

**OPTIMIZACIÓN DE UN SISTEMA DE FILTRACIÓN CON NANOMATERIALES PARA LA
MEJORA DE LOS INDICES DE CALIDAD DEL AGUA.**



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

ELABORADO POR:

CRISTIAN LINAREZ GARCÍA CÓDIGO: 505785
ANYI CAROLINA GONZÁLEZ ESCOBAR CÓDIGO: 505905

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ
2019

**OPTIMIZACIÓN DE UN SISTEMA DE FILTRACIÓN CON NANOMATERIALES PARA LA
MEJORA DE LOS INDICES DE CALIDAD DEL AGUA.**

ELABORADO POR:

**CRISTIAN LINAREZ GARCÍA CÓDIGO: 505785
ANYI CAROLINA GONZÁLEZ ESCOBAR CÓDIGO: 505905**

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Civil

DIRECTOR:

**WILFREDO MARIMON BOLIVAR.
INGENIERO QUÍMICO**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ
2019**



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

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

Para leer el texto completo de la licencia, visita:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



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

hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



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



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

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecerle a Dios por permitirme llegar hasta este momento, por siempre darme la paciencia y perseverancia de alcanzar todo lo que me propongo, su creencia a él ha permitido todo esto.

Gracias a Dios por darme una familia que me apoya en todos los momentos de mi vida, gracias a mis padres, su apoyo incondicional, su crianza, sus valores y amor han permitido que sea una mejor persona día a día. A mi abuela Rosa por tanto amor, por sus oraciones y bendiciones.

Asimismo, gracias a mis compañeros de Universidad, compañero de trabajo de grado, profesores que con su ayuda y conocimientos harán de mí una excelente profesional. A mi director de tesis, Wilfredo Marimón que con sus consejos, correcciones y apoyo nos ha permitido culminar este trabajo.

Por último, agradecerle a la empresa donde laboro SESAC S.A por darme la oportunidad de enseñarme diariamente y ayudarme a crecer profesionalmente.

Anyi González Escobar

Agradezco a Dios por permitirme conquistar este tan grande logro dándome sabiduría y perseverancia todos los días. A mis padres por apoyarme cada segundo de mi vida. A los docentes y cada ingeniero que estuvo apoyándome en mi formación profesional y aportando nuevos conocimientos para culminar esta excelente profesión.

Cristian Linarez

Nota de Aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá D.C. 29 de abril de 2019.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	11
1. GENERALIDADES	12
1.1. INTRODUCCIÓN	12
1.2. ANTECEDENTES	13
1.3. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	15
1.4. OBJETIVOS	16
1.4.1. OBJETIVO GENERAL.....	16
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
1.5. JUSTIFICACIÓN.....	17
1.6. DELIMITACIÓN	17
1.6.1. ALCANCES.....	17
1.6.2. LIMITACIONES	17
1.7. MARCO DE REFERENCIA	18
1.7.1. MARCO TEÓRICO.....	18
1.7.2. MARCO CONCEPTUAL	25
1.8. ESTADO DEL ARTE.....	28
1.9. METODOLOGÍA.....	31
1.9.1. OBTENCIÓN DE LAS MUESTRAS DE AGUA	31
1.9.2. CARACTERIZACIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO	31
• Caracterización	31
1.9.3. CARACTERIZACIÓN DE LAS MUESTRAS DE AGUA	32
• Obtención curva de ruptura mediante flujo continuo	34
2. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	36
2.1. CARACTERIZACIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO	36
2.1.1. CARACTERIZACIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO	36
2.2. CARACTERIZACIÓN DE LAS MUESTRAS DE AGUA	41

2.2.1.	CONDICIONES INICIALES DE LAS MUESTRAS DE AGUA	41
2.2.2.	CONDICIONES DE LAS MUESTRA DE AGUA DESPUÉS DEL PROCESO DE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN	43
2.2.1.	CONDICIONES DEL AGUA DESPUÉS DE LA FILTRACIÓN POR EL CARBÓN ACTIVADO GRANULAR	49
2.2.1.	CONDICIONES DE LA MUESTRA DE AGUA DESPUÉS DE LA FILTRACIÓN POR EL CARBÓN ACTIVADO IMPREGNADO CON NANOPARTÍCULAS MAGNÉTICAS. 50	
2.3.	INDICE DE CALIDAD DE AGUA (IDC)	57
2.4.	OBTENCIÓN DE LA CURVA MEDIANTE FLUJO CONTINUO	60
3.	CONCLUSIONES.....	65
4.	RECOMENDACIONES.....	67
5.	BIBLIOGRAFÍA.....	68
6.	ANEXOS.....	71
6.1.	ANEXO A- REGISTRO FOTOGRAFICO	71
6.2.	ANEXO B- ENSAYO SEM.....	76

LISTA DE TABLAS.

Tabla 1-1.	Variables y ponderaciones para el caso de cinco variables	19
Tabla 1-2.	Variables y ponderaciones para el caso de seis variables.....	19
Tabla 1-3.	Calificación de la calidad del agua según valores del ICA	19
Tabla 1-4.	Características físicas expuestas en la Resolución 2115 de 2007	26
Tabla 2-1.	Parámetros fisicoquímicos muestra de agua lluvia	42
Tabla 2-2.	Parámetros fisicoquímicos muestra de agua contaminada.....	42
Tabla 2-3.	Resultados de turbiedad después de la coagulación	46
Tabla 2-4.	Parámetros fisicoquímicos para la muestra de agua lluvia después del proceso de coagulación-floculación.....	47

Tabla 2-5. Parámetros fisicoquímicos para la muestra de agua contaminada después del proceso de coagulación-floculación.....	47
Tabla 2-6. Parámetros fisicoquímicos de la muestra de agua lluvia después de la filtración por el carbón activado sin nanopartículas	49
Tabla 2-7. Parámetros fisicoquímicos de la muestra de agua contaminada después de la filtración por el carbón activado sin nanopartículas.....	49
Tabla 2-8. Parámetros fisicoquímicos de la muestra de agua lluvia después de la filtración por el carbón activado con nanopartículas	51
Tabla 2-9. Parámetros fisicoquímicos de la muestra de agua contaminada después de la filtración por el carbón activado con nanopartículas	51
Tabla 2-10. Porcentaje de disminución de los parámetros en la muestra de agua contaminada para cada filtro.....	53
Tabla 2-11. Porcentaje de disminución de los parámetros en las muestras de agua lluvia para cada filtro.....	54
Tabla 2-12. Valor de importancia para los parámetros	57
Tabla 2-13. Factores de normalización	58
Tabla 2-14. Índice de calidad agua para la muestra agua lluvia filtración sin nanopartículas.....	58
Tabla 2-15. Índice de calidad agua para la muestra agua contaminada filtración sin nanopartículas.....	59
Tabla 2-16. Índice de calidad agua para la muestra agua lluvia filtración con nanopartículas.....	59
Tabla 2-17. Índice de calidad agua para la muestra agua contaminada filtración con nanopartículas.....	60
Tabla 2-18. Datos de adsorción para cada tiempo a una altura de 22 cm	61
Tabla 2-19. Datos de adsorción para cada tiempo a una altura de 18 cm	61
Tabla 2-20. Datos de adsorción para cada tiempo a una altura de 12 cm	62
Tabla 2-21. Datos obtenidos de la recta	63
Tabla 2-22. Resultados de los parámetros No, K y Do	64

LISTA DE IMÁGENES.

Imagen 2-1. Agua contaminada en su condición inicial.....	43
Imagen 2-2. Montaje para la titulación	44
Imagen 2-3. Titulación para la muestra de agua contaminada	44
Imagen 2-4. Titulación para la muestra de agua lluvia	45
Imagen 2-5. Montaje test de jarras.....	45
Imagen 2-6. Resultado del agua contaminada después de la coagulación	48
Imagen 6-1. Montaje para determinar la alcalinidad	71
Imagen 6-2. Muestra de agua contaminada	71
Imagen 6-3. Cresol para determinar sólidos totales.....	72
Imagen 6-4. Montaje para el procedimiento de test de jarras.....	72
Imagen 6-5. Coagulante de policloruro de aluminio y probeta para medición.....	73
Imagen 6-6. Flocs formados para el agua contaminada	73
Imagen 6-7. Muestra de agua contaminada después de proceso de coagulación	74
Imagen 6-8. Montaje del filtro	74
Imagen 6-9. Muestra de agua lluvia después del proceso de filtración	75
Imagen 6-10. Muestra de agua contaminada después del proceso de filtración	75

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1. Proceso de la electrocoagulación	21
Figura 1-2. Procesos de fotocátalisis heterogénea	22
Figura 1-3. Tipos de filtros según la dirección del flujo.	23
Figura 2-1. Imagen microscópica carbón activado	36
Figura 2-2 Nanopartículas magnéticas en la superficie del carbón activado	37
Figura 2-3. Concentración de carbón activado	37

Figura 2-4. Resultados obtenidos del ensayo espectrómetro	38
---	----

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfica 1-1. Diagrama de flujo del procedimiento metodológico	35
Gráfica 2-1. Difractograma del compuesto Fe_3O_4	39
Gráfica 2-2. Magnetización de las MPs sintetizadas.....	40
Gráfica 2-3. Grupos funcionales de la muestra de carbón activado con nanopartículas	40
Gráfica 2-4. Análisis de Brunauer- Emmett- Taller (BET) de MNPs	41
Gráfica 2-5. Comparación de parámetros turbiedad, color y TDS para agua lluvia	52
Gráfica 2-6. Parámetros de turbiedad, color y TDS para agua contaminada	52
Gráfica 2-7. Diferencia del pH en cada fase	54
Gráfica 2-8. Diferencia de la conductividad en cada fase	55
Gráfica 2-9. Diferencia de la resistividad en cada fase	55
Gráfica 2-10. Diferencia de color en cada fase	56
Gráfica 2-11. Diferencia de la turbiedad en cada fase.....	56
Gráfica 2-12. Diferencia de los sólidos totales para cada fase	57
Gráfica 2-13. Curva de ruptura para una altura de 22 cm	61
Gráfica 2-14. Curva de ruptura para una altura de 18 cm	62
Gráfica 2-15. Curva de ruptura para una altura de 12 cm	63

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1-1. Determinación de la calidad de agua	34
Ecuación 2-1. Cálculo de pendiente.....	64
Ecuación 2-2. Cálculo de la constante de velocidad	64
Ecuación 2-3. Cálculo profundidad critica del lecho	64

RESUMEN

El trabajo de investigación presenta la reducción de los parámetros fisicoquímicos que determinan la calidad del agua comparando los resultados obtenidos en la filtración mediante el carbón activado estándar y modificado con nanopartículas magnéticas para dos muestras de agua, agua lluvia y agua contaminada (correspondiente a el agua que reposa en el desarenador del laboratorio de Pavimentos de la Universidad Católica de Colombia).

En primer lugar, se realizó la síntesis del carbón activado mediante el método ecológico síntesis verde con el fin de impregnar las nanopartículas al carbón activado. Así mismo, se realizó la caracterización del carbón activado para determinar qué porcentaje de carbón activado, nanopartículas magnéticas y otros elementos se encontraban en la muestra, el tamaño de las nanopartículas, cuanta magnetización tenían las nanopartículas y grupos funcionales actuantes quienes son los encargados de eliminar y/o reducir los contaminantes.

Finalmente, se determinaron los parámetros fisicoquímicos de cada muestra de agua en sus condiciones iniciales, después del proceso de coagulación-floculación y después del proceso de filtración mediante el carbón activado estándar y el modificado con las nanopartículas con el fin de determinar que parámetros fisicoquímicos se redujeron y el índice de calidad del agua para cada muestra.

Los resultados obtenidos muestran la ventaja y eficacia de utilizar carbón activado modificado con nanopartículas magnéticas debido a que se tuvo una reducción entre el rango de 65% al 90% en los parámetros de turbiedad, color y sólidos totales, de igual manera los valores del índice de calidad del agua para cada muestra se encuentran en un valor 0,865 lo cual significa que las muestras de agua después de la filtración por el carbón activado con nanopartículas magnéticas son aceptables.

1. GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, en muchos países personas de escasos recursos carecen de falta de agua potable para el consumo humano esto ha generado la necesidad de crear nuevas alternativas para el tratamiento de agua. Asimismo, debido al crecimiento tecnológico en la actualidad, la nanotecnología se ha convertido en una de esas nuevas alternativas para mejorar los tratamientos del agua ya que ofrecen aceleración en los procesos de purificación debido a la naturaleza de ellas mismas.

El uso de la nanotecnología en el tratamiento de agua ha demostrado según estudios que ayudan en tratamientos como desalinización, desinfección, depuración entre otros procesos utilizados para tal fin, los nanomateriales principalmente se han utilizado en adsorbentes, membranas, sensores en la calidad de agua y en fotocatalisis, lo cual convierte a esta tecnología como un campo lleno de posibilidad para el sector de tratamiento de aguas. (Peñate, 2016)

Hoy en día grandes empresas comercializan productos utilizados para el tratamiento de aguas, una de ellas es la empresa Open MS compañía española especializado en la nanotecnología aplicada quien ofrece productos basados en el patente NANOMESHTM (Patente utilizado para eliminar bacterias, virus, sedimentos, tintes, cloro, sabor y olor, metales pesados y contaminantes químicos), el cual consiste en una unidad de nanofiltración con nanotubos de carbono. («Sistema de Nanofiltración Seldon WaterTap™» 2017)

Es por esta razón que se modificó con nanopartículas magnéticas al carbón activado mediante la sintetización de este material con las nanopartículas por el método verde con el fin de realizar el proceso de filtración con el carbón activado utilizado en el filtro de la Universidad Católica y el carbón activado modificado con las nanopartículas para comparar los índices de calidad del agua en una muestra de agua en estado natural (agua lluvia) y una residual (agua que reposada en el desarenador del Laboratorio de Pavimentos de la Universidad Católica de Colombia).

Para lograr lo anterior, se realizaron ensayos como: sintetización del carbón activado mediante el método verde, caracterización del carbón activado mediante diferentes pruebas de laboratorio con el fin de determinar las características del carbón activado como su área superficial, grupos funcionales y propiedades magnéticas. Posteriormente se realizó la caracterización de cada muestra de agua para conocer las condiciones iniciales y después el proceso filtración mediante los dos filtros para conocer las condiciones del agua a la salida del filtro.

1.2. ANTECEDENTES

La necesidad de satisfacer la demanda de agua que las personas requieren en todo el mundo ha generado la búsqueda de diferentes medios de potabilización, uno de estos y el más usado, son las plantas de tratamiento de agua potable, compuesta por procesos como: predecantación, mezcla rápida, coagulación, floculadores, decantación, filtración y cloración (Reynolds, 2001), esto, para garantizar eficiencias de los índices de calidad del agua. Con el fin de estudiar y evaluar el comportamiento de estos procesos, se han generado diferentes investigaciones sobre cada uno, uno de ellos es el proceso de filtración.

El medio granular que se ha utilizado para filtros de agua incluye arena, carbón de antracita machacado, tierra de diatomeas, perlita y carbón activado. El desarrollo del filtro de arena para el agua tuvo lugar en Inglaterra a mediados del siglo XIX que generalmente dieron buenos resultados para las aguas superficiales brutas de Inglaterra. A finales del siglo XIX la filtración de arena con coagulación utilizada en América, trabajaban con velocidades más elevadas. Después de la segunda guerra mundial, para filtrar agua potable se comenzó a dar implementar filtros de tierra de diatomeas, aunque su uso es limitado, se aplican comúnmente para la filtración en piscinas e industriales. Asimismo, los filtros de carbón activo en polvo se utilizaban para eliminar sólidos en suspensión, gustos y olores (adsorción) en los suministros pequeños de agua. (Walter y Weber, 2003)

La filtración es el primer sistema conocido de tratamiento de agua, el primer uso de la filtración para la potabilización, fue en el año 1804 en Escocia, cuando John Gibb (Ingeniero civil) propietario de una instalación industrial decidió vender el excedente de agua al público, llevándolo a instalar un filtro experimental. En París, se inauguró una planta de tratamiento de agua en el año 1806. Utilizaba sedimentación seguida de filtración por medio de una serie de filtros que contenían arena gruesa de río, arena limpia, carbón vegetal y más arena limpia (Team, 2006).

Posteriormente, se han desarrollado investigaciones y aplicaciones para el desarrollo de sistemas de filtros convencionales con diferentes materiales filtrantes, esto con el fin de demostrar la eficiencia que tiene este proceso para el tratamiento de aguas, como:

En el año 2012, en la **Universidad de San Carlos de Guatemala**, el Ingeniero **José Ramón López López**, como trabajo de grado par su maestría, realizo un sistema de filtración para la caracterización y eficiencia en la remoción de la materia orgánica, medida como la demanda bioquímica de oxígeno, la demanda química de oxígeno, fosforo total, nitrógeno total y solidos suspendidos, a la salida del medio del filtro intermitente utilizando como medio filtrante arena pómez, ubicada en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “Ing. Arturo Pazos Sosa”(Carlos et al., 2012).

En el año **2016**, en la **Universidad Libre**, los **Ingenieros Iván Ricardo Ávila Bareño y Mario Arturo Moreno Figueroa**, como trabajo de grado para su especialización, realizaron el diseño de un filtro para tratamiento de aguas de uso doméstico en tanques de reserva del casco urbano de la Inspección de San Antonio de Anapoima, en el cual plantearon y evaluaron tres (03) opciones de filtros con diferentes materiales, para así, escoger el adecuado. En este procedimiento sus tres opciones consistieron en un filtro arena y grava de seis capas, un filtro de arena y grava de 3 capas y filtro de arena de dos capas, una capa de carbón, una capa de zeolita y de grava, seleccionando como opción optima del filtro la opción 3 (filtro de arena de dos capas, una capa de carbón, una capa de zeolita y de grava), ya que, los diferentes componentes bioquímicos permitían la remoción de la turbiedad, dureza y calcio, en este calcio como mayor aportante a esto, se encuentra la Zeolita y el Carbón Activado pues brindan la calidad de agua y condiciones requeridas llegar al nivel de uso doméstico. (BAREÑO, 2016)

En el año **2018**, en la Universidad Católica de Colombia, las ingenieras **Kelly Yelleiny Díaz y Yerli Edith Niño Lozada** elaboraron como proyecto de grado, un sistema de filtración para la potabilización del agua con medios filtrantes naturales como grava, arena y carbón activado con el fin de evaluar por medio de una caracterización de estos materiales, los aportes y beneficios que cumplan los parámetros para la calidad de agua. (Díaz y Niño, 2018)

En el año **2012**, en la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México, los señores **María Eugenia Noriega-Treviño, Claudia Cristina Quintero-González, Jesús María Guajardo-Pacheco, José Elpidio Morales-Sánchez, y Martha Eugenia Compeán-Jasso**, pertenecientes al Centro de Investigación en Materiales Avanzados de México, realizaron un trabajo de investigación relacionado a la Desinfección y purificación de agua mediante nanopartículas metálicas y membranas compósitas. En este trabajo se presenta un estudio comparativo de la efectividad antibacterial de nanopartículas metálicas y de aguas de diferente composición química contra dos microorganismos: E E coli y E faecalis para ello sintetizaron cinco tipos de partículas metálicas caracterizándolas mediante las técnicas de microscopia electrónica de transmisión (MET), dispersión dinámica de luz (DDL) y espectroscopia UV-Visible. Como resultado obtuvieron que entre menos tamaño tengas las nanopartículas, mayor será la actividad bacteriana. (Sánchez et al., 2012)

En el año **2013**, en la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, la Estudiante de maestría **Maricelly Martínez Aguilar**, el Estudiante de Doctorado, **Camilo Andrés Franco Ariza** y el Director del Grupo de investigación en Yacimientos de Hidrocarburo, Facultad de Minas, **Farid Bernardo cortés**, elaboraron un trabajo de investigación basado en estudios para determinar la eficiencia de las nanopartículas de sílice con residuos de refinería 2 y al 4% wt, de igual manera utilizaron nanopartículas de zeolita y zeolita modificada al 2 y 4% wt , esto con el fin de para reducir la cantidad de crudo en las emulsiones crudo/agua, para obtener dicho propósito utilizaron un rango de concentración de crudo inicial de 200 hasta 2000 mg/l. El cambio en la concentración después de la adsorción lo determinaron utilizando un espectrofotómetro UV visible utilizando los modelos de Langmuir y Freundlich

para ajustar las isothermas de adsorción a los datos experimentales. Como resultado obtuvieron que las nanopartículas que tuvieron mayor reducción fueron las de sílice modificada al 4% para una concentración de 200 mg/g, puesto que tuvo un 100% de eliminación del crudo a comparación que las de zeolita. (Maricelly, Cortes y Camilo, 2013)

En el año **2004** Investigadores del **Instituto Politécnico Rensselaer** y la **Universidad Hindú Banaras** implementaron un método para la producción de filtros de nanotubos de carbono con el fin de eliminar eficientemente los contaminantes o gérmenes de nanoescala que se encuentran en el agua y los hidrocarburos pesados del petróleo, para lograr lo anterior fabricaron nanotubos pulverizando benceno en un molde de cuarzo en forma de tubo, esta composición permiten que los filtros sean fuertes, reutilizables y resistentes al calor. Los experimentos realizados demostraron la eliminación del virus de polio del agua el cual tiene un tamaño de 25 nms, asimismo, eliminación de los patógenos de mayor escala, la bacteria E. Coli. (Robert, 2004)

1.3. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El suministro y purificación de agua hoy en día es uno de los problemas con mayor preocupación para la población a nivel mundial, según estadísticas, alrededor de 2.00 millones de personas no cuentan con acceso a agua potable, de las cuales 844 millones no tienen un servicio básico de agua potable (Ecoticias, 2018). La contaminación en el agua es un problema de importancia, puesto que, ha crecido potencialmente debido a las industrializaciones. Actualmente, ceca del 80% de las enfermedades y muertes en el mundo es por la falta de la población de agua potable. Según datos de la OMS (Organización Mundial de la Salud), la cuarta parte de la población mundial carece de agua potable (1.500 millones) y unos cinco (05) millones mueren debido a enfermedades hídricas (ABC COLOR, 2003).

Por tal razón, agencias gubernamentales, ambientales, universidades y demás organizaciones se han estado preocupando por evaluar el impacto generado por la actividad humana sobre los recursos hídricos, a través del estudio de la naturaleza química, física y biológica del agua, mediante programas de monitoreo (González, 2011). En Colombia, la entidad encargada de medir los diferentes índices de calidad y contaminación del agua es el Instituto Nacional de la Salud, que implemento un aplicativo para establecer el sistema de protección y control del agua para el consumo humano.

Para controlar y mejorar los índices de calidad de agua y contaminación en los recursos hídricos mundialmente, se ha implementado el tratamiento de ellos mismos, mediante procesos físicos como la sedimentación, en la que se deja que los contaminantes se depositen en el fondo por gravedad, hasta procesos físicos complejos como la filtración-evaporación, químicos como la precipitación química. Reducción electrolítica y biológicos como lodos activos-filtros bacterianos. (González, 2011)

La filtración, es uno de los procesos más frecuentes en el desarrollo para potabilizar agua, puesto que, ayuda a eliminar los sedimentos solidos suspendidos (Joh et al., 2011). Los procesos de filtración son los más adecuados para reducir niveles de materia sólida, compuestos hidrocarbonados, y diferentes partículas de suciedad orgánica e inorgánica, sin embargo, siendo más las ventajas que las desventajas, generados en el proceso de filtración, el uso recurrente de este hace que con el tiempo no se ejecute adecuadamente, debido a el desgaste de los materiales (Berdonces, 2008). Es por esto que, gracias al avance tecnológico, se ha comenzado a optimizar y acelerar el proceso para la purificación de agua mediante la fabricación de sistemas de filtros nano que permitan tal fin. Por tal razón, se quiere evaluar y medir mediante la utilización de nanomateriales en un sistema de filtración existente en la Universidad Católica de Colombia, como varían los parámetros de calidad de agua con esta modificación. Debido a lo anterior ¿Es factible la implementación de nanomateriales para mejorar los índices de calidad de agua en un sistema de filtración? .

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Optimizar un sistema de filtración existente en la Universidad Católica de Colombia mediante el uso de nanomateriales para mejorar los índices de calidad del agua.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar la caracterización de los parámetros fisicoquímicos de una muestra de agua lluvia y contaminada.
- Caracterizar y sintetizar el nanomaterial.
- Evaluar y analizar la eficiencia de nuevas tecnologías en la potabilización del agua.
- Comparar los resultados de los índices de calidad del agua mediante el sistema de filtración existente y modificada.

1.5. JUSTIFICACIÓN

El agua es uno de los recursos más abundantes que existe en el planeta Tierra, puesto que se necesita buena cantidad para satisfacer las necesidades de los seres vivos hoy en día, ya sea en el sector doméstico y público, industrial, agrícola y demás campos que utilizan el agua como fuente de desarrollo, de igual manera este recurso es uno de los más descuidados y desperdiciados, debido a que hay poca demanda en el tratamiento del agua una vez ha sido utilizada y lleva con ella sustancias, residuos, entre otros agente contaminantes que afectan la calidad del agua para poder ser reutilizada (MUÑOZ CRUZ AMÍLCAR, 2008). Los agentes contaminantes han crecido potencialmente, lo cual ha conllevado a la preocupación de crear tecnologías que superen a las de hoy en día y que puedan mejorar el tratamiento del agua cruda o en estado natural.

Es así, que la nanotecnología se ha convertido en una de las ramas más usadas por científicos, investigadores y estudiantes para la elaboración de diferentes ensayos en ares de la infraestructura (Uribe y López, 2007). Su avance y crecimiento se ha visto a la necesidad de usar estos nuevos recursos de tecnología en procesos de filtración para el tratamiento de agua, buscando mejorar la calidad de agua y el beneficio de muchas personas, asimismo incrementar el uso de la nanotecnología en los problemas y necesidades que enfrenta la sociedad, conociendo que en los últimos años se ha logrado mejorar desde las propiedades de materiales naturales como la arcilla hasta el funcionamiento de equipos tecnológicos. (Aurelia et al., 2018)

1.6. DELIMITACIÓN

1.6.1. ALCANCES

Según lo planteado dentro la investigación se estimó una labor de cuatro (4) meses para el desarrollo del trabajo de investigación esto con el fin de presentar un sistema de filtración modificado con nanomateriales que permita demostrar la reducción los índices de calidad del agua correspondientes a una muestra de agua lluvia y contaminada (agua utilizada en el laboratorio de suelos de la Universidad Católica de Colombia). Por otro lado, el alcance es también demostrar que el uso de los nanomateriales hoy en día es eficaz para comenzar estas tecnologías en los procesos de filtración del agua.

1.6.2. LIMITACIONES

La principal limitación para la elaboración de este trabajo de investigación, es el lapso de tiempo tan limitado con el que se cuenta para el desarrollo de este, ya que se tiene que conseguir los materiales y materia prima que se van a utilizar, los equipos que se van a utilizar para la determinación de los parámetros que determinan la calidad del agua puesto que el laboratorio de Plantas de la Universidad Católica de Colombia no cuenta con algunos equipos que se requieren para ello y por lo cual hay que hacer uso de otras instalaciones

externas a la Universidad, asimismo la disponibilidad de las instalaciones que vamos a utilizar.

1.7. MARCO DE REFERENCIA

1.7.1. MARCO TEÓRICO.

1.7.1.1. ÍNDICES DE CALIDAD DEL AGUA

El deterioro de las fuentes de abastecimiento de agua incide directamente en el nivel de riesgo sanitario presente y en el tipo de tratamiento requerido para su reducción; los estudios de la calidad del agua ayudan a informarse sobre las acciones necesarias para poder controlar y mitigar la contaminación del agua, asegurando un abastecimiento de agua segura. Una de las herramientas para llevar el control de la calidad de agua son los índices de calidad de agua —ICA—; los de tipo multiplicativo son más sensibles a las variaciones en la calidad del agua que los de tipo aditivo. Aquellos que consideran las variaciones en el tiempo y en el espacio y además permiten una comparación con la normativa vigente en la zona de estudio, como en CCME — WQI y DWQI. Para el uso de estas fuentes para abastecimiento humano, valores entre 90 y 100 de la generalidad de los ICA implican tratamientos menores como sólo desinfección, mientras que entre 50 y 90 requieren tratamiento convencional y en algunos casos tratamientos especiales que están asociados a mayores costos y complejidad (Lozada, Vélez y Patino, 2009).

Un índice de calidad de agua, consiste en la combinación y relación más o menos compleja de un número de parámetros, que sirven para determinar medidas establecidas la calidad en la que se encuentra el agua. El índice puede ser representado por un número, un rango, una descripción verbal, un símbolo o un color (Fernandez y Solano, 2013).

Los parámetros mayormente empleados en los ICA presentados son el oxígeno disuelto y el pH, seguido por la DBO, los nitratos, los coliformes fecales, la temperatura, la turbiedad y los sólidos disueltos totales.

Los índices de calidad en Colombia, según el IDEAM, se hacen con base en las mediciones obtenidas para un conjunto de cinco o seis variables, que se registran en una estación de monitoreo. En la Tabla 1-1 y Tabla 1-2 se observan las variables para cada caso.

Tabla 1-1. Variables y ponderaciones para el caso de cinco variables

Variable	Unidad de medida	Ponderación
Oxígeno disuelto	% Saturación	0,2
Sólidos suspendidos totales	mg/L	0,2
Demanda química de oxígeno	mg/L	0,2
Conductividad eléctrica	μ/cm	0,2
Ph	Unidades Ph	0,2

Fuente: Indicadores de la calidad del agua: evolución y tendencia a nivel global (Castro, Almedis y Ferrer, 2014)

Tabla 1-2. Variables y ponderaciones para el caso de seis variables

Variable	Unidad de medida	Ponderación
Oxígeno disuelto	% Saturación	0,17
Sólidos suspendidos totales	mg/L	0,17
Demanda química de oxígeno	mg/L	0,17
Nitrógeno total	-	0,17
Conductividad eléctrica	μ/cm	0,17
pH	Unidades Ph	0,15

Fuente: Indicadores de la calidad del agua: evolución y tendencia a nivel global (Castro, Almedis y Ferrer, 2014)

En la Tabla 1-3 se encuentran los valores que toma el ICA para la calificación de la calidad del agua.

Tabla 1-3. Calificación de la calidad del agua según valores del ICA

Categorías de valores	Calificación calidad de agua	Señal de alerta
0-0.25	Muy mala	
0.26-0.50	Mala	
0.51-0.70	Regular	
0.71-0.90	Aceptable	
0.91-1	Buena	

Fuente: Indicadores de la calidad del agua: evolución y tendencia a nivel global (Castro, Almedis y Ferrer, 2014)

1.7.1.2. TÉCNICAS CONVENCIONALES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA

El tratamiento de aguas es el conjunto de operaciones de tipo físico, químico o biológico que tienen como fin la eliminación o reducción de la contaminación, así como la eliminación de las características no deseables de las aguas, bien sean naturales, de abastecimiento, de proceso o residuales llamadas, en el caso de las urbanas, aguas negras. Las aguas residuales (o servidas) pueden provenir de actividades industriales o agrícolas, instituciones, locales comerciales y del uso doméstico. (MUÑOZ CRUZ AMÍLCAR, 2008)

1.7.1.3. PROCESOS FÍSICOS

Los procesos físicos de tratamiento de aguas residuales son aquellos en los que se requiere la implementación de fuerzas físicas para el tratamiento. Los principales procesos físicos son: Desbaste, dilaceración, evaporación, homogenización de caudales, mezclado, floculación, sedimentación, flotación, filtración. (MUÑOZ CRUZ AMÍLCAR, 2008)

- **TRATAMIENTO POR OXIDACIÓN Y FILTRACIÓN**

Esta técnica se utiliza especialmente para aguas de pozo. Eventualmente puede añadirse un cierto número de tratamientos suplementarios, tales como: corrección de pH, oxidación química, decantación, etc. Es necesario airear agua de origen profundo carente de oxígeno. A veces resulta conveniente realizar una precloración, que acelera la oxidación del hierro y permite la eliminación química del amoníaco. (Orellana, 2005)

- **CLARIFICACIÓN POR COAGULACIÓN TOTAL, FLOCULACIÓN, DECANTACIÓN Y FILTRACIÓN**

Este tratamiento se aplica a las aguas que presentan una o varias de las características siguientes:

- Contenido de materias en suspensión que exceda de 20 a 40 k/m³ durante todo parte del año.
- Color superior a 30 mg/l de Pt-Co
- Contenido elevado de materias orgánicas, que quiere reducirse al mínimo.
- Contenido de metales pesados superior a la concentración máxima recomendada.
- Presencia abundante aún en el caso de que se temporal de plancton. (Orellana, 2005)

- **DILACERACIÓN**

Este procedimiento consiste en la trituración de sólidos a un tamaño menor y de manera homogénea. (Orellana, 2005)

1.7.1.4. PROCESOS QUÍMICOS

Procesos en donde se lleva a cabo la eliminación de los contaminantes del agua residual mediante la adición de reactivos químicos. Los principales procesos químicos son: precipitación química, transferencias de gases, separación de amoníaco, adsorción, desinfección, ozono, deoloración, eliminación de sustancias inorgánicas disueltas. (MUÑOZ CRUZ AMÍLCAR, 2008)

- **PRECIPITACIÓN QUÍMICA**

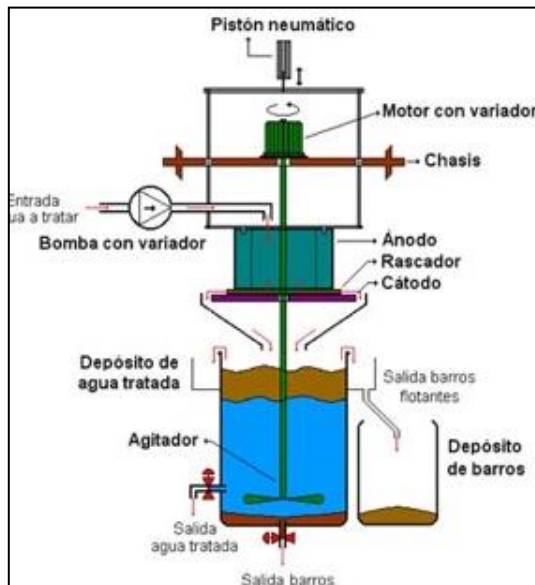
Consiste en añadir ciertos productos químicos al agua residual para que estos alteren el estado físico de los sólidos disueltos o en suspensión para que se produzca una eliminación por sedimentación. Mediante este proceso se elimina el 80% - 90% d la materia en suspensión, entre el 40% - 70% del DBO, 30% - 60% del DQO y 80% - 90% de bacterias. (MUÑOZ CRUZ AMÍLCAR, 2008)

1.7.1.5. OTRAS TÉCNICAS PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA

- **ELECTROCOAGULACIÓN**

La electrocoagulación es una técnica utilizada para el tratamiento de las aguas residuales. Los contaminantes de muy diversos efluentes son removidos aplicando el principio de coagulación, pero en este caso no se hace uso de un coagulante químico. En la Figura 1-1 se muestra la función que cumple el proceso de electrocoagulación. (Restrepo Mejía, Arango Ruíz y Garcés Giraldo, 2012)

Figura 1-1. Proceso de la electrocoagulación

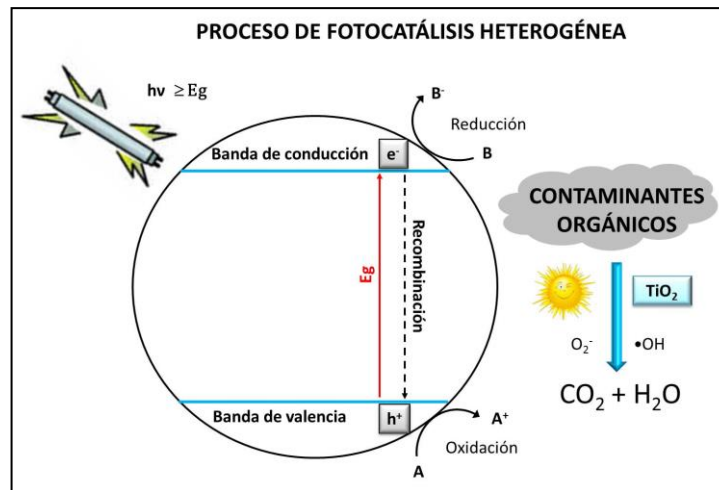


Fuente: <http://www.hidritec.com/hidritec/electrocoagulacion>

- **FOTOCÁTALISIS HETEROGÉNEA**

La fotocatalisis es la aceleración de una fotorreacción mediante un catalizador. Para la fotocatalisis heterogénea, se emplean semiconductores (sólidos en suspensión acuosa o gaseosa). Existen diferentes fotosensibilizadores como: Al_2O_3 , ZnO , Fe_2O_3 y TiO_2 . (Fernando et al., [sin fecha])

Figura 1-2. Procesos de fotocatalisis heterogénea



Fuente: http://fotoair.ciemat.es/presentacion_old

1.7.1.6. PROCESO DE FILTRACIÓN

Este proceso consiste en la separación de partículas y pequeñas cantidades de microorganismos (bacterias o virus) a través de un medio poroso que no han quedado retenidos en el proceso de sedimentación. Es la fase responsable de que se cumplan los estándares de calidad para el agua potable. Desde el punto bacteriológico, los filtros tienen una eficiencia de remoción superior a 99%. El tamaño de las partículas que quedan retenidas en mayor o menor proporción en los granos del lecho filtrante varía desde flóculos de 1mm hasta coloides, bacterias y virus inferiores a 10^{-3} mm. Cuando el floc tiene un volumen mayor que el de los poros del lecho filtrante quedará retenido por cernido en los intersticios del lecho; sin embargo, en el caso de las bacterias cuyo tamaño es mucho menor que el de los poros quedarán removidas por una serie de fenómenos. (Chulluncuy, 2011)

Las partículas que remueve la filtración se realizan mediante mecanismos físicos y químicos como:

- Cribado que puede ser mecánico o por oportunidad de contacto
- Sedimentación

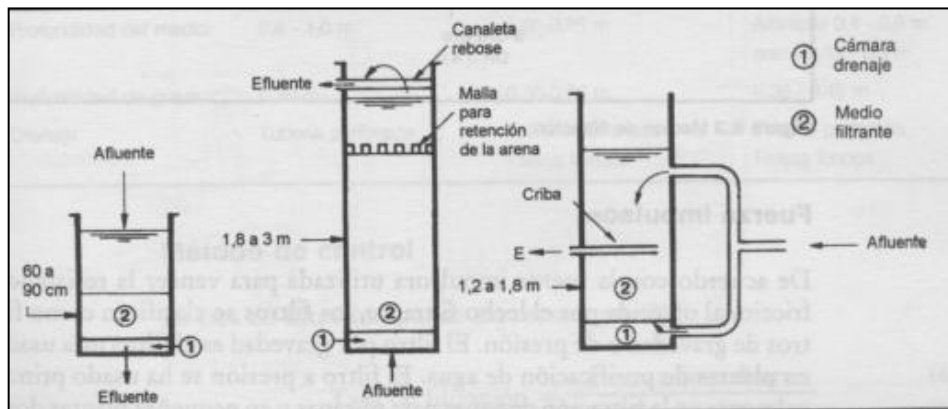
- Impacto inercial
- Intercepción
- Adhesión
- Adsorción química puede ser por enlace o interacción química.
- Adsorción física que pueden ser las fuerzas electrostáticas, electrocinéticas y las fuerzas de Vander Waals.
- Floculación
- Crecimiento biológico.

1.7.1.7. SISTEMAS DE FILTRACIÓN

Los sistemas de filtración se clasifican según la dirección de flujo, el tipo de lecho filtrante, fuerza impulsadora, tasa de filtración y el método de control de esta tasa.

- **Dirección del flujo:** Según la dirección de flujo los filtros se pueden clasificar en, flujo hacia abajo y arriba o flujo dual, como se observa en la Figura 1-3. (Romero, 2008)

Figura 1-3. Tipos de filtros según la dirección del flujo.



Fuente: Tomada del libro Potabilización del agua (Romero J,2008)

- **Lecho filtrante:** Se puede clasificar por un medio filtrante de antracita y arena o un lecho mezclado. (Romero, 2008)

1.7.1.8. VENTAJAS Y DESVENTAJAS

VENTAJAS

- Ofrecen elevada eficiencia de separación donde el factor clave es el cut flocc de la membrana.
- Son procesos que se pueden llevar a cabo a temperatura ambiente y de forma continua.
- El consumo de energía no es elevado y no se requiere el uso de reactivos químicos.
- Facilidad de combinación de esta técnica con otros procesos.

DESVENTAJAS

- No es una técnica que elimina el contaminante, sino que lo concentra.
- Costo de las membranas y su durabilidad.
- Problemas de degradación, ensuciamiento o polarización de la membrana.

1.7.1.9. NANOTOXICIDAD

El uso de las nanopartículas actualmente ha crecido potencialmente debido a su efecto positivo en diferentes áreas de estudio, no obstante, el uso de ellas ha creado interrogantes ya que investigaciones han demostrado que la toxicidad presente en algunas de ellas genera efectos negativos en la salud humana, medio ambiente, entre otros. (Ruiz, Barba y Lozano, [sin fecha])

La nanotoxicidad se refiere a los efectos adversos que las nanopartículas tienen sobre los organismos vivos y ecosistemas. Estudios aseguran que las nanopartículas para que sean consideradas un peligro deben tener una fuente de exposición a ellas y un daño que resulte de esta exposición, ya que estas se comportan de manera diferente a sus contrapartes macro debido a su tamaño. Es por esto que cada tipo de nanopartícula debe ser estudiada para determinar la toxicidad presente en cada una de ellas. Existen propiedades intrínsecas que deben ser consideradas para determinar la toxicidad de una nanopartícula, como:

1. Manera en la que puede afectar la nanopartícula cuando interactúa con las membranas biológicas.
2. Conjunto de propiedades superficiales.
3. Composición química. (Medina, Galván y Reyes, 2015)

La nanotecnología genera en la disciplina de la toxicología una lucha constante en desarrollar modelos biológicos que puedan caracterizar de forma rápida, precisa y menor

coste los nanomateriales utilizados hoy en día encontrados en el mercado ampliamente, esto con el fin de desarrollar nanopartículas seguras y sostenibles con el medio ambiente, sin ningún efecto negativo en los seres bióticos y abióticos.

1.7.2. MARCO CONCEPTUAL

1.7.2.1. CALIDAD DEL AGUA

La calidad del agua se puede describir de dos formas:

- a) Midiendo variables físicas, químicas o biológicas del agua.
- b) Índices de calidad del agua

La calidad del agua se puede analizar de acuerdo a su estado, es decir, agua cruda, agua residual y agua tratada.

➤ AGUA CRUDA O EN ESTADO NATURAL

Es el agua que se encuentra en el ambiente que no ha tenido ningún tipo de tratamiento, ni modificación, como el agua lluvia, agua superficial o subterránea, océanos, entre otros. (Sierra, 2011)

➤ AGUA RESIDUAL

Es aquella que ha sido utilizada en cualquier uso benéfico. (Sierra, 2011)

➤ AGUA TRATADA

Es aquella agua a la cual se le han cambiado sus características fisicoquímicas y biológicas para poder ser utilizada en un uso benéfico. (Sierra, 2011)

➤ AGUA SEGURA

Es toda aquella agua que, aunque no cumpla todas las normas de potabilidad dispuestas en el Decreto 475 de 1998 del Ministerio de Salud Pública, puede ser consumida sin riesgo alguno para la salud humana. (Publica, Presidente y Republica, 1998)

➤ VALOR ACEPTABLE

En la Resolución 2115 de 2007 definen como valor aceptable a las concentraciones máximas admisibles que avalan cuando un agua no genera riesgos para el consumo humano. (Ambiente y Territorial, 2007)

Los valores máximos admisibles de las características físicas para que el agua sea segura expuestos en la Resolución 2115 de 2007 son:

Tabla 1-4. Características físicas expuestas en la Resolución 2115 de 2007

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	EXPRESADAS	VALOR MÁXIMO ACEPTABLE
COLOR APARENTE	Platino Cobalto	15
OLOR Y SABOR	Aceptable a no aceptable	Aceptable
TURBIEDAD	Unidades Nefelométricas de turbiedad (UNT)	2
CONDUCTIVIDAD	microsiemens/cm	1000
POTENCIAL DE HIDROGENO (PH)	-	6,5-9,0

Fuente: Tomada de la Resolución 2115 de 2007

1.7.2.2. PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DEL AGUA

1.7.2.2.1. FÍSICOS

Son todas aquellas sustancias que indican directamente sobre las condiciones estéticas del agua, como:

➤ TURBIEDAD

Consiste cuando el material suspendido en el agua tiene la capacidad de obstaculizar el paso de luz. (Sierra, 2011)

➤ COLOR

El color está relacionado con la turbiedad, es generado por sustancias disueltas y por los coloides. (Sierra, 2011) El color se clasifica mediante **color aparente** que es el color causado por la materia que se encuentra en suspensión y **color real** que es debido a los coloides (extractos vegetales u orgánicos). («Clair N. Sawyer _ Perry L. McCarty _ Gene N. Parkin-Química para ingeniería ambiental-Mc Graw Hill (2001).pdf» 2001)

➤ OLOR Y SABOR

El olor y sabor del agua están relacionados con la presencia de sustancias indeseables. (Sierra, 2011)

➤ **TEMPERATURA**

La temperatura influye interviene en la actividad biológica, adsorción de oxígeno, precipitación de compuestos y diversos procesos de mezcla. (Barrenechea, 2004)

➤ **SÓLIDOS**

Cantidad de materia sólida que contiene una muestra de agua. Se clasifican según el tamaño de las partículas, como: sedimentables, disueltas, suspendidos. (Sierra, 2011)

1.7.2.2. QUÍMICOS

➤ **pH**

Expresa la concentración de iones de hidrogeno del agua. Igualmente es un indicador que expresa la magnitud de que tan acida y básica es la muestra. («Clair N. Sawyer _ Perry L. McCarty _ Gene N. Parkin-Química para ingeniería ambiental-Mc Graw Hill (2001).pdf» 2001)

➤ **CONDUCTIVIDAD**

Mide la cantidad de iones y sales presentes en el agua. (Sierra, 2011)

➤ **ACIDEZ**

La acidez es ocasionada por la presencia de dióxido de carbono (CO₂) o diferentes ácidos fuertes (H₂SO₄, HNO₃, HCl). Cuando el agua tiene un pH inferior a 8.5 se considera que el agua es acida. (Sierra, 2011)

➤ **ALCALINIDAD**

Es la capacidad que tiene el agua para neutralizar ácidos. («Clair N. Sawyer _ Perry L. McCarty _ Gene N. Parkin-Química para ingeniería ambiental-Mc Graw Hill (2001).pdf» 2001)

➤ **DUREZA**

Es la presencia de sales de Calcio y Magnesio que tiene el agua. (Payeras, 2018)

➤ **DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO)**

Es la cantidad de oxigeno que se requiere para descomponer la materia orgánica por la acción bioquímica aerobia. (Barrenechea, 2004)

➤ **DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO)**

Es la cantidad de oxigeno que se requiere para oxidar la materia orgánica por medio de una sustancia química. (Barrenechea, 2004)

➤ **SUSTANCIAS QUIMICAS**

Elementos o compuestos químicos que contiene el agua, como:

- Cloruros
- Nitrógeno
- Hierro y manganeso
- Flúor
- Sulfato
- Fosforo y fosfato
- Aceites y grasas

1.7.2.3. CARBÓN ACTIVADO

Carbón poroso que permite atrapar diferentes compuestos como materiales pesados, gases, toxinas y productos de desecho. (Poyo Lorenzo, 2017)

1.7.2.4. NANOTECNOLOGÍA

Conjunto de ciencias y tecnologías aplicadas que implican en el control y manipulación de la materia a una escala nanométrica. (Castañeda, 2016)

1.7.2.5. NANOMATERIALES

Componentes estructurados con una dimensión inferior a 100 nm. (Blackman, 2008)

1.7.2.6. NANOPARTÍCULAS

Estructuras a un tamaño nanométrico donde unas de sus fases tienen una o más dimensiones en el rango de tamaño de los nanómetros. (Blackman, 2008)

1.8. ESTADO DEL ARTE

En el transcurso del tiempo se han desarrollado diferentes investigaciones y estudios para la implementación de la nanotecnología en diversas áreas de la ingeniería. A continuación, se resaltan alguna de ellas:

- En la **Universidad de Alicante** el grupo de investigación de **Residuos, Energía Medioambiente y Nanotecnología (REMAN)**, desarrollaron recientemente nanopartículas de hierro metálico aun tamaño de menos de 0,05 micras de diámetro, las cuales eran capaces de eliminar pesticidas y metales pesados como cromo, níquel, cobre y zinc presentados en el agua. Este proyecto se desarrolló gracias al trabajo investigativo realizado por la Doctora Blanca Calderón en su tesis doctoral para la

Universidad Alicante (UA), para preparar las nanopartículas encapsuladas en una matriz carbonosa aprovecha el residuo del aceite de oliva.

El grupo de investigación REMAN de la Universidad Alicante señala: *“En definitiva, se ha diseñado un método muy económico y sostenible de producción de nanopartículas magnéticas a partir de un desecho agrícola, y, además, conociendo otras técnicas más costosas y difíciles de aplicar para garantizar el abastecimiento de agua potable, los nanomateriales con características magnéticas diseñados por Blanca Calderón son casi unas “partículas mágicas” muy fáciles de implementar”, insisten los investigadores de la UA. Así, para mantener en función las partículas solamente es necesario depositarlas en un contenedor o depósito de agua para que eliminen las sustancias contaminantes, y volver a atraparlas con una superficie imantada para que el agua quede totalmente limpia.”* (Roberto Ruiz Universidad de Alicante, 2018)

- Mc. Miriam Zsazsa López, realizó una investigación sobre la adsorción de arsénico y fluoruros en nanopartículas y su posterior separación del agua tratada, como requisito para obtener el grado de **Doctor en Ciencia de Materiales**, este estudio tuvo como objetivo principal el investigar la viabilidad del uso de nanopartículas de óxidos de hierro (obtenidos por corrosión y molienda mecánica), óxidos de titanio y óxidos de magnesio para remover arsenito y fluoruros del agua, para proponer una alternativa de separación de las nanopartículas con el medio acuoso. Con esto, se llevaron a cabo pre-tratamientos con la finalidad de evaluar la capacidad de remoción de arsénico trivalente y fluoruros que tienen los adsorbentes seleccionados. Las nanopartículas magnéticas corresponden a un material microporoso con 8.30 m²/g compuesto por oxihidroxido de hierro.

En conclusión, en este estudio se realizaron diferentes ensayos con el fin de lograr benéficos resultados al usar nanopartículas de óxidos de hierro obtenidas por corrosión con características magnéticas para remover As⁺³ y nanopartículas de óxido de magnesio para remover fluoruros en el agua. (López Paraguay, 2013)

- **ELIMINACIÓN EFECTIVA DE FLÚOR DEL AGUA MEDIANTE CARBÓN ACTIVO DE CÁSCARA DE COCO EN COLUMNA DE LECHO FIJO: ANÁLISIS DE CURVAS EXPERIMENTALES Y DE AVANCE.**

Esta investigación realizada por M. Talat consiste en la preparación de carbón activado a partir de la cascara de coco con un alto grado de porosidad, con el fin de usarlo como absorbente para la eliminación del fluoruro presente en el agua, igualmente este absorbente se regenera y se reutiliza de manera eficiente.

Durante el desarrollo de esta investigación se realizaron ensayos de adsorción de flúor con ayuda de equipos de laboratorio como la columna a escala, probando diferentes alturas en el lecho filtrante, diferentes tasas de flujo y concentraciones de F⁻, encontrando al adsorbente preparado optimo y muy eficiente, con una capacidad de adsorción de 6.5 mg / g pH 5, F⁻-concentración 10 mg / L y adsorbente dosis 1.4 g / L. Se resalta que durante este proyecto se aplicaron modelos innovadores, como, Bed Depth Service Time (BDST), Thomas y Yoon-Nelson, sobre datos innovadores para analizar las curvas de avance.

Dentro de los resultados encontrados en el desarrollo de esta investigación fue la fuerte afectación que tuvo el carbón activado por la variación en el afluente F⁻-concentración, tasa de flujo y profundidad de la cama y la disminución en el rendimiento de adsorción de la columna al aumentar el caudal, sin embargo, la captación de columna aumentó con el aumento de F⁻-concentración. Obteniendo así una absorción máxima de 6.7 mg / g a una velocidad de flujo de 1.66 ml / min y 15 cm de profundidad del lecho. En relación a la implementación del modelo BDST este se aplicó con éxito para predecir la relación entre el tiempo de servicio y la profundidad del lecho, siendo importante para diseñar la columna para una nueva tasa de flujo.(Talat et al., 2018)

➤ **RENDIMIENTO DE FILTRO DE DISCO DE CERÁMICA RECUBIERTO CON ZNO NANO PARA LA ELIMINACIÓN DE *ESCHERICHIA COLI* A PARTIR DE AGUA EN PEQUEÑAS COMUNIDAD RURALES Y REMOTAS DE LAS REGIONES EN DESARROLLO.**

Esta investigación fue apoyada por el *PLAN NACIONAL CLAVE DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO*, *NATIONAL SCIENCE FOUNDATION* y *CONSEJO DE INVESTIGACION DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERIA DE CANADÁ*, en donde se tuvo en cuenta una de las problemáticas y necesidades que afecta a pequeñas comunidades rurales y remotas en diferentes países en desarrollo con problemas de ingresos, como una estrategia adecuada para tratar el agua. Así, esta investigación consiste en la eliminación de *Escherichia coli* utilizando filtros de disco de cerámica recubiertos con nano ZnO, caracterizando la fase cristalina y las características morfológicas de los filtros. También se examinó el rendimiento de los filtros cerámicos y los factores operativos. (Huang et al., 2018)

De acuerdo a los estudios anteriormente mostrados, con esta investigación se desea demostrar que tan factible y como mejora los índices de calidad del agua la implementación de nanopartículas magnéticas en un lecho filtrante comúnmente utilizado en el proceso de filtración, el carbón activado.

1.9. METODOLOGÍA

El proceso para llevar a cabo esta investigación se basó en diferentes etapas con el fin de determinar los parámetros fisicoquímicos y el índice de calidad de agua para las dos muestras de agua, las cuales son:

1.9.1. OBTENCIÓN DE LAS MUESTRAS DE AGUA

Las muestras de agua utilizadas en esta investigación fueron dos tipos de agua:

- Agua lluvia, obtenida de la reserva de agua lluvia con la que cuenta la Universidad Católica de Colombia.
- Agua contaminada, obtenida de laboratorio de pavimentos de la Universidad Católica de Colombia, el cual cuenta con un desarenador donde reposa el agua que se utiliza en los laboratorios.
-

1.9.2. CARACTERIZACIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO

- **Síntesis del carbón activado**

La impregnación del carbón activado granular con las nanopartículas magnéticas, se basó en la modificación de una técnica utilizada por coprecipitación llamada metodología verde. Para este procedimiento se añadió 75 ml de FeCl_3 (0.1 mol/L) y 11 gramos de carbón activado a un vaso precipitado de 100 ml mediante agitación mecánica a 75 °C. Al alcanzar esta temperatura se adiciono gota a gota 20 ml de una solución acuosa de L-Glutation de concentración 0.214 mol/L en el vaso precipitado con un valor de pH ajustado a la solución mezclada a > 8.5 . La mezcla se llevó a una temperatura $85 \pm 5^\circ\text{C}$ manteniendo la reacción durante una hora. Al final de este período, las nanopartículas se separaron por aplicación de campo magnético y después se lavaron varias veces con agua desionizada y alcohol, para posteriormente secarlas a 60°C durante 12 horas.

- **Caracterización**

Las características de la muestra de carbón activado impregnado de nanopartículas magnéticas se determinaron mediante diferentes ensayos, en donde las características del área de superficie específica y de la estructura de poro de los adsorbentes se obtuvieron por adsorción/desorción de N_2 a la temperatura del nitrógeno líquido (77 K) usando un analizador de área de superficie. Las propiedades magnéticas del material se estudiaron mediante medidas de magnetómetro de muestra vibratoria (VSM Lakeshore, Modelo 665) a una temperatura de 300K y con mediciones de magnetización en función del campo aplicado en un rango entre -30 kOe a 30 kOe. Los grupos funcionales expuestos en la superficie del material y que fueron los responsables de la remoción de contaminantes, se

determinaron mediante espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier en un equipo *SHIMADZU IR Prestige21 FTIR Spectrometer*.

Los tamaños físicos de las partículas se midieron a través de microscopia electrónica de barrido SEM en un *CARL ZEISS MODELO EVO-HD-MA-15*. La caracterización cristalográfica se realizó a través de un análisis de difracción de rayos x en un PROYECTO *X`PERT PRO MPD PANalytical*, donde el material obtenido se sometió a bombardeo con rayos x emitidos de un ánodo de Cu con longitud de onda 1.54 Å en un rango de 10° - 90° con tamaño de paso de 0.026 y un tiempo de paso de 20 s. El potencial electro cinético superficial de las partículas y el tamaño hidrodinámico fue determinado por mediciones de potencial Zeta en un Nano Zvernizador Malvern (ZS90).

1.9.3. CARACTERIZACIÓN DE LAS MUESTRAS DE AGUA

Los parámetros fisicoquímicos se midieron en diferentes momentos, es decir, en su condición inicial, después del proceso de coagulación-floculación y después de la filtración, este procedimiento se realizó para cada muestra de agua de la siguiente manera:

- **Condiciones iniciales de las muestras de agua**

Se determinaron los parámetros fisicoquímicos para cada muestra de agua en su condición inicial con ayuda de un Multi-parámetro, en este equipo se midieron los parámetros como pH, resistividad, sólidos suspendidos, salinidad y temperatura, por el contrario, el color, turbiedad, alcalinidad y sólidos totales se determinaron con una técnica diferente. El parámetro de color se midió mediante un espectrofotómetro HACH DR2800, el parámetro de turbiedad mediante un turbidímetro de mesa HACH 2100N y los sólidos totales mediante la diferencia de pesos de la muestra, es decir, a una capsula de porcelana se le tomo su peso inicial mediante una balanza, se agregaron 80 ml de muestra de agua a esta capsula, después en una mufla eléctrica se evaporo la muestra a sequedad, se dejó secar la capsula en un desecador para así volver a tomar el peso de la capsula para determinar la diferencia de pesos, el valor de sólidos totales se obtuvo mediante la relación de diferencia de pesos y el volumen utilizado.

- **Condiciones de las muestras de agua después del proceso de coagulación-floculación.**

Se realizó el laboratorio de test de jarras para lograr el proceso de coagulación- floculación, para ello se agregaron 600 ml de las muestras de agua en seis (6) vasos precipitados, donde tres de ellos contenían agua lluvia y los restantes agua contaminada, a estos se le añadieron diferentes concentraciones de 50 ml, 32.4 y 20 ml del reactivo Policloruro de Aluminio el cual actuó como coagulante. Durante un minuto en un agitador mecánico se mezcló a 100 rpm la muestra de agua con el coagulante. Finalmente, se dejó trabajando el agitador mecánico durante 20 minutos a 20 rpm, estas muestras se dejaron reposando durante 45

minutos para la sedimentación del floc. Después de la sedimentación de los floc se midió la turbiedad en cada recipiente para la muestra de agua lluvia y agua contaminada, esto para determinar el menor valor de turbiedad obtenido con la coagulación-floculación a las diferentes concentraciones. La muestra de agua con menor valor de turbiedad fue la utilizada para el proceso de filtración a la cual se le midieron los parámetros fisicoquímicos como pH, conductividad, sólidos suspendidos, resistividad, salinidad, temperatura, color, turbiedad y sólidos totales mediante las técnicas anteriormente nombradas.

- **Condiciones de la muestra después de la filtración por el carbón activado granular**

La filtración por el carbón activado granular se realizó tomando un volumen determinado de cada muestra de agua, estas muestras de agua se filtraron por medio de una columna la cual contenía 500 g de carbón activado granular, con anterioridad se dejó este material durante 12 horas en agua destilada para eliminar cualquier porcentaje de suciedad que generará cambios en los resultados. Al efluente resultante después del paso por el filtro se le determinaron los parámetros fisicoquímicos de pH, conductividad, resistividad, sólidos suspendidos, salinidad, temperatura, color, turbiedad y sólidos totales mediante las técnicas anteriormente nombradas.

- **Condiciones de la muestra de agua después de la filtración por el carbón activado impregnado con nanopartículas magnéticas.**

La filtración por el carbón activado impregnado con nanopartículas magnéticas se realizó de igual manera que la filtración por el carbón activado granular, es decir, se dejó el material durante 12 horas en agua destilada para eliminar cualquier porcentaje de suciedad, posteriormente en la columna se añadieron 500 g de carbón activado impregnado con nanopartículas, se filtró un volumen determinado de cada muestra de agua por separado, a este efluente resultante se le determinaron los parámetros fisicoquímicos como pH, conductividad, resistividad, salinidad, temperatura, sólidos suspendidos, color, turbiedad y sólidos totales mediante las técnicas anteriormente nombradas.

Después de este proceso se compraron los resultados obtenidos de cada muestra de agua teniendo en cuenta las condiciones con la cual el agua paso por cada tipo de filtro y las condiciones con las que salió el agua después de su filtración.

- **Índice de calidad del agua**

El índice de calidad de agua para cada muestra, es decir, agua lluvia y contaminada, se determinó con las mediciones realizadas de los parámetros fisicoquímicos obtenidos después de la filtración tanto por el carbón activado granular y el carbón activado impregnado con nanopartículas. El índice de calidad de agua se halló mediante la Ecuación 1-1:

Ecuación 1-1. Determinación de la calidad de agua

$$WQI = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

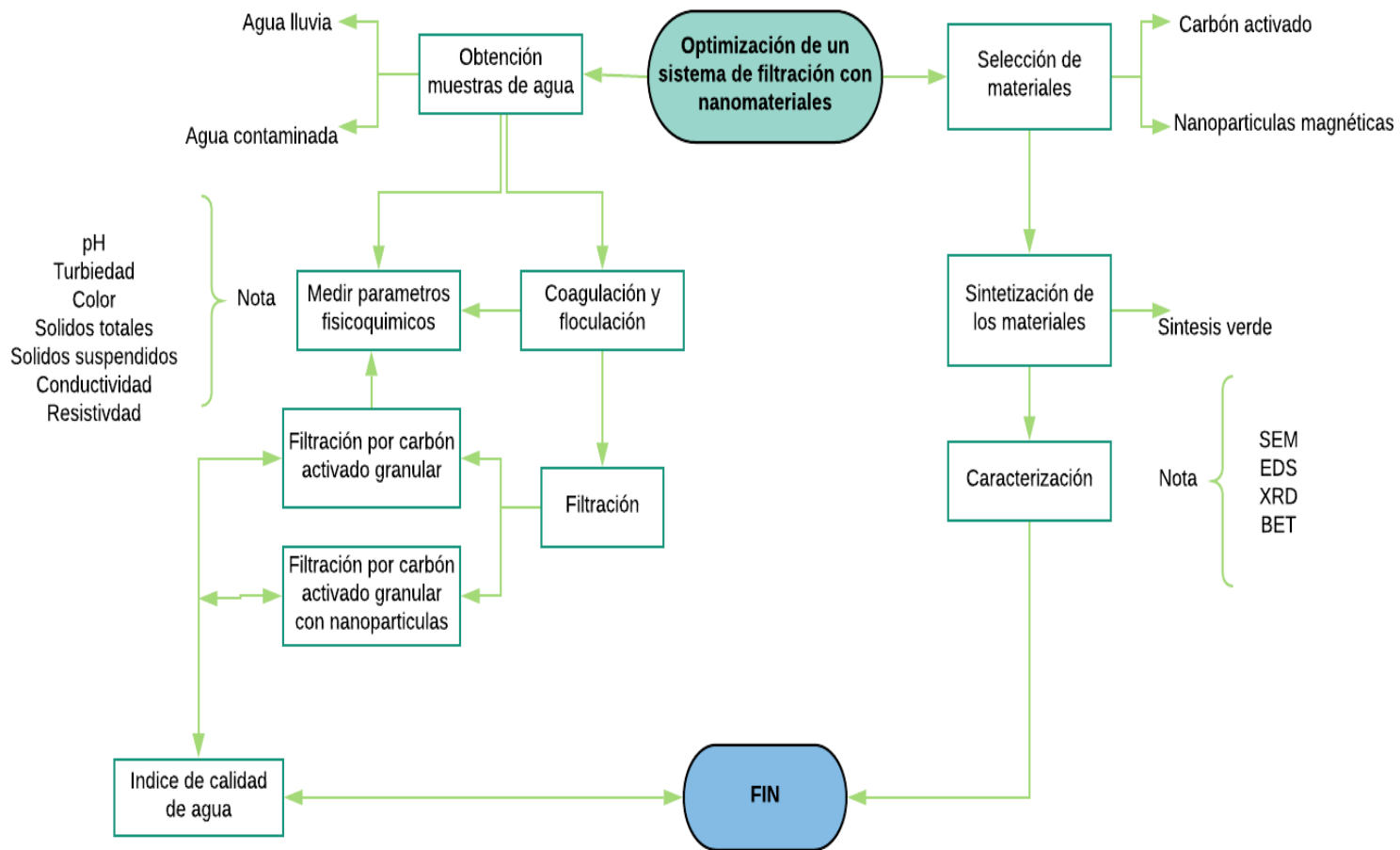
Donde Q_i va de 0 a 100 representa los factores de normalización para la calidad del parámetro i y W_i representa el peso en importancia que se le da a cada parámetro i .

Los factores de normalización y valores de importancia se asumieron teniendo en cuenta entre que rango se obtuvieron los parámetros y qué importancia tiene cada uno para esta investigación.

- **Obtención curva de ruptura mediante flujo continuo**

La curva de ruptura de la columna se determinó expresando en términos de concentración final e inicial (C_t/C_0) y en función de diferentes tiempos de filtrado a diferentes alturas determinadas como 22, 18 y 12 cm. Para ello, se filtró un caudal inicial de 2 ml/s para la muestra de agua contaminada por la columna de carbón activado impregnado con nanopartículas. Este proceso se realizó midiendo la adsorción inicial mediante el Espectrofotómetro HACH DR 2800 a una longitud de onda de 668 nm, posteriormente manteniendo un flujo continuo se midió la adsorción final para cada tiempo determinado. Finalmente, la curva de ruptura se determinó mediante la relación de absorción final sobre absorción inicial versus el tiempo.

Gráfica 1-1. Diagrama de flujo del procedimiento metodológico



Fuente: Elaboración propia

2. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

2.1. CARACTERIZACIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO

La caracterización del carbón activado se realizó en dos etapas:

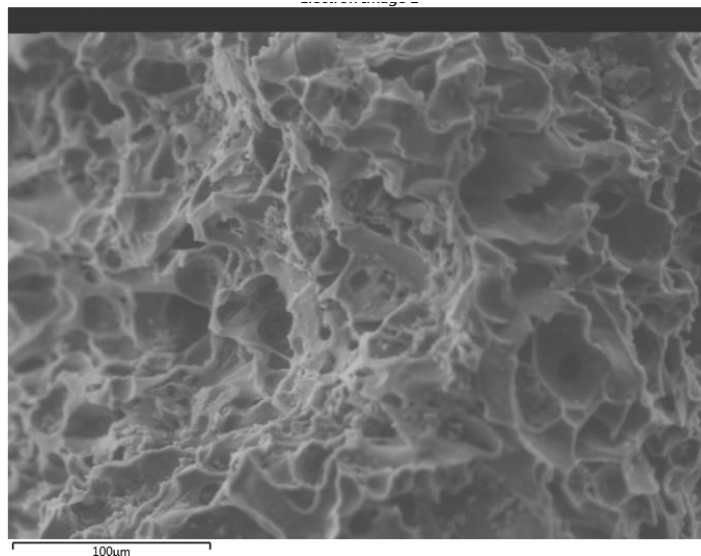
- Sintetización de las nanopartículas con el fin de impregnar estas con el carbón activado mediante la síntesis verde.
- Caracterización del material para determinar el área superficial, propiedades magnéticas del material, grupos funcionales en la superficie del material y el tamaño físico de las nanopartículas

2.1.1. CARACTERIZACIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO

- SEM

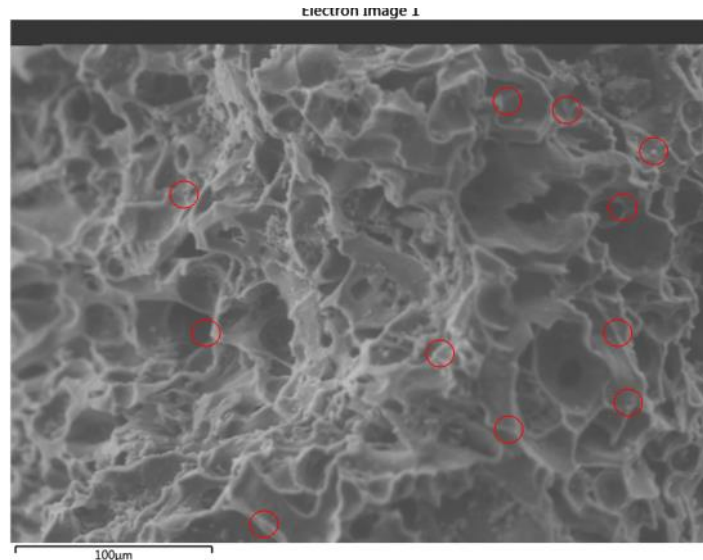
El ensayo de SEM también llamado microscopia electrónica de barrido, es decir, mediante la emisión y detección de electrones se obtuvo el tamaño de las nanopartículas, porcentaje existente de carbón, hierro, oxígeno y otras impurezas encontradas en la muestra por medio de una imagen de alta resolución de la superficie del material. La imagen de la superficie del material se puede observar en la Figura 2-1.

Figura 2-1. Imagen microscópica carbón activado



Fuente: ENSAYO SEM

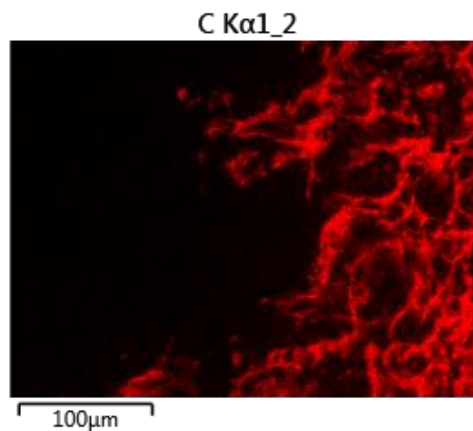
Figura 2-2 Nanopartículas magnéticas en la superficie del carbón activado



Fuente: Ensayo SEM

Como se puede observar en la imágenes anteriores, la superficie del carbón activado se encuentra impregnado con nanoparticulas magneticas para mejor compresión los circulos de color rojo demuestran que el punto corresponde a algunas de las nanoparticulas magnéticas de un tamaño de 60nm encontradas en la muestra de carbón activado utilizado para la filtración. Asimismo, en la Figura 2-3 se puede observar la concentración de carbón activado lo que quiere decir que existe un gran porcentaje de carbón. Las imágenes de los demás elementos que se encuentran en la muestra como Fe, O, S, Al y Si se pueden observar en el ANEXO B- ENSAYO SEM

Figura 2-3. Concentración de carbón activado

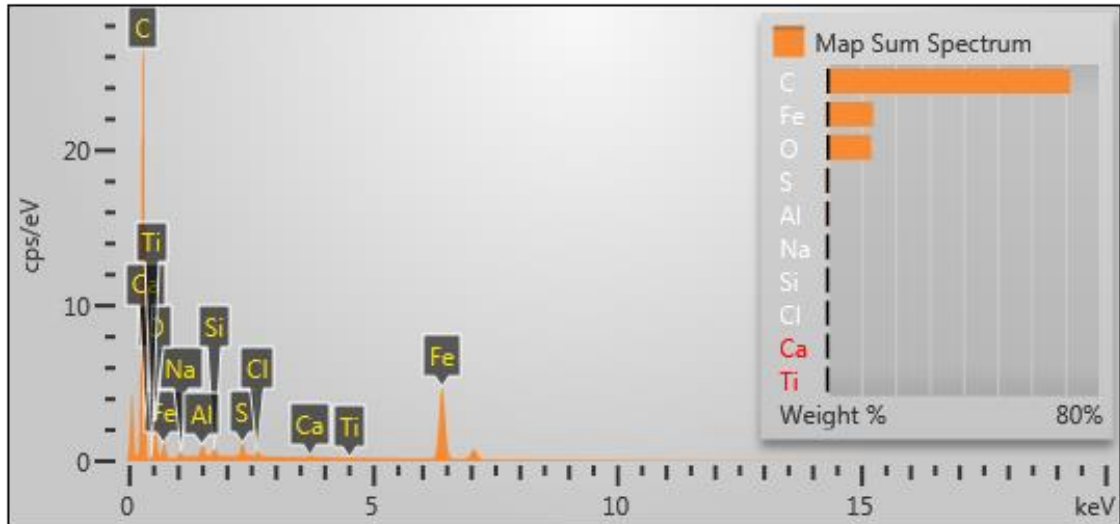


Fuente: Ensayo SEM

- **ENSAYO EDS (ESPECTROMETRÍA DE DISPERSIÓN DE ENERGÍA DE RAYOS X)**

Este ensayo se realizó con el fin de obtener el porcentaje de cada uno de los elementos, en la Figura 2-4 se observan los porcentajes de todos los elementos encontrados.

Figura 2-4. Resultados obtenidos del ensayo espectrómetro



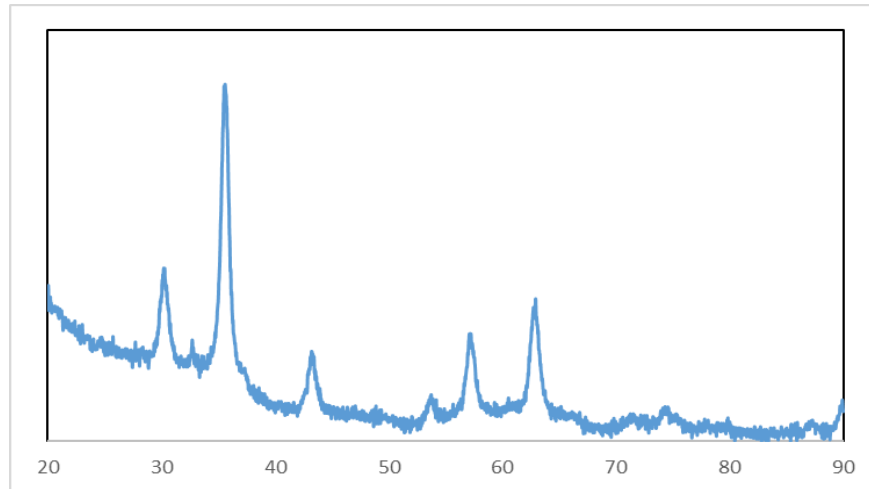
Fuente: Ensayo EDS

De acuerdo a lo anterior, se puede observar que el porcentaje de carbón activado es de aproximadamente un 80%, el de hierro y oxígeno es de un 20%, como se pudo observar en las imágenes microscópicas obtenidas mediante el ensayo de SEM. Además, la imagen anterior, demuestra que los picos más altos hacen referencia a las impurezas que tiene la muestra en este caso los picos más elevados son de Titanio (Ti) y Calcio (Ca).

- **XRD**

La caracterización cristalográfica se realizó mediante el ensayo XRD (Difracción de rayos X) con el fin de verificar que las nanopartículas que estaban impregnadas en el carbón activado correspondían a las magnéticas. En la Gráfica 2-1 se puede demostrar mediante el difractograma que las nanopartículas hacen referencia a las magnéticas debido a que corresponden a la estandarizada para el compuesto Fe_3O_4 , es decir, a las nanopartículas magnéticas.

Gráfica 2-1. Difractograma del compuesto Fe₃O₄

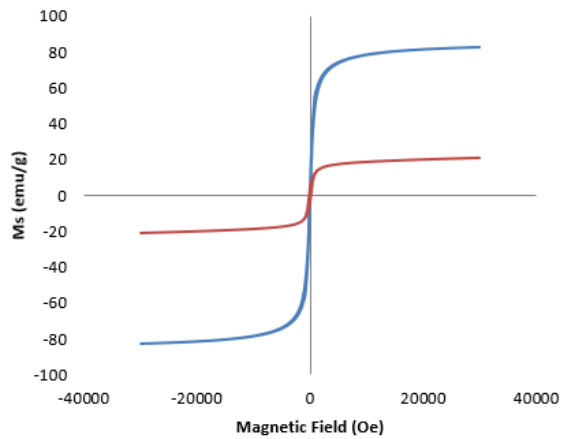


Fuente: Ensayo XRD

- **PROPIEDADES MAGNÉTICAS**

La curva de saturación magnética de las nanopartículas sintetizadas se presenta en la Gráfica 2-2. En este gráfico podemos observar que la línea azul corresponde a la magnetización que tienen las nanopartículas magnéticas la cual alcanza un valor de 82.4 emu/g, valor aproximado al teórico de ~90 emu/g. Por otro lado, la línea roja corresponde a la magnetización del carbón activado con nanopartículas magnéticas, la magnetización de esta muestra alcanza un valor de 20 emu/g, lo cual significa aproximadamente un 22% al valor teórico de magnetización. Asimismo, se observa de la gráfica que material no muestra bucles de histéresis magnéticos y su remanencia es cero por lo que el nanomaterial tiene un comportamiento superparamagnético.

Gráfica 2-2. Magnetización de las MPs sintetizadas



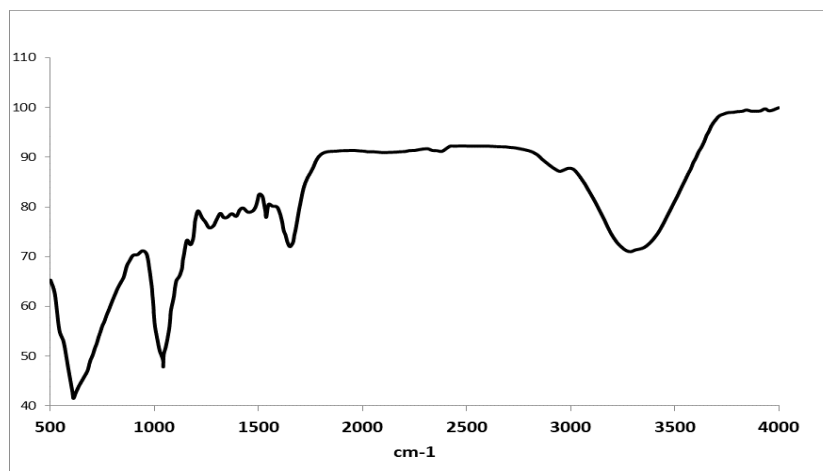
Fuente: Ensayo VSM

- **GRUPOS FUNCIONALES**

Los grupos funcionales actuantes en la muestra de carbón activado se realizaron mediante espectrometría infrarroja los cuales se observan en la

Gráfica 2-3 . En esta figura se puede observar que los grupos funcionales actuantes de acuerdo a la longitud de onda son hierro (Fe), carboxilos (-COOH), Carbón (C) y hidroxilos (OH). Los picos son ~500, ~1000, ~1400 y ~3000 respectivamente.

Gráfica 2-3. Grupos funcionales de la muestra de carbón activado con nanopartículas

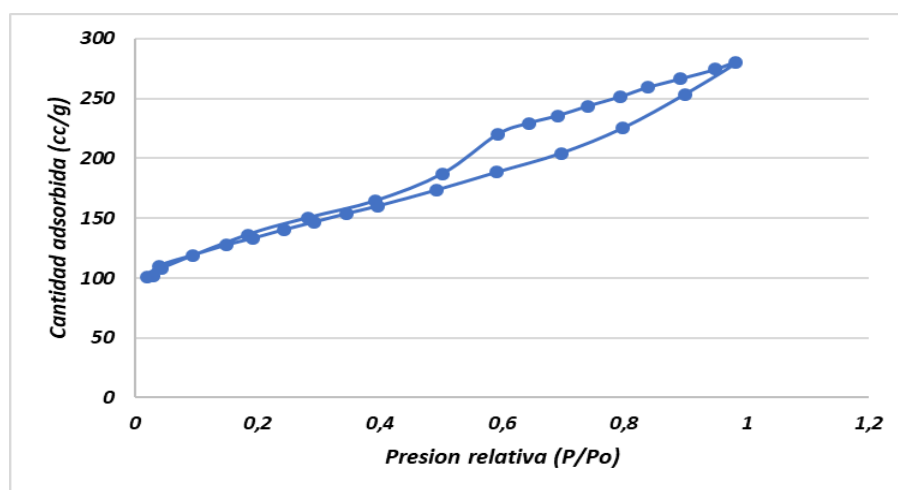


Fuente: Ensayo VSM

- **ÁREA SUPERFICIAL**

La medición de la calidad y la utilidad de los materiales sólidos depende de la superficie y la porosidad, que son las propiedades físicas importantes. La técnica de Brunauer Emmett and Teller (BET) es el método más importante para medir el área de superficie y la porosidad de los materiales sólidos. (Jiang et al., 2019)

Gráfica 2-4. Análisis de Brunauer- Emmett- Teller (BET) de MNPs



Fuente: Ensayo Área superficial

La Gráfica 2-4, muestra la isoterma de adsorción-desorción de N₂ sobre el completo MNPs@Carbón activado, que se refiere a la estructura mesoporosa. El área superficial y el diámetro medio de poro de PV-M-AC fue de 286 m²/g y 70 nm, respectivamente. Estos resultados apoyan la estructura mesoporosa de del material, que aumenta en los sitios activos de material adsorbente y, por lo tanto, conduce a mejorar la eficiencia de adsorción.

2.2. CARACTERIZACIÓN DE LAS MUESTRAS DE AGUA

2.2.1. CONDICIONES INICIALES DE LAS MUESTRAS DE AGUA

Para las condiciones iniciales de la muestra de agua lluvia y agua contaminada se determinaron los siguientes parámetros fisicoquímicos, cada parámetro se realizaron los ensayos correspondientes teniendo como base las instrucciones proporcionadas en las guías de laboratorio de la Universidad Católica de Colombia. En la Tabla 2-1 y Tabla 2-2 se observan los datos obtenidos para la muestra de agua lluvia y contaminada respectivamente.

Tabla 2-1. Parámetros fisicoquímicos muestra de agua lluvia

MUESTRA DE AGUA LLUVIA		
PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	VALOR
pH	-	7.55
Conductividad	μS/cm	84.1
Resistividad	KΩ/cm	12.05
Solidos Suspendidos	mg/l	43.8
Salinidad	-	0
Temperatura	°C	16.4
Color	PtCO	23
Turbiedad	NTU	4.43
Solidos Totales	mg/l	50
Solidos disueltos	mg/l	6,2
Alcalinidad	mg/l de CaCO ₃	0,8

Fuente: Autores

Tabla 2-2. Parámetros fisicoquímicos muestra de agua contaminada

MUESTRA AGUA CONTAMINADA		
PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	VALOR
pH	/	11,07
Conductividad	μS/cm	25,9
Resistividad	KΩ/cm	39
Solidos Suspendidos	mg/l	13,6
Salinidad	-	0
Temperatura	°C	19.1
Color	PtCO	700
Turbiedad	NTU	104
Solidos Totales	mg/l	300
Solidos disueltos	mg/l	286,4
Alcalinidad	mg/l de CaCO ₃	4

Fuente: Autores

De acuerdo a los datos determinados anteriormente, se puede observar que en la muestra de agua lluvia el valor de pH, conductividad, solidos totales y turbiedad son óptimos debido a que se encuentran dentro de los valores aceptables en el Decreto 475 de 1998 y Resolución 2115 de 2007, por el contrario, el valor de color es el único parámetro que no se encuentra dentro del rango establecido por las normas anteriormente nombradas, aun así, la muestra de agua es segura de acuerdo a lo definido en el Decreto 475 de 1998.

Para la muestra de agua contaminada, es decir, la que reposa en el desarenador del Laboratorio de Pavimentos se puede demostrar todo lo contrario ya que los valores de pH, color y turbiedad no son óptimos debido a que exceden los valores admisibles expresados en la Tabla 1-4. Asimismo, a simple vista se puede observar que el agua no es aceptable y/o segura como se muestra en la Imagen 2-1 .

Según los valores anteriormente mostrados en la Tabla 2-1 y Tabla 2-2, se realizó un ensayo de coagulación y floculación para reducir el valor de los parámetros fisicoquímicos de cada muestra de agua, esto con el fin de evitar que el filtro se saturará y así mismo obtener mejores resultados en los parámetros.

Imagen 2-1. Agua contaminada en su condición inicial

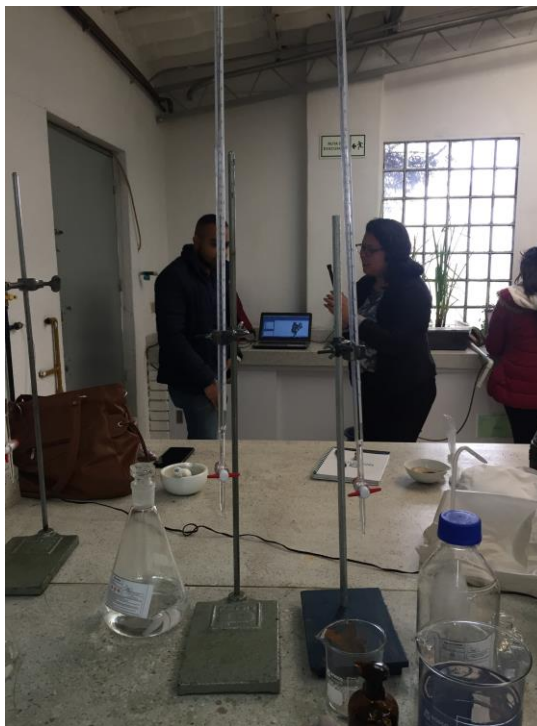


Fuente: Tomada por autores

2.2.2. CONDICIONES DE LAS MUESTRA DE AGUA DESPUÉS DEL PROCESO DE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN

El proceso de coagulación-floculación se realizó principalmente con el fin de reducir los sólidos disueltos mediante la práctica de Test de Jarras. La dosis optima de coagulante Policloruro de Aluminio para cada muestra de agua se halló con la alcalinidad mostradas en las Tabla 2-1 y Tabla 2-2 obtenidas en la medición de los parámetros fisicoquímicos. En las Imagen 2-2, Imagen 2-3 e Imagen 2-4 se muestra el proceso de la determinación de alcalinidad para cada muestra de agua.

Imagen 2-2. Montaje para la titulación



Fuente: Tomada por autores

Imagen 2-3. Titulación para la muestra de agua contaminada



Fuente: Tomada por autores

Imagen 2-4. Titulación para la muestra de agua lluvia



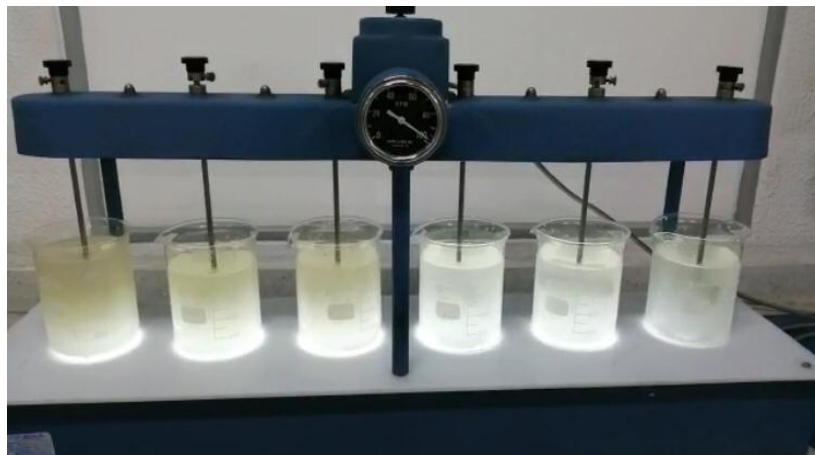
Fuente: Tomada por autores

Con el fin de determinar y verificar a que concentración de coagulante trabaja mejor la muestra de agua, se tomaron tres (3) recipientes con 600 ml tanto para la muestra de agua lluvia y agua contaminada como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** Adicionalmente se agregaron diferentes concentraciones de coagulante a 20 ml, 32.4 ml y 50 ml consecutivamente de izquierda a derecha.

Seguido, con las muestras de agua se dejó trabajando la máquina a 100 rpm durante un minuto para hacer la homogenización del agua con el coagulante.

Posteriormente la máquina trabajo a 20 rpm durante 20 minutos para la formación y sedimentación de los flocs.

Imagen 2-5. Montaje test de jarras



Fuente: Tomada por autores

Después del procedimiento anterior se midió la turbiedad para cada recipiente, escogiendo el valor mínimo para cada muestra de agua puesto que con esta se hará el proceso de filtración para cada filtro, es decir, para el filtro con el carbón activado de la Universidad Católica de Colombia y el modificado con las nanopartículas, los resultados de la turbiedad después del proceso test de jarras se observan en la Tabla 2-3 .

Tabla 2-3. Resultados de turbiedad después de la coagulación

AGUA LLUVIA	CONCENTRACIÓN COAGULANTE (ml)	TURBIEDAD (NTU)
RECIPIENTE N° 1	20	4. 64
RECIPIENTE N° 2	32.4	5.06
RECIPIENTE N° 3	50	4. 94
AGUA CONTAMINADA	CONCENTRACIÓN COAGULANTE (ml)	TURBIEDAD (NTU)
RECIPIENTE N° 1	20	101
RECIPIENTE N° 2	32.4	81.8
RECIPIENTE N° 3	50	71.3

Fuente: Autores

Se puede considerar de la tabla anterior que para la muestra de agua lluvia y agua contaminada la dosis óptima de coagulante que produjo la más rápida desestabilización de las partículas y formación de un floc rápido y pesado fueron las concentraciones de 20 ml y 50 ml respectivamente, debido a que dieron como resultado una menor turbiedad.

Los parámetros fisicoquímicos obtenidos después del proceso de coagulación para las muestras de agua lluvia y agua contaminada según la dosis óptima para cada una, se observan en las Tabla 2-4 y Tabla 2-5.

Tabla 2-4. Parámetros fisicoquímicos para la muestra de agua lluvia después del proceso de coagulación-floculación

MUESTRA AGUA LLUVIA		
PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	VALOR
pH	/	8.56
Conductividad	μS/cm	94.6
Resistividad	KΩ/cm	10.45
Solidos Suspendidos	mg/L	25.6
Salinidad	-	0.1
Temperatura	°C	18.2
Color	PtCO	16
Solidos Totales	mg/L	45
Solidos Disueltos	mg/l	19.4
Turbiedad	NTU	3.9

Fuente: Autores

Tabla 2-5. Parámetros fisicoquímicos para la muestra de agua contaminada después del proceso de coagulación-floculación

MUESTRA AGUA CONTAMINADA		
PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	VALOR
pH	/	10,95
Conductividad	μS/cm	64,2
Resistividad	KΩ/cm	15,62
Solidos Suspendidos	mg/l	225
Salinidad	-	0.3
Temperatura	°C	20.1
Color	PtCO	41
Solidos Totales	mg/l	341
Solidos Disueltos	mg/l	116
Turbiedad	NTU	9

Fuente: Autores

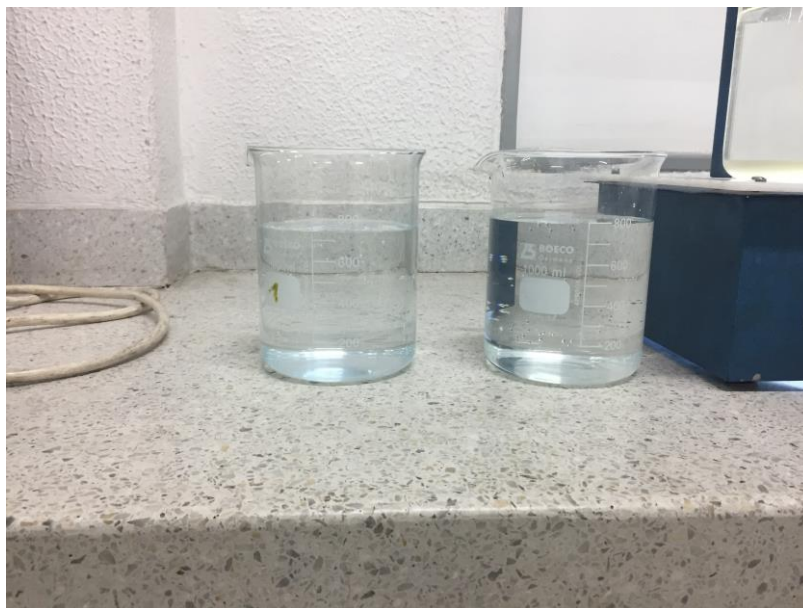
Según las tablas anteriores, se puede observar que después del proceso de coagulación algunos valores de los parámetros fisicoquímicos de cada muestra de agua cambiaron.

Para la muestra de agua lluvia la mayoría de los parámetros fisicoquímicos disminuyeron, como los valores de resistividad, turbiedad, color y sólidos suspendidos, aunque los valores de turbiedad y color hayan disminuido no son valores aceptables para que el agua sea segura, por el contrario, el valor de la conductividad y pH aumentaron, pero siguen cumpliendo con los valores máximos admisibles expresados en la Resolución 2115 e 2007. Por otro lado, según el Decreto 475 de 1998 el valor de sólidos totales es aceptable.

De la misma manera, para la muestra de agua contaminada disminuyeron la mayoría de los parámetros fisicoquímicos como el pH, resistividad, color y turbiedad. Aunque la turbiedad, pH y color hayan disminuido no siguen estando dentro del rango de los valores admisibles. Asimismo, los sólidos totales, aunque hayan aumentado siguen siendo un valor aceptable.

De acuerdo a lo anterior después de este proceso, aunque visiblemente las muestras de agua tenga una apariencia buena como se observa en la Imagen 2-6, los parámetros fisicoquímicos demuestran que aún no sigue siendo un agua segura para el consumo humano pero quizás si para la reutilización de ella ya sea para riego de cultivos y lavado.

Imagen 2-6. Resultado del agua contaminada después de la coagulación



Fuente: Tomada por autores

2.2.1. CONDICIONES DEL AGUA DESPUÉS DE LA FILTRACIÓN POR EL CARBÓN ACTIVADO GRANULAR

En este proceso se utilizó el carbón activado del filtro de la Universidad Católica, para ello se tomaron 500 gr de carbón activado y se filtró cada muestra de agua. Los resultados de los parámetros fisicoquímicos después de la filtración por el carbón activado se observan en la Tabla 2-6 y Tabla 2-7.

Tabla 2-6. Parámetros fisicoquímicos de la muestra de agua lluvia después de la filtración por el carbón activado sin nanopartículas

MUESTRA AGUA LLUVIA		
PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	VALOR
pH	/	6.86
Conductividad	$\mu\text{S/cm}$	87.8
Resistividad	$\text{K}\Omega/\text{cm}$	10.89
Solidos Suspendidos	mg/l	22,6
Salinidad	-	0
Temperatura	$^{\circ}\text{C}$	18.4
Color	PtCO	8,7
Solidos Totales	mg/l	27,6
Solidos Disueltos	mg/l	5
Turbiedad	NTU	11.8

Fuente: Autores

Tabla 2-7. Parámetros fisicoquímicos de la muestra de agua contaminada después de la filtración por el carbón activado sin nanopartículas

MUESTRA AGUA CONTAMINADA		
PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	VALOR
pH	/	10.54
Conductividad	$\mu\text{S/cm}$	29,6
Resistividad	$\text{K}\Omega/\text{cm}$	5,29
Solidos Suspendidos	mg/l	165
Salinidad	-	0.2
Temperatura	$^{\circ}\text{C}$	17.6
Color	PtCO	74
Solidos Totales	mg/l	187,7
Solidos Disueltos	mg/l	22,7
Turbiedad	NTU	8

Fuente: Autores

Como se observan en las tablas anteriores, para la muestra de agua lluvia los parámetros fisicoquímicos que disminuyeron fueron el pH, conductividad, color y sólidos totales los cuales se encuentran dentro de los valores aceptables, por otro lado, el valor de pH se encuentra a un valor cercano para que este sea neutro, lo cual es un valor óptimo para la salud. Por el contrario, el valor de turbiedad aumento, esto se debe a que el carbón activado llevaba en la intemperie seis meses lo cual durante este tiempo adquirió suciedad, aunque igualmente se dejó durante 12 horas en agua destilada para eliminar estas partículas antes de pasar la muestra de agua por el filtro el resultado no fue el esperado.

De igual manera, para la muestra de agua contaminada los valores de pH, conductividad, resistividad, sólidos totales, turbiedad disminuyeron los cuales se encuentran dentro del rango de los valores máximos admisibles para que un agua sea segura, exceptuando la turbiedad y el pH, aunque hayan tenido una reducción aún no cumplen con los valores expuestos en las normas. Respecto al parámetro de color, el cual fue uno de los parámetros que aumentó significativamente debido a las características del carbón activado en ese momento, asimismo al pasar la muestra de agua contaminada por el filtro se volvió a hacer lavado del carbón activado con agua destilada para eliminar los residuos de agua que ya había sido filtrada motivo por el cual la turbiedad tuvo una reducción mínima.

2.2.1. CONDICIONES DE LA MUESTRA DE AGUA DESPUÉS DE LA FILTRACIÓN POR EL CARBÓN ACTIVADO IMPREGNADO CON NANOPARTÍCULAS MAGNÉTICAS.

Para evaluar los parámetros fisicoquímicos se utilizó el carbón activado que se sintetizó con las nanopartículas, para ello se tomó de nuevo los 500 g de carbón activado y se filtró cada muestra de agua. En la Tabla 2-8 y Tabla 2-9 se observan los valores obtenidos en los parámetros fisicoquímicos de cada muestra de agua después de la filtración por el carbón activado con nanopartículas.

Tabla 2-8. Parámetros fisicoquímicos de la muestra de agua lluvia después de la filtración por el carbón activado con nanopartículas

MUESTRA AGUA LLUVIA		
PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	VALOR
pH	/	7.60
Conductividad	μS/cm	97.3
Resistividad	KΩ/cm	9.93
Solidos Suspendidos	mg/l	16,44
Salinidad	-	0
Temperatura	°C	17.5
Color	PtCO	1,5
Solidos Totales	mg/l	17,56
Solidos Disueltos	mg/l	1,12
Turbiedad	NTU	1.5

Fuente: Autores

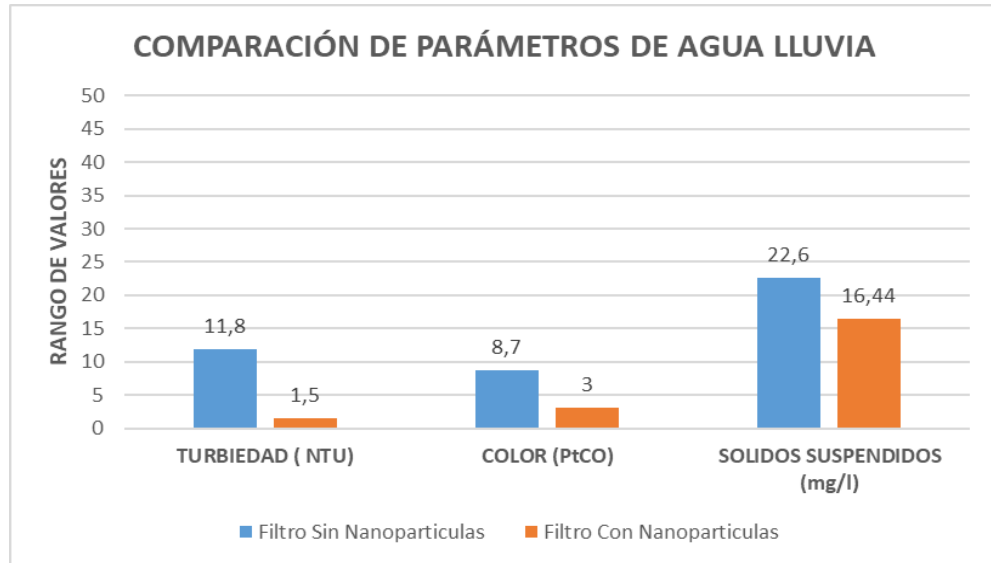
Tabla 2-9. Parámetros fisicoquímicos de la muestra de agua contaminada después de la filtración por el carbón activado con nanopartículas

MUESTRA AGUA CONTAMINADA		
PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	VALOR
pH	/	10.31
Conductividad	μS/cm	29,8
Resistividad	KΩ/cm	3.30
Solidos Suspendidos	mg/l	161
Salinidad	-	0.1
Temperatura	°C	17.7
Color	PtCO	3
Solidos Totales	mg/l	162,5
Solidos Disueltos	mg/l	1,5
Turbiedad	NTU	2.8

Fuente: Autores

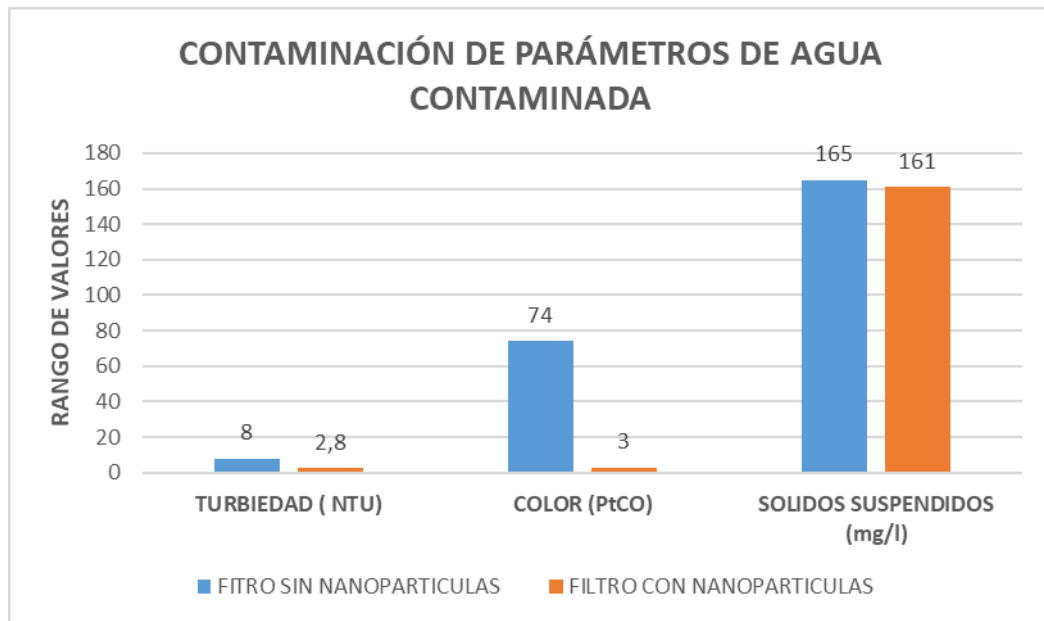
De acuerdo a los resultados registrados en las tablas anteriores y en las Gráfica 2-5 y Gráfica 2-6 se observa que para cada tipo de agua no solamente los parámetros como resistividad, pH, solidos disueltos y solidos suspendidos lograron disminuir, sino que además los parámetros de color y turbiedad que se habían mantenido elevados aún después del proceso de coagulación, también fueron disminuidos en un porcentaje del 60% al 93%.

Gráfica 2-5. Comparación de parámetros turbiedad, color y TDS para agua lluvia



Fuente: Autores

Gráfica 2-6. Parámetros de turbiedad, color y TDS para agua contaminada



Fuente: Autores

De esta manera, se puede observar en la Tabla 2-10 que el parámetro de turbiedad en la muestra de agua contaminada disminuyó aproximadamente un 69% después del paso por el filtro con carbón activado sintetizado con nanopartículas, a diferencia del filtro con carbón activado sin nanopartículas el cual disminuyó un 11.11%, lo anterior demuestra que

el filtro con carbón activado sintetizado con nanopartículas tiene una eficiencia del 57.89% a comparación del filtro con carbón activado sin nanopartículas para este parámetro de turbiedad.

Igualmente, en la Tabla 2-11 se observa que el parámetro de color en la muestra de agua lluvia disminuyo aproximadamente un 81.25% después del paso por el filtro con carbón activado sintetizado con nanopartículas a diferencia del filtro con carbón activado sin nanopartículas el cual disminuyó un 45.63%, lo anterior demuestra que el filtro con carbón activado sintetizado con nanopartículas tiene una eficiencia del 35.63% sobre el filtro con carbón activado sin nanopartículas para este parámetro.

Asimismo, se observa en la Tabla 2-10 y Tabla 2-11 que el filtro con carbón activado sintetizado con nanopartículas tuvo un porcentaje de mayor retención para cada parámetro caracterizado, determinando así que este filtro es más efectivo y garantiza una mejor reducción de los parámetros físicos químicos del agua para que sea segura para el consumo humano.

Tabla 2-10. Porcentaje de disminución de los parámetros en la muestra de agua contaminada para cada filtro

MUESTRA AGUA CONTAMINADA			
PORCENTAJE DE DISMINUCIÓN PARA CADA PARAMETRO			
FILTRO SIN NANOPARTICULAS		FILTRO CON NANOPARTICULAS	
PARÁMETRO	% DE DISMINUCIÓN	PARÁMETRO	% DE DISMINUCIÓN
pH	3.74	pH	5.84
Conductividad	53.89	Conductividad	54.20
Resistividad	66.13	Resistividad	99.78
Solidos Suspendidos	26.66	Solidos Suspendidos	28.44
Color	-80.48	Color	92.68
Solidos Totales	44.95	Solidos Totales	52.34
Solidos Disueltos	80.43	Solidos Disueltos	98.70
Turbiedad	11.11	Turbiedad	68.88

Fuente: Autores

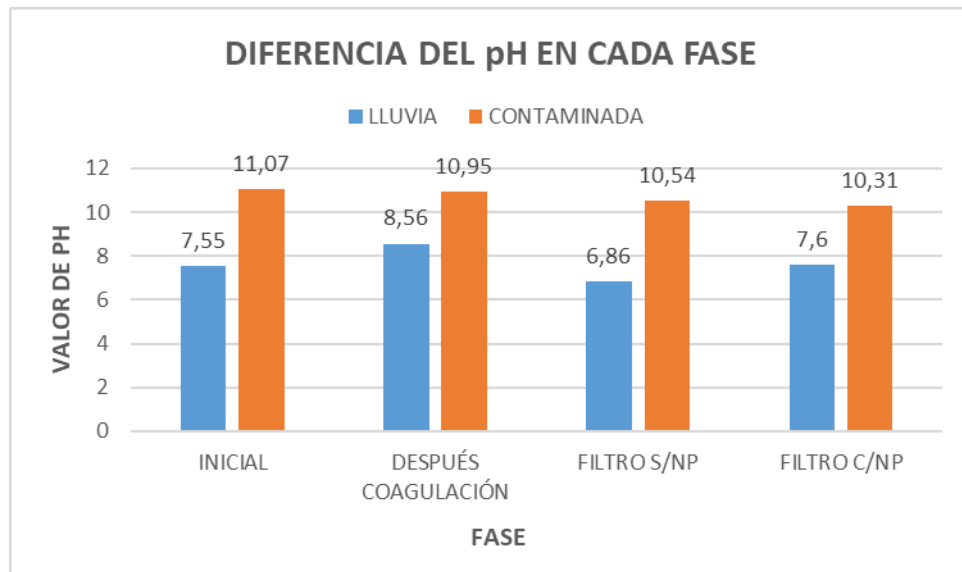
Tabla 2-11. Porcentaje de disminución de los parámetros en las muestras de agua lluvia para cada filtro

MUESTRA AGUA DE LLUVIA			
FILTRO SIN NANOPARTICULAS		FILTRO CON NANOPARTICULAS	
PARÁMETRO	% DE DISMINUCIÓN	PARÁMETRO	% DE DISMINUCIÓN
pH	19.85	pH	11.21
Conductividad	7.18	Conductividad	-2.85
Resistividad	-4.21	Resistividad	4.97
Solidos Suspendidos	11.71	Solidos Suspendidos	35.78
Color	45.62	Color	81.25
Solidos Totales	38.66	Solidos Totales	60.97
Solidos Disueltos	74.22	Solidos Disueltos	94.22
Turbiedad	-202.56	Turbiedad	61.53

Fuente: Autores

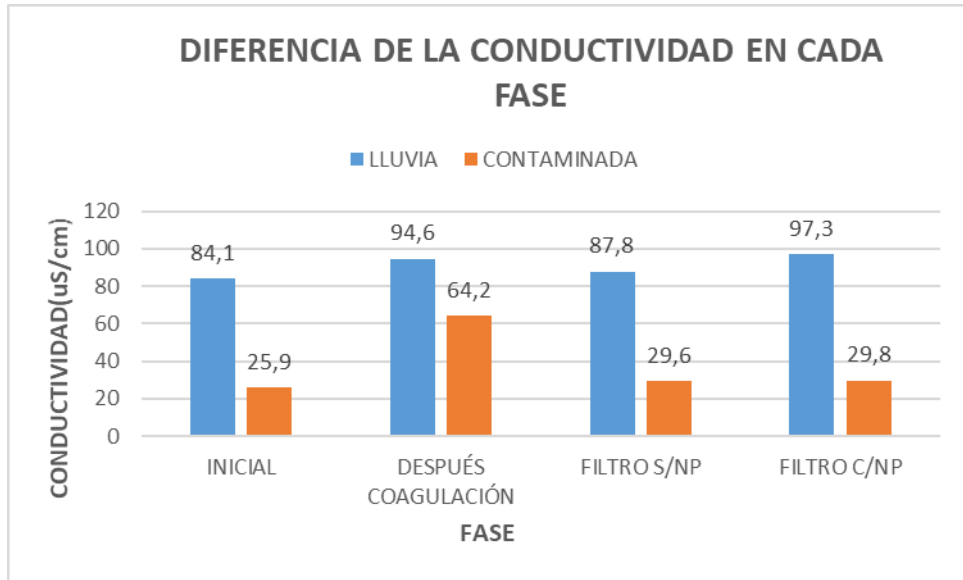
De acuerdo a los resultados mostrados anteriormente, en las Gráfica 2-7, Gráfica 2-8, Gráfica 2-9, Gráfica 2-10, Gráfica 2-11 y Gráfica 2-12 se puede observar la diferencia en los resultados en cada fase para cada parámetro fisicoquímico.

Gráfica 2-7. Diferencia del pH en cada fase



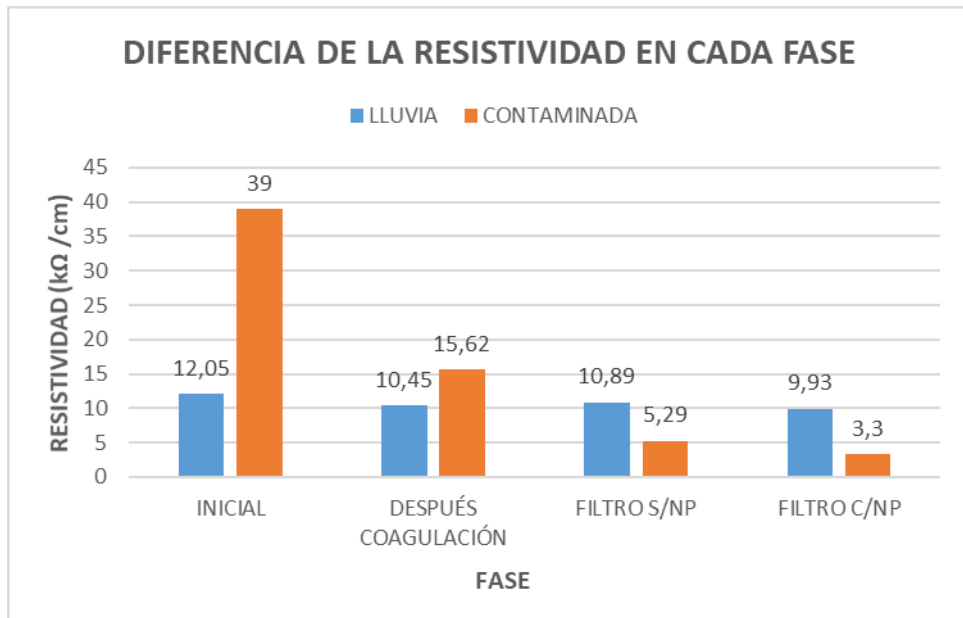
Fuente: Autores

Gráfica 2-8. Diferencia de la conductividad en cada fase



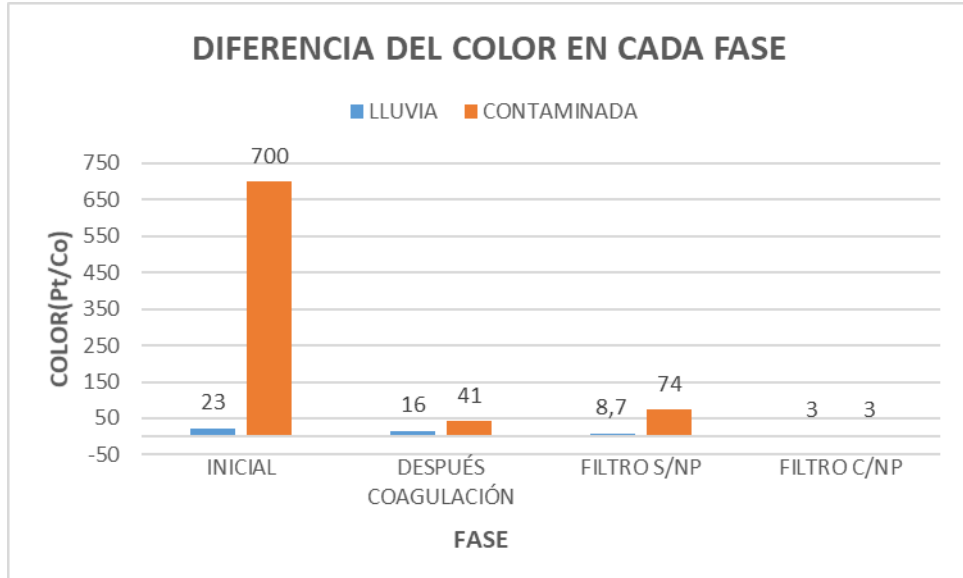
Fuente: Autores

Gráfica 2-9. Diferencia de la resistividad en cada fase



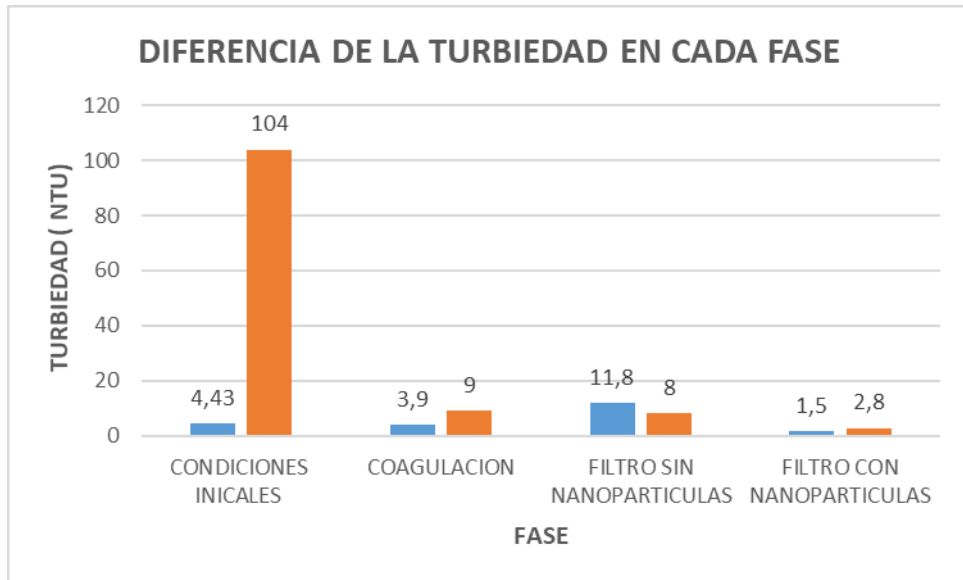
Fuente: Autores

Gráfica 2-10. Diferencia de color en cada fase



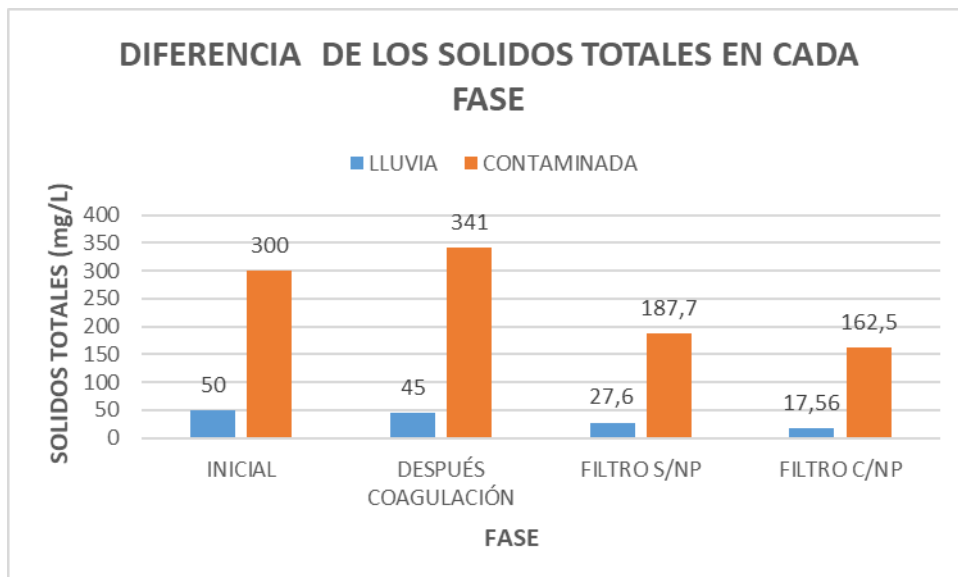
Fuente: Autores

Gráfica 2-11. Diferencia de la turbiedad en cada fase



Fuente: Autores

Gráfica 2-12. Diferencia de los sólidos totales para cada fase



Fuente: Autores

2.3. INDICE DE CALIDAD DE AGUA (IDC)

El índice de calidad de agua se determinó mediante Ecuación 1-1 expuesta en el capítulo 1. El valor de importancia dado a cada parámetro fisicoquímico que se determinó se observan en la Tabla 2-12, este valor de importancia se utilizó para cada muestra de agua.

Tabla 2-12. Valor de importancia para los parámetros

PARAMETRO	VALOR DE IMPORTANCIA (W)
PH	10
TURBIEDAD	40
CONDUCTIVDAD	10
RESISTIVIDAD	10
COLOR	15
SOLIDOS DISUELTOS	15

Fuente: Autores

De igual manera se estandarizaron unos valores para los factores de normalización de acuerdo a los resultados obtenidos para los parámetros considerandos para determinar la calidad de agua, en la Tabla 2-13 se puede observar los factores de normalización utilizados.

Tabla 2-13. Factores de normalización

Q	PARAMETROS FISICOQUIMICOS					
	PH	TURBIEDAD	CONDUC	RESIS	COLOR	SD
100	<2	<2	<2	<2	<2	<2
90	<5	<5	<5	<5	<5	<5
80	<10	<10	<10	<10	<10	<10
70	<20	<20	<20	<20	<20	<20
60	<30	<30	<30	<30	<30	<30
50	<40	<40	<40	<40	<40	<40
40	<50	<50	<50	<50	<50	<50
30	<60	<60	<60	<60	<60	<60
20	<70	<70	<70	<70	<70	<70
10	<80	<80	<80	<80	<80	<80
5	<100	<100	<100	<100	<100	<100

Fuente: Autores

- INDICE DE CALIDAD DE AGUA PARA LA MUESTRA DE AGUA LLUVIA Y CONTAMINADA POR EL FILTRO SIN IMPREGNACIÓN DE NANOPARTICULAS**

El índice de calidad de agua para las muestras de agua sin haber pasado por el carbón activado sin nanopartículas se puede observar Tabla 2-14 y Tabla 2-15. La calificación del agua según el resultado obtenido del índice de calidad de agua se obtuvo teniendo en cuenta los valores estandarizados en la Tabla 1-3.

Tabla 2-14. Índice de calidad agua para la muestra agua lluvia filtración sin nanopartículas

AGUA LLUVIA	
Q	QW
80	8
80	32
80	8
70	7
80	12
90	13,5
Σ	80,5
WQI	0,805
CALIFICACIÓN AGUA	ACEPTABLE

Fuente: Autores

Tabla 2-15. Índice de calidad agua para la muestra agua contaminada filtración sin nanopartículas

AGUA CONTAMINADA	
Q	QW
70	7
80	32
60	6
70	7
60	9
10	1,5
Σ	62,5
WQI	0,625
CALIFICACIÓN AGUA	REGULAR

Fuente: Autores

- INDICE DE CALIDAD DE AGUA PARA LA MUESTRA DE AGUA LLUVIA Y CONTAMINADA POR EL FILTRO CON IMPREGNACIÓN DE NANOPARTICULAS**

De igual manera, se realizó el mismo procedimiento para las muestras de agua después de la filtración por el carbón activado con nanopartículas magnéticas. Los resultados obtenidos del índice de calidad de agua se observan en las Tabla 2-16 y Tabla 2-17.

Tabla 2-16. Índice de calidad agua para la muestra agua lluvia filtración con nanopartículas

AGUA LLUVIA	
Q	QW
80	8
100	40
5	0,5
80	8
100	15
100	15
Σ	86,5
WQI	0,865
CALIFICACIÓN AGUA	ACEPTABLE

Fuente: Autores

Tabla 2-17. Índice de calidad agua para la muestra agua contaminada filtración con nanopartículas

AGUA CONTAMINADA	
Q	QW
70	7
90	36
60	6
90	9
90	13,5
100	15
Σ	86,5
WQI	0,865
CALIFICACIÓN AGUA	ACEPTABLE

Fuente: Autores

De las tablas anteriores, se puede observar que las calidades del agua para cada muestra de agua se obtuvieron para las aguas tratadas por la filtración mediante el carbón activado impregnado con nanopartículas, que de acuerdo a los valores estandarizados se estiman como un valor ACEPTABLE.

De acuerdo a los resultados anteriormente mostrado de índice de calidad de agua y de las condiciones fisicoquímicas del agua después de la filtración para cada muestra de agua se puede observar y comprobar que es factible la aplicación de la nanotecnología, en este caso, nanopartículas magnéticas en el proceso de filtración ya que se obtuvieron resultados buenos debido a la reducción de los parámetros que determinan cuando un agua es buena para el consumo humano, es por esto que el desarrollo de esta investigación puede ser utilizada e implementada en algunas poblaciones o comunidades que no cuente con suministro de agua puesto que es una investigación fácil de desarrollar, además, se puede aprovechar las fuentes de agua naturales como aguas naturales o aguas lluvia para mejorarlas mediante lo realizado en esta investigación.

2.4. OBTENCIÓN DE LA CURVA MEDIANTE FLUJO CONTINUO

La curva de ruptura se determinó a diferentes tiempos y alturas del material de carbón activado sintetizado con nanopartículas, el caudal inicial que se utilizó fue de 2 ml/s.

Este proceso se realizó primeramente midiendo la adsorción inicial mediante Espectrofotómetro HACH DR 2800 a una longitud de onda de 668 nm, posteriormente manteniendo un flujo continuo se midió la adsorción para cada tiempo estipulado, esto para determinar el rendimiento de la columna utilizada para la filtración.

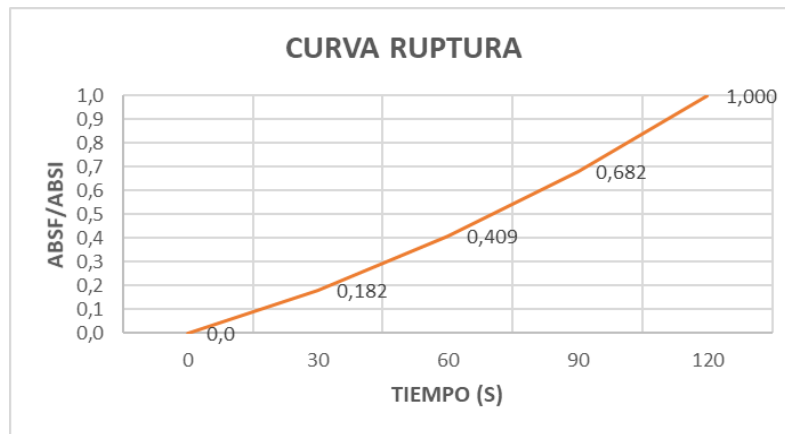
La curva de ruptura se realizó determinando la relación de absorción final sobre absorción inicial versus el tiempo. Para la primera altura de 22 cm los datos obtenidos se muestran en la Tabla 2-18 y Gráfica 2-13.

Tabla 2-18. Datos de adsorción para cada tiempo a una altura de 22 cm

TIEMPO (s)	ABS INICIAL	ABS FINAL	ABSF/ABSI
0	0,022	0	0
30	0,022	0,004	0,182
60	0,022	0,009	0,409
90	0,022	0,015	0,682
120	0,022	0,022	1,000

Fuente: Autores

Gráfica 2-13. Curva de ruptura para una altura de 22 cm



Fuente: Autores

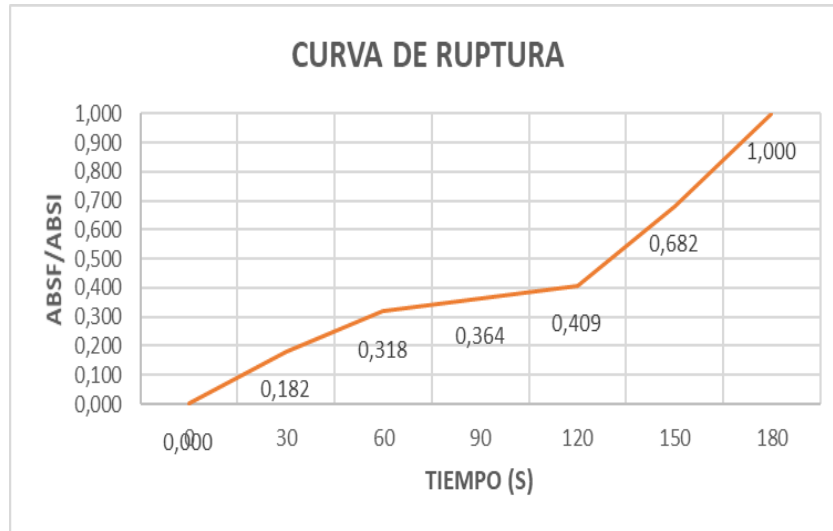
Los resultados obtenidos para una altura de 18 cm se observan en la Tabla 2-19 y Gráfica 2-14.

Tabla 2-19. Datos de adsorción para cada tiempo a una altura de 18 cm

TIEMPO (s)	ABS INICIAL	ABS FINAL	ABSF/ABSI
0	0,022	0,000	0,000
30	0,022	0,004	0,182
60	0,022	0,007	0,318
90	0,022	0,008	0,364
120	0,022	0,009	0,409
150	0,022	0,015	0,682
180	0,022	0,022	1,000

Fuente: Autores

Gráfica 2-14. Curva de ruptura para una altura de 18 cm



Fuente: Autores

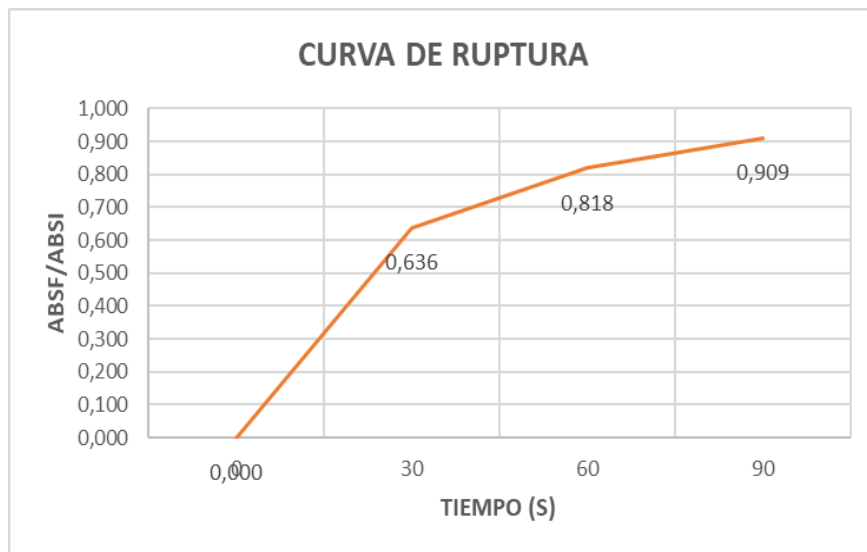
Los resultados obtenidos para una altura de 12 cm se observan en la Tabla 2-20 y Gráfica 2-15.

Tabla 2-20. Datos de adsorción para cada tiempo a una altura de 12 cm

TIEMPO	ABS INICIAL	ABS FINAL	ABSF/ABSI
0	0,022	0,000	0,000
30	0,022	0,014	0,636
60	0,022	0,018	0,818
90	0,022	0,020	0,909

Fuente: Autores

Gráfica 2-15. Curva de ruptura para una altura de 12 cm



Fuente: Autores

Mediante las curvas de ruptura obtenidas y la absorbancia final para cada tiempo final, se diseñó cual es la profundidad crítica de la columna de carbón activado.

En primer lugar, de acuerdo a cada altura de carbón activado y el tiempo final respectivo se realizó la gráfica de tiempo versus la profundidad con el fin de obtener los parámetros de capacidad de adsorción (N_0) y constante de velocidad (K) mediante la pendiente e intercepto. Los valores obtenidos se observan en la Tabla 2-21.

Tabla 2-21. Datos obtenidos de la recta

Caudal (m ³ /s)	Profundidad del lecho (m)	Tiempo (s)	Velocidad (m/s)	Pendiente (s/m)	Intercepto	Co (mg/L)	Ce (mg/L)
0,000002	0,22	120	0,0113	900	18	67,693	62,052
	0,18	180					
	0,12	90					

Fuente: Autores

Por medio de la Ecuación 2-1, Ecuación 2-2 y Ecuación 2-3 se determinaron los parámetros N_o , K y D_o (Profundidad crítica del carbón activado) :

Ecuación 2-1. Cálculo de pendiente

$$s = N_o/CoV$$

Fuente: Tomada del libro Tratamiento de Aguas residuales (Ramalho, 1983)

Ecuación 2-2. Cálculo de la constante de velocidad

$$K = -\ln[Co/Ce) - 1]/iCo$$

Fuente: Tomada del libro Tratamiento de Aguas residuales (Ramalho, 1983)

Ecuación 2-3. Cálculo profundidad crítica del lecho

$$Do = (V/KNo)\ln[Co/Ce) - 1]$$

Fuente: Tomada del libro Tratamiento de Aguas residuales (Ramalho, 1983)

Los datos obtenidos se observan en la Tabla 2-22:

Tabla 2-22. Resultados de los parámetros N_o , K y D_o

No (mg/L)	K (L/mgs)	Do (m)	Rendimiento (%)
0,69	0,00196	0,04	76,88

Fuente: Autores

De acuerdo a los resultados anteriormente se puede demostrar que la profundidad crítica del lecho tendría un rendimiento 76,88%, lo cual es óptimo para obtener una adsorción reducción y/o eliminación de contaminantes que afectan en la calidad del agua.

3. CONCLUSIONES.

1. En la caracterización de las muestras de agua se pudo observar que los parámetros fisicoquímicos de la muestra de agua lluvia en su condición inicial fueron óptimos, aun así, se realizaron los demás procesos con el fin de comparar la eficiencia de la nanotecnología en los tratamientos de agua y determinar qué tanto se puede mejorar esta muestra de agua. Por el contrario, para el agua contaminada se observó que los parámetros fisicoquímicos excedieron los óptimos y visiblemente no es un agua segura.
2. Se logró realizar la sintetización de las nanopartículas con carbón activado mediante el método de síntesis verde, es decir, un método más ecológico a los convencionales, lo cual determinó el tamaño de las nanopartículas magnéticas de 60nm con remanencia de magnetización igual cero.
3. Mediante la caracterización del carbón activado con nanopartículas magnéticas se logró comprobar que este material tiene magnetización de 20 emu/g, asimismo mediante el ensayo XRD se comprobó que las nanopartículas corresponden a las magnéticas de acuerdo a la gráfica obtenida puesto que arrojó los picos y valores correspondientes a la gráfica estandarizada para este compuesto.
4. Los ensayos que determinaron las características del carbón activado lograron comprobar que la impregnación con las nanopartículas fue óptima, debido a que esto asegura que las nanopartículas magnéticas con el carbón activado siempre estarán impregnadas y no se tendrá el riesgo de desprendimiento de ellas en el momento de realizar la filtración., de igual manera estos ensayos permitieron determinar que grupos funcionales actuaron ya que estos fueron los responsables de la reducción de los parámetros.
5. De acuerdo a los resultados obtenidos durante el desarrollo de los ensayos para la caracterización de cada muestra de agua, se analizó la eficacia de implementar la nanotecnología en procesos de filtración. En este proceso se observó que el filtro con carbón activado sintetizado con nanopartículas tuvo mayor porcentaje de retención para cada parámetro, lo cual determinó que este filtro es más efectivo, por ende, garantiza un mejor proceso para el tratamiento de aguas. Aunque los resultados de los parámetros fisicoquímicos de cada agua después de la filtración por el carbón activado con nanopartículas fueron óptimos según los valores máximos admisibles en la Resolución 2115 de 2007, para el caso de la muestra de agua contaminada el valor de pH no se encuentra entre el rango de 6.5-9.0, por esto se asegura que esta muestra de agua sea completamente segura para el consumo humano ya que tiene un pH moderadamente alcalino.
6. Después de hacer el proceso de filtración mediante el carbón activado no modificado y el carbón activado con nanopartículas magnéticas se pudo comprobar una vez más que

el uso de estas es eficiente en los procesos de tratamiento de agua debido a que tuvo una buena reducción en los parámetros fisicoquímicos como se pudo comprobar en los parámetros de turbiedad y color, lo cual genera interés en seguir utilizando estas nuevas tecnologías para el tratamiento de agua sino también en diferentes campos de la ingeniería civil.

7. Con la filtración mediante el carbón activado impregnado de nanopartículas magnéticas se logró obtener un agua aceptable para el agua lluvia y para el agua contaminada con un rango muy cercano para que la muestra de agua sea buena según el IDEAM, de igual manera esto se pudo afirmar y comprobar mediante la Resolución 2115 de 2007 que son normas hoy vigentes.

4. RECOMENDACIONES.

1. Para poder reutilizar el carbón activado del filtro de la Universidad Católica de Colombia, es necesario dejar el carbón activado en agua destilada de 32 a 48 horas con el fin de eliminar en un 90% el contenido de partículas de suciedad para que no afecten los resultados.
2. Para realizar el proceso de coagulación y floculación se recomienda que durante el proceso de hacer la homogenización del agua con el coagulante no se sobrepase la velocidad y tiempo de 100 rpm en un minuto para que no rompa los flocs. Asimismo, después del proceso de floculación se debe dejar los recipientes en reposo durante 30 a 40 minutos para así garantizar una total sedimentación de los flocs.
3. Si el valor de pH después del proceso de filtración no se encuentra dentro del rango óptimo de 6.5- 9 se recomienda realizar un proceso para el balance de este.
4. Realizar una buena impregnación y sintetización de las nanopartículas con el carbón activado para

5. BIBLIOGRAFÍA

- ABC COLOR, 2003. Contaminación del agua. [en línea]. Disponible en: <http://www.abc.com.py/articulos/contaminacion-del-agua-720320.html>.
- AMBIENTE, M.D.E. y TERRITORIAL, V.Y.D., 2007. Resolución 2115 de 2007. , pp. 23.
- AURELIA, C.G., ARTICULO, D., CASTAÑEDA, J.R., MARTÍNEZ, M., CORTÉS, F., FRANCO, C., PERUGACHI, R., PAREDES, C. y CORNEJO, M., 2018. Las Nanoarcillas y sus potenciales aplicaciones en el Ecuador. *Informador Téncino (Colombia)* [en línea], vol. 19, no. 1, pp. 9. ISSN 2256-5035. DOI 10.23850/22565035.45. Disponible en: <http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/213/156>.
- BAREÑO, I.R.A., 2016. *Diseño, Propuesta E Implementación De Un Filtro Para Tratamiento De Aguas De Uso Doméstico En Tanques De Reserva En La Población Del Casco Urbano De La Inspección De San Antonio De Anapoima* [en línea]. S.l.: Universidad libre. Disponible en: [http://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/10401/ANTEPROYECTO SEMINARIO FILTERO ARENA ULTIMA ENTREGA JUNIO 11.pdf?sequence=1](http://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/10401/ANTEPROYECTO_SEMINARIO_FILTERO_ARENA_ULTIMA_ENTREGA_JUNIO_11.pdf?sequence=1).
- BARRENECHEA, A., 2004. Aspectos físicoquímicos de la calidad del agua. *Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: teoría.* [en línea], vol. 1, pp. 2-56. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manualI/tomol/uno.pdf>.
- BERDONCES, J.L., 2008. La problemática del tratamiento del agua potable. *Medicina naturista*, vol. 2, no. 2, pp. 22-28. ISSN 1576-3080.
- BLACKMAN, J.A., 2008. Metallic Nanoparticles. *Handbook of Metal Physics* [en línea], vol. 5, pp. 175-229. ISSN 1570002X. DOI 10.1016/S1570-002X(08)00207-3. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1570002X08002073>.
- CARLOS, S., REGIONAL, E., HIDR, R. y COLLAZOS, P., 2012. *Diseño , Construcción Y Evaluación De Un Filtro.* S.l.: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- CASTAÑEDA, J.R., 2016. Nanotecnología Aplicada Al Tratamiento De Agua En México. *Revista Electrónica* [en línea], vol. 14, pp. 9. Disponible en: http://revistaelectronica-ipn.org/Contenido/15/TECNOLOGIA_15_000355.pdf.
- CHULLUNCUY, N., 2011. Tratamiento de Agua para Consumo Humano. *Ingeniería Industrial*, no. 29, pp. 153-170. ISSN 1025-9929. DOI 1025-9929.
- Clair N. Sawyer _ Perry L. McCarty _ Gene N. Parkin-*Química para ingeniería ambiental-Mc Graw Hill (2001).pdf*, 2001. Cuarta. S.l.: s.n. ISBN 958-41-0164-1.
- DIAZ, K. y NIÑO, Y., 2018. *Evaluación del comportamiento de materiales alternativos para lechos filtrantes en proceso de potabilización de agua.* S.l.: Universidad Católica de Colombia.
- ECOTICIAS, 2018. Más de 2.000 millones de personas no tienen acceso al agua potable en nuestro planeta. [en línea]. Disponible en: <https://www.ecoticias.com/sostenibilidad/182182/2000-millones-personas-tienen-acceso-agua-potable-nuestro-planeta>.

- FERNANDEZ, N.J. (Universidad de P. y SOLANO, F., 2013. Indicadores de la Calidad del Agua. Generalidades. *Indices de Calidad y de Contaminación del Agua*, pp. 27-35. ISSN 0717-9308. DOI 10.4067/S0717-93082006000400004.
- FERNANDO, L., GIRALDO, G., ALEJANDRO, E., FRANCO, M., JULIÁN, J. y ARANGO, S., [sin fecha]. La fotocatalisis como alternativa para el tratamiento de aguas residuales. , vol. 1, no. 1.
- GONZÁLEZ, R., 2011. LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA. *Twenergy* [en línea]. Disponible en: <https://twenergy.com/a/la-contaminacion-del-agua-412>.
- HUANG, J., HUANG, G., AN, C., HE, Y., YAO, Y., ZHANG, P. y SHEN, J., 2018. Performance of ceramic disk filter coated with nano ZnO for removing *Escherichia coli* from water in small rural and remote communities of developing regions. *Environmental Pollution* [en línea], vol. 238, pp. 52-62. ISSN 18736424. DOI 10.1016/j.envpol.2018.03.008. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.03.008>.
- JIANG, Y., XIE, Q., ZHANG, Y., GENG, C., YU, B. y CHI, J., 2019. International Journal of Mining Science and Technology Preparation of magnetically separable mesoporous activated carbons from brown coal with Fe₃O₄. *International Journal of Mining Science and Technology* [en línea], vol. 29, no. 3, pp. 513-519. ISSN 2095-2686. DOI 10.1016/j.ijmst.2019.01.002. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2019.01.002>.
- JOH, G., CHOI, Y.S., SHIN, J.-K. y LEE, J., 2011. Problematic algae in the sedimentation and filtration process of water treatment plants. *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua*, vol. 60, no. 4, pp. 219-230. ISSN 0003-7214.
- LÓPEZ PARAGUAY, M.Z., 2013. Adsorción de arsénico y fluoruros en nanopartículas y su posterior separación del agua tratada. *Tesis Doctoral*, pp. 131.
- LOZADA, P.T., VÉLEZ, C.H.C. y PATINO, P., 2009. Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. *Revista de Ingenierías: Universidad de Medellín*, vol. 8, no. 15, pp. 3. ISSN 1692-3324.
- MARICELLY, M., CORTES, F. y CAMILO, F., 2013. Tratamiento de agua basado en la adsorción de crudo en nanopartículas polares y no polares. *Informador Téncino (Colombia)*, vol. 77, pp. 59-68.
- MEDINA, M., GALVÁN, L. y REYES, R., 2015. LAS NANOPARTÍCULAS Y EL MEDIO AMBIENTE. *Universidad, Ciencia y Tecnología* [en línea], vol. 19, no. 74, pp. 49-58. ISSN 1316-4821. Disponible en: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-48212015000100005.
- MUÑOZ CRUZ AMÍLCAR, 2008. " CARACTERIZACIÓN Y TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ". *UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO*,
- ORELLANA, J.A., 2005. Tratamiento de las aguas. *Ingeniería Sanitaria-UTN-FRRO* [en línea], pp. 1-123. Disponible en: https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/ing_sanitaria/Ingenieria_Sanitaria_A4_Capitulo_06_Tratamiento_de_Aguas.pdf.
- PAYERAS, A., 2018. Parámetros de la calidad de las aguas de riego. *Bonsai Menorca* [en

- línea]. [Consulta: 16 septiembre 2018]. Disponible en: <http://www.bonsaimenorca.com/articulos/articulos-tecnicos/parametros-de-calidad-de-las-aguas-de-riego/#Dureza>.
- PEÑATE, B., 2016. La nanotecnología para el Tratamiento de Aguas. *iAgua*.
- POYO LORENZO, S., 2017. Qué es el carbón activado y para qué sirve. *Bekia Salud* [en línea]. [Consulta: 19 septiembre 2018]. Disponible en: <https://www.bekiasalud.com/articulos/carbon-activado-para-que-sirve/>.
- PUBLICA, M.D.E.S., PRESIDENTE, E.L. y REPUBLICA, D.E.L.A., 1998. Decreto 475 de 1998. , vol. 1998, no. 43.
- RESTREPO MEJÍA, A.P., ARANGO RUÍZ, Á. y GARCÉS GIRALDO, L.F., 2012. La electrocoagulación: retos y oportunidades en el tratamiento de aguas. *Producción+Limpia* [en línea], vol. 1, no. 2, pp. 58-77. ISSN 1909-0455. Disponible en: <http://repository.lasallista.edu.co/dspace//handle/10567/514>.
- REYNOLDS, K.A., 2001. Tratamiento de aguas residuales en Latinoamérica. *Latinoamérica*, pp. 48-49.
- ROBERT, P., 2004. Filtros eficientes producidos a partir de nanotubos de carbono. *Rensselaer Polytechnic Institute* [en línea]. Disponible en: <https://news.rpi.edu/luwakkey/435>.
- ROBERTO RUIZ UNIVERSIDAD DE ALICANTE, I.R., 2018. *Nanopartículas magnéticas para el tratamiento de aguas contaminadas* [en línea]. 2018. Alicante (España): s.n. Disponible en: <https://web.ua.es/es/actualidad-universitaria/2018/febrero18/12-18/nanoparticulas-magneticas-para-el-tratamiento-de-aguas-contaminadas.html>.
- ROMERO, J.A., 2008. *Biología - Potabilización del Agua - FL.pdf*. 3. México: s.n.
- RUIZ, A., BARBA, M. y LOZANO, E., [sin fecha]. Nanotoxicidad en los tiempos de la nanotecnología. [en línea]. Disponible en: <https://www.sebbm.es/revista/articulo.php?id=368&url=nanotoxicidad-en-los-tiempos-de-la-nanotecnologia>.
- SÁNCHEZ, M., ELPIDIO, J., JASSO, C., EUGENIA, M., EUGENIA, M. y CRISTINA, N.C., 2012. Desinfección y purificación de agua mediante nanopartículas metálicas y membranas compósitas. ,
- SIERRA, C., 2011. *Calidad del agua, Evaluación y diagnóstico*. S.l.: s.n. ISBN 9789588692067.
- Sistema de Nanofiltración Seldon WaterTap™. , 2017. pp. 12003.
- TALAT, M., MOHAN, S., DIXIT, V., SINGH, D.K., HASAN, S.H. y SRIVASTAVA, O.N., 2018. Effective removal of fluoride from water by coconut husk activated carbon in fixed bed column: Experimental and breakthrough curves analysis. *Groundwater for Sustainable Development* [en línea], vol. 7, no. January, pp. 48-55. ISSN 2352801X. DOI 10.1016/j.gsd.2018.03.001. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2018.03.001>.
- TEAM, F.N., 2006. El papel de la filtración en el tratamiennto de agua. .
- URIBE, G.M. y LÓPEZ, J.L.R., 2007. La nanociencia y la nanotecnología: una revolución en curso. *Revista Perfiles Latinoamericanos*, vol. 14, no. 29, pp. 161-186. ISSN 2309-4982.
- WALTER, J. y WEBER, J., 2003. *Control de calidad del agua Procesos fisicoquímicos*. REVERTÉ S. España: s.n. ISBN 84-291-7522-9.

6. ANEXOS

6.1. ANEXO A- REGISTRO FOTOGRAFICO

Imagen 6-1. Montaje para determinar la alcalinidad



Fuente: Tomada por autores

Imagen 6-2. Muestra de agua contaminada



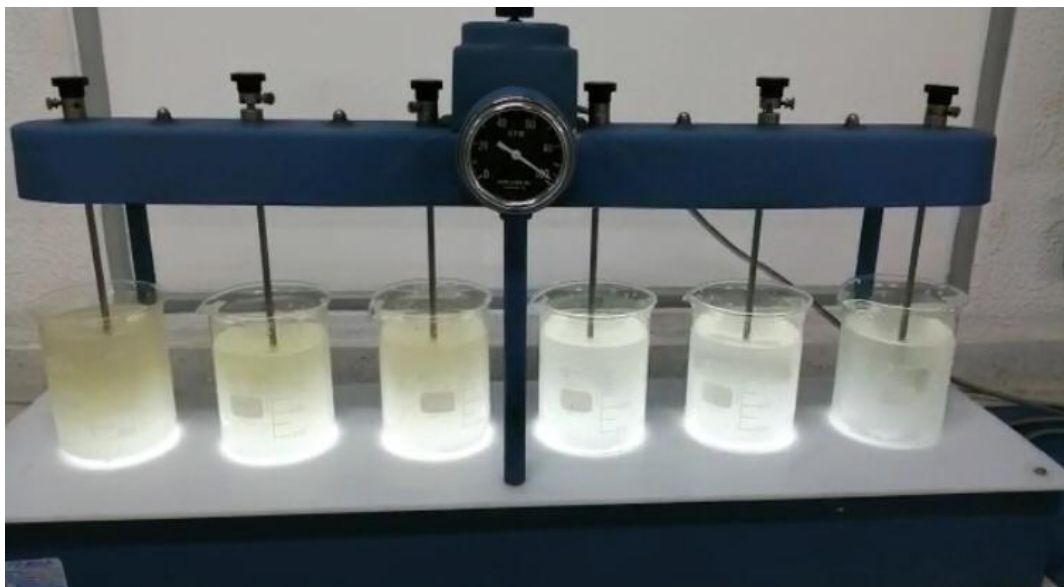
Fuente: Tomada por autores

Imagen 6-3. Cresol para determinar sólidos totales



Fuente: Tomada por autores

Imagen 6-4. Montaje para el procedimiento de test de jarras



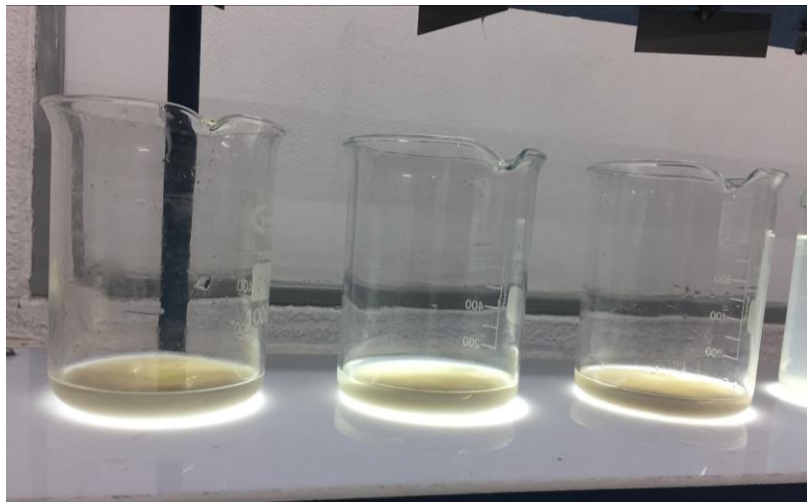
Fuente: Tomada por autores

Imagen 6-5. Coagulante de policloruro de aluminio y probeta para medición



Fuente: Tomada por autores

Imagen 6-6. Flocs formados para el agua contaminada



Fuente: Tomada por autores

Imagen 6-7. Muestra de agua contaminada después de proceso de coagulación



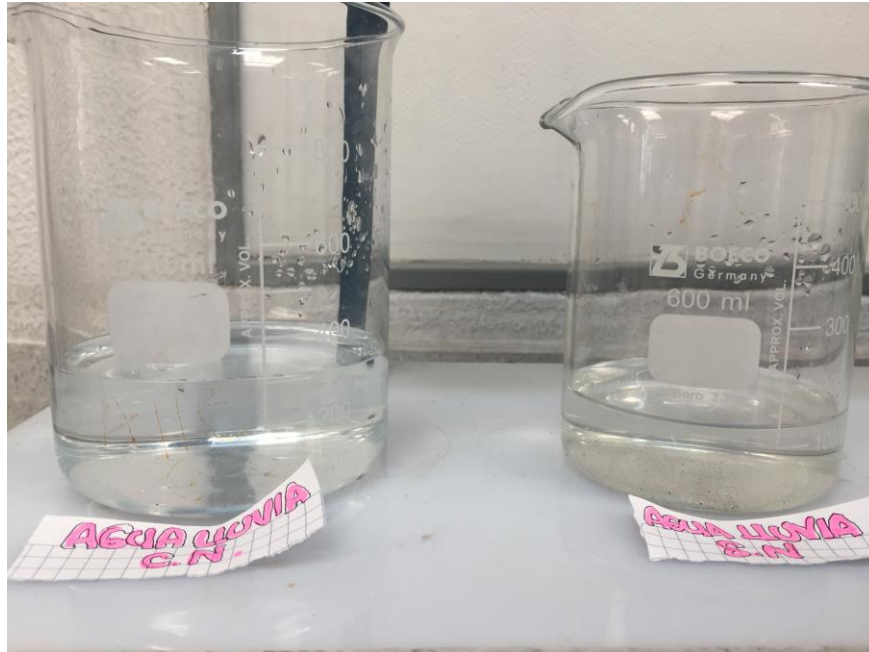
Fuente: Tomada por autores

Imagen 6-8. Montaje del filtro



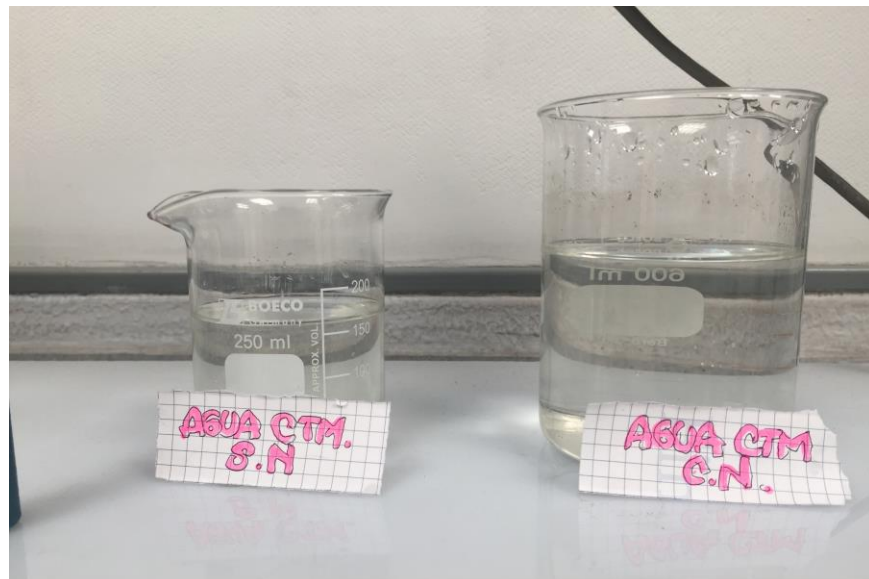
Fuente: Tomada por autores

Imagen 6-9. Muestra de agua lluvia después del proceso de filtración



Fuente: Tomada por autores

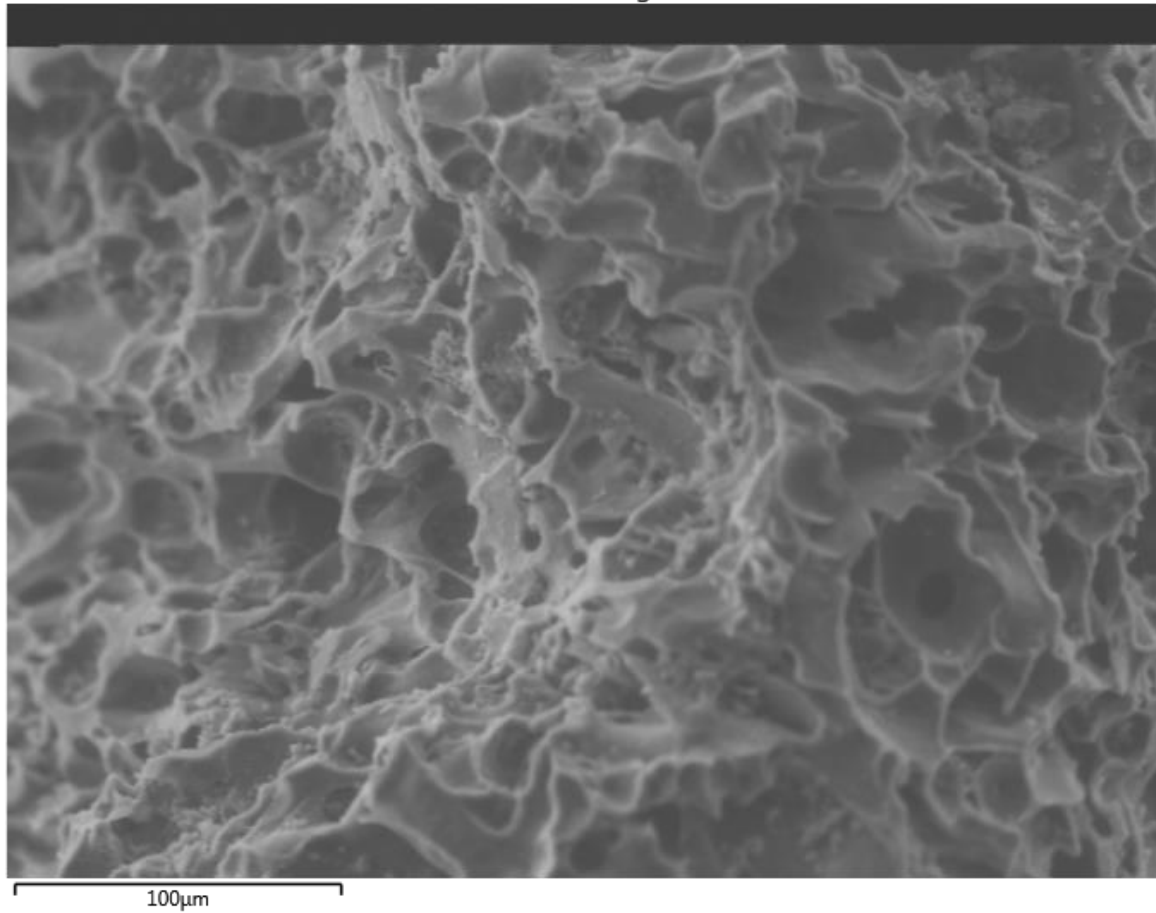
Imagen 6-10. Muestra de agua contaminada después del proceso de filtración



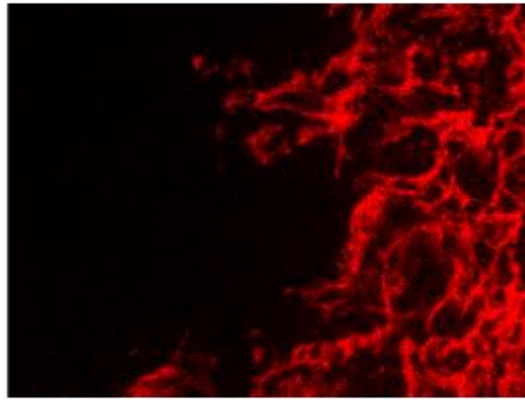
Fuente: Tomada por autores

6.2. ANEXO B- ENSAYO SEM

Electron Image 1

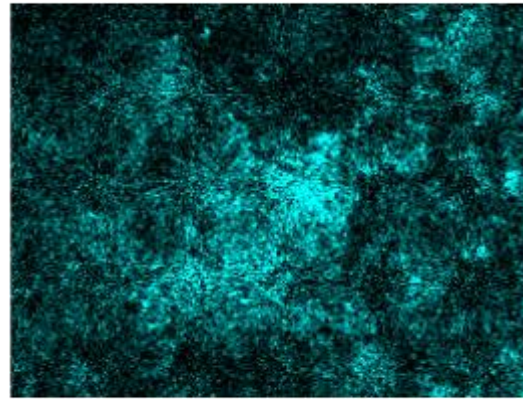


C K α 1_2



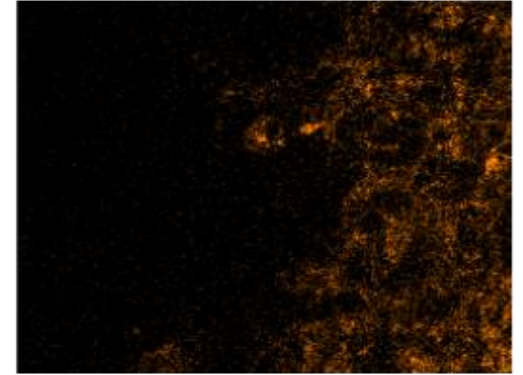
100 μ m

Fe K α 1



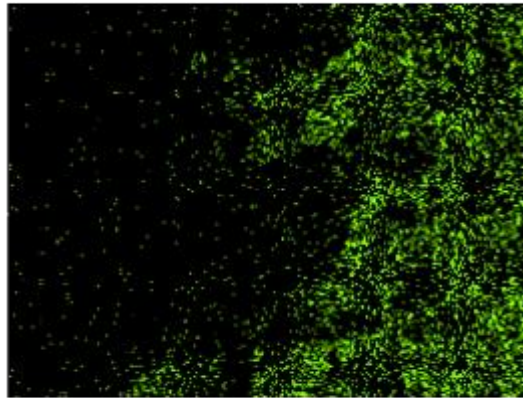
100 μ m

O K α 1



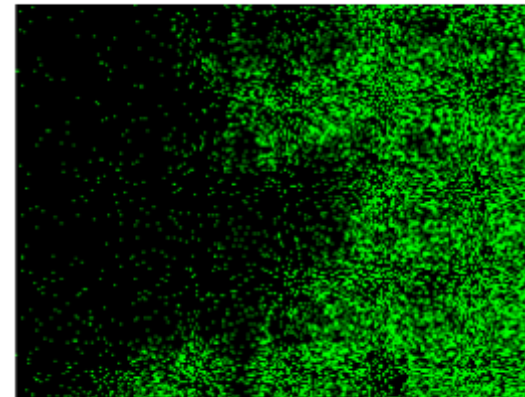
100 μ m

Na K α 1_2



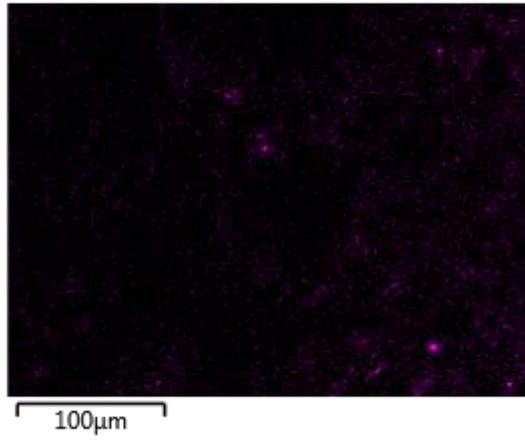
100 μ m

S K α 1



100 μ m

Al K α 1



Si K α 1

