmed W, Gardner T, Toze S. (2011) Microbiological Quality of Roof-Harvested Rainwater and Health Risks: A Review. *Journal Of Environmental Quality* [serial online].40(1):13-21

Ahmed W, Goonetilleke A, Gardner T. (2010) Implications of faecal indicator bacteria for the microbiological assessment of roof-harvested rainwater quality in southeast Queensland, Australia. *Canadian Journal of Microbiology* [serial online]. 56(6):471-479.

Ahmed W, Hodgers L, Sidhu J, Toze S. (2012) Fecal indicators and zoonotic pathogens in household drinking water taps fed from rainwater tanks in Southeast Queensland, Australia. *Applied and Environmental Microbiology* [serial online]. 78(1):219-226

Alam M, Siwar C, Jaafar A, Talib B. (2016) Climatic changes and household food availability in Malaysian east coast economic region. *Journal Of Developing Areas* [serial online]. 50(5):143-155.

APHA – AWWA – WPCF. (1992). *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. Ediciones Diaz de Santos. Madrid, España.

Arango E., N y Flórez C., J. (Proyecto de grado) (2012). *Sistema de recolección, almacenamiento y conservación de aguas lluvias para el abastecimiento de agua potable a los habitantes del Pacífico Colombiano en zonas rurales de difícil acceso con ausencia o deficiencia del recurso*. Universidad ICESI. Cali, Colombia.

Arboleda V., J. (2000). *Teoría y práctica de la purificación del agua*. McGraw – Hill. Bogotá, Colombia.

Arroyave R., J. A. y Garcés G., L. F. (2007). Tecnologías Ambientalmente Sostenibles. Revista de Producción Más Limpia. 1(2) (Julio – Diciembre). pp 78 – 86

Arroyave R, J. A; Díaz V., J. C.; Vergara, D. M. y Macías, N. D. (2011) Evaluación económica de la captación de agua lluvia como fuente alternativa de recurso hídrico en la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia. Producción Más Limpia. 6(1) (Enero – Julio). pp 76-84.

Bedoya M, C.M. (2007). Construcción sostenible. Para volver al camino. Biblioteca Jurídica Diké. Medellín, Colombia.

Bedoya M, C.M. (2011). Construcción sostenible. Para volver al camino. Biblioteca Jurídica Diké. Medellín, Colombia.

Bedoya M, C.M. (2015). Del residuo al material. Minería a la inversa. Biblioteca Jurídica Diké. Medellín, Colombia.

Bellido J, Barcellos C, Barbosa F, Bastos F. (2010) Saneamiento ambiental y mortalidad en niños menores de 5 años por enfermedades de transmisión hídrica en Brasil. Revista Panamericana De Salud Publica [serial online]. 28(2):114-120.

Cano R., E.A.y Bedoya M. C.M. (2010). Agua lluvia para uso no potable en edificios de vivienda en altura en Medellín. “incidencias técnicas, económicas, legales y ambientales. Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería ACOFI, Cartagena, 2016

Cano R., E.A. (2016) (Tesis de maestría) Agua lluvia para uso no potable en edificios de vivienda en altura. Incidencias legales, ambientales, técnicas y económicas. Naranjal, Medellín, Colombia. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia.

- Cepis (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente). 2001. Guía de diseño para captación del agua de lluvia. Lima, Perú. 18 pag.
- Cepis (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente). 2003. Inventario de la situación actual de las aguas residuales domésticas en Colombia. Sistemas integrados de tratamiento y uso de aguas residuales en América Latina: realidad y potencial. Perú. En: [www.cepis.ops.oms.org](http://www.cepis.ops.oms.org); consulta: septiembre de 2016.
- Daoud A, Swaileh K, Hussein R, Matani M. (2011) Quality assessment of roof-harvested rainwater in the West Bank, Palestinian Authority. *Journal of Water and Health* [serial online]. 9(3):525-533
- Douglas I, Alam K, Maghenda M, McDonnell Y, McLean L, Campbell J. (2008) Unjust waters: climate change, flooding and the urban poor in Africa. *Environment & Urbanization* [serial online]. 20(1):187-205.
- Granero C., J., Ferrando S., M., Sánchez A., M y Pérez B., C. (2015). Evaluación de impactos ambientales. Guía metodológica para la redacción de estudios de impactos ambientales. Segunda edición. Fundación Confemetal. Madrid, España.
- Gonzales D., M.E., *et al.* (2010). Degradación del colorante Rojo Punzó por medio de lodos anaerobios. *NOVA – Publicación Científica en Ciencias Biomédicas*. 8(14) (Julio – Diciembre). pp 229 – 236.
- Hernández G., C.D. (2017). Propuesta de mejoramiento para la captación, almacenamiento y reutilización de agua lluvia en la Institución San José Obrero. Corporación Universitaria Minuto De Dios. Bello, Colombia.
- IDEAM (2019). Promedios climatológicos. Bogotá. Colombia. Recuperado: (<http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/clima>)



ICONTEC (2004). Norma técnica colombiana NTC 1500: Código Colombiano de fontanería. Colombia.

Keller R, Justino J, Cassini S. (2013) Assessment of water and seafood microbiology quality in a mangrove region in Vitória, Brazil. *Journal of Water And Health [serial online]*. 11(3):573-580

Marin G. R. (2003). Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos. Tratamiento y control de calidad de aguas. Ediciones Diaz de Santos. Madrid, España.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2018). Estudio Nacional del agua 2018. Bogotá D.C., Colombia.

Ministerio de Ambiente, vivienda y desarrollo territorial. (2010). Decreto 3930 “Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo 11 del Título VI-Parte 11I- Libro 11 del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones”. Bogotá, Colombia.

Ministerio de la protección social y ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. (2007). Resolución 2115 “Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano”. Bogotá, Colombia.

Ministerio de la protección social y ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. (2007). Decreto 1575 “por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano”. Bogotá, Colombia.

Ministerio de vivienda, ambiente y desarrollo territorial. (2010). Política Nacional de Producción y Consumo Sostenible. Bogotá, Colombia.

Ministerio de vivienda, ambiente y desarrollo territorial. (2015). Decreto 1077 “Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio. Bogotá, Colombia.

Ministerio de vivienda, ambiente y desarrollo territorial. (2015). Decreto 1285 “Por el cual se modifica el Decreto 1077 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio, en lo relacionado con los lineamientos de construcción sostenible para edificaciones”. Bogotá, Colombia.

Ministerio de vivienda, ciudad y territorio. (2015). Guía de construcción sostenible para el ahorro de agua y energía en edificaciones. Bogotá, Colombia.

Ministerio de vivienda, ciudad y territorio. (2015). Resolución 0549 “Por la cual se reglamente el Capítulo 1 del Título 7 de la parte 2, del libro 2 del Decreto 1077 de 2015, en cuanto a los parámetros y lineamientos de construcción sostenible y se adopta la Guía para el ahorro de agua y energía en edificaciones”. Bogotá, Colombia.

ONU (Organización de las Naciones Unidas). 2015. Objetivos de desarrollo sostenible (ODS), Agenda de desarrollo post-2015 de la Organización de las Naciones Unidas. USA.

Ospina-Zuñiga, O.E. y Ramírez-Arcila, H. (2014). Evaluación de la calidad del agua de lluvia para su aprovechamiento y uso doméstico en Ibagué, Tolima, Colombia.

Ingeniería Solidaria, Vol 10, No 17 (enero – diciembre), 2014. pp 125 – 138.

Pacheco M., M. (2008). Avances en la Gestión Integral del Agua Lluvia (GIALL): Contribuciones al consumo sostenible del agua, el caso de “Lluviatl” en México.

Revista internacional sostenibilidad, tecnología y humanismo. No 3, 2008. pp 39 – 57.

Palacio C., N. (2010). Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia, como alternativa para el ahorro de agua potable, en la institución educativa maría auxiliadora de Caldas, Antioquia. Colombia.

Rahel F, Olden J. (2008) Assessing the Effects of Climate Change on Aquatic Invasive Species. *Conservation Biology* [serial online]. 22(3):521-533.

Romero R. J.A. (2013). Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño. Editorial Escuela de Ingeniería de Colombia. Bogotá, Colombia.

Silva J., Torres P. y Madera C. (2008). Reuso de aguas residuales domésticas en agricultura. Una revisión. *Agronomía colombiana*. 26(2) (Julio – Diciembre). pp 347 – 359.

Silvero H., M, Hoyos M., J.E. y Ocaña P., J.A. (2012). Water sustainable management for buildings. *Actas Universitarias* 22(8) (Noviembre – Diciembre). pp 12 - 18.

Stedinger J. (2012) Statistical Methods for Assessing Flood Risk and the Climate Change Challenge. *Revista De Ingeniería* [serial online]. (36):48-53.