



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO DE GRADO (Modalidad
Trabajo de investigación)

IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE ARCILLA MODIFICADA
MAGNÉTICAMENTE PARA LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE
DEL RÍO CUJA

ELABORADO POR:
HAROL SEBASTIÁN MORENO MEDINA
CÓDIGO: 506045
JULIAN CAMILO ROMERO NIETO
CÓDIGO: 506220

DIRECTOR
PhD. WILFREDO MARIMÓN BOLIVAR

BOGOTÁ, D. C., 2019



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE
ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA
LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE
DEL RÍO CUJA

ELABORÓ:
HAROL MORENO CÓDIGO: 506045
JULIAN ROMERO CÓDIGO: 506220

DIRECTOR:
PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.
Director trabajo de Grado



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.



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE
ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA
LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE
DEL RÍO CUJA

ELABORÓ:
HAROL MORENO CÓDIGO: 506045
JULIAN ROMERO CÓDIGO: 506220

DIRECTOR:
PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.
Director trabajo de Grado

AGRADECIMIENTO

En primera instancia quiero agradecer a Dios por permitirme sonreír ante todos mis logros, gracias a mi familia por apoyarme en cada decisión tomada, gracias a la vida porque día a día me demuestra que los sueños se pueden hacer realidad con esfuerzo y dedicación.

Gracias a mi universidad por haber permitido formarme como persona y como profesional, a mi compañero de tesis que a pesar de las adversidades siempre estuvo presente dando aportes significativos para llevar a cabo este proyecto.

De antemano agradezco a mi tutor de tesis por ser nuestro mentor frente a este proceso, por brindar sus conocimientos y experiencias, al semillero por enseñarme a tener una mirada investigativa.

Harol Sebastián Moreno Medina



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE
ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA
LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE
DEL RÍO CUJA

ELABORÓ:
HAROL MORENO CÓDIGO: 506045
JULIAN ROMERO CÓDIGO: 506220

DIRECTOR:
PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.
Director trabajo de Grado

Hoy al ver el camino transitado en estos últimos 5 años solo puedo sentir alegría y orgullo por los logros alcanzados, logros que no podría haber obtenido sin la ayuda y acompañamiento de personas tan importantes y significativas para mí.

Doy gracias a mi madre Ligia Nieto por su incansable apoyo y compañía, sus cuidados y palabras de aliento en momentos de frustración. A Paula y Karem Monroy, mis hermanas que depositaron su confianza en mí y me brindaron su apoyo en todos los aspectos necesarios para la consecución de mi título.

A mi tía Janeth Nieto por su apoyo incondicional y su compañía en estos años de estudio.

A mi padre José Romero por su apoyo.

A la Universidad Católica de Colombia por sus aportes en la construcción del ser humano integral en el que me he convertido.

A mi tutor de tesis Wilfredo Marimon, docente y director de tesis, quien siempre estuvo presto para resolver nuestras dudas y guiarnos con su conocimiento, aportando experiencias que quedarán plasmadas en el ejercicio de mi profesión.

A Harol Moreno compañero de tesis y amigo, que transitó conmigo el camino del conocimiento y la elaboración de este documento.

Agradezco a mi compañera de estudios Nathalie Toussaint y el semillero de investigación por sus aportes académicos y disertaciones realizadas durante estos últimos años que permitieron que los aprendizajes fueran más significativos.

Julián Camilo Romero Nieto



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE
ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA
LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE
DEL RÍO CUJA

ELABORÓ:
HAROL MORENO CÓDIGO: 506045
JULIAN ROMERO CÓDIGO: 506220

DIRECTOR:
PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.
Director trabajo de Grado

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a la memoria de mi padre Héctor Moreno Guzmán (Q.E.P.D) quien siempre me brindo su ayuda incondicional, amor y dedicación, me formo como persona y me enseñó a salir de las adversidades con esfuerzo, dedicación ¡padre mío donde quiera que este logro es de los dos! Para mi madre Flor Elba Medina quien fue promotora de mis sueños, gracias por acompañarme en cada larga y agotadora noche de estudio, siempre me dio una palabra de aliento en todo mi proceso de aprendizaje con amor y dedicación.

A mis hermanos y demás familia en general por el apoyo que siempre me brindaron en el trascurso de este proceso académico.

Harol Sebastián Moreno Medina



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE
ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA
LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE
DEL RÍO CUJA

ELABORÓ:
HAROL MORENO CÓDIGO: 506045
JULIAN ROMERO CÓDIGO: 506220

DIRECTOR:
PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.
Director trabajo de Grado

Quiero dedicar no solo este trabajo sino mi título como Ingeniero Civil a la gestora y motor de mi vida, aquella que me impulsa cada mañana a levantarme y seguir adelante, a pesar de los tropiezos y las caídas, pues siempre está dispuesta a brindarme su mano para levantarme, siempre logra hacer de un momento normal algo mágico. Siempre saca lo mejor de mí mismo, es mi mejor amiga y sé que siempre estará junto a mí, no importa lo que pase, por su fuerza y amor incondicional: Ligia Nieto Rey mi madre.

Julián Camilo Romero Nieto



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE
ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA
LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE
DEL RÍO CUJA

ELABORÓ:
HAROL MORENO CÓDIGO: 506045
JULIAN ROMERO CÓDIGO: 506220

DIRECTOR:
PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.
Director trabajo de Grado

Nota de Aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Bogotá D.C., 2 de diciembre de 2019



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE
ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA
LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE
DEL RÍO CUJA

ELABORÓ:
HAROL MORENO CÓDIGO: 506045
JULIAN ROMERO CÓDIGO: 506220

DIRECTOR:
PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.
Director trabajo de Grado

CONTENIDO

GLOSARIO	14
RESUMEN	16
1. ALTERNATIVA	17
2. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN Y EJE TEMÁTICO	17
2.1. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN	17
2.2. EJE TEMÁTICO	17
3. INTRODUCCIÓN	18
4. ANTECEDENTES	19
5. ESTADO DEL ARTE	22
5.1 REMOVAL OF SILVER NANOPARTICLES WITH NATIVE AND MAGNETICALLY MODIFIED HALLOYSITE	23
5.2 REMOVAL OF PB(II) AND AS(V) USING MAGNETIC NANOPARTICLES COATED MONTMORILLONITE VIA ONE-POT SOLVOTHERMAL REACTION AS ADSORBENT	23
5.3 HIGH PERFORMANCE HYDROXYIRON MODIFIED MONTMORILLONITE NANOCLAY ADSORBENT FOR ARSENITE REMOVAL 24	
5.4 ALLOPHANE NANOCLAY FOR THE REMOVAL OF PHOSPHORUS IN WATER AND WASTEWATER	24
5.5 CLAY BASED NANOCOMPOSITES FOR REMOVAL OF HEAVY METALS FROM WATER: A REVIEW	24
5.6 CLAYS FOR EFFICIENT DISINFECTION OF BACTERIA IN WATER	25
6. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	26
7. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN	28
8. MARCO DE REFERENCIA	30
8.1 MARCO TEÓRICO	30
8.1.1 Primero: Adsorción superficial	30
8.1.2 Segundo: Formación de cristales mixtos	31
8.1.3 Tercero y cuarto: Oclusión y trampa mecánica	32



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE
ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA
LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE
DEL RÍO CUJA

ELABORÓ:
HAROL MORENO CÓDIGO: 506045
JULIAN ROMERO CÓDIGO: 506220

DIRECTOR:
PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.
Director trabajo de Grado

8.1.4	Técnicas convencionales de potabilización (pretratamiento, primario, secundario y terciario)	34
8.2	MARCO LEGAL	36
8.3	MARCO CONCEPTUAL	39
8.3.1	Calidad del Agua- Parámetros	39
8.3.2	Índice de calidad de agua	41
8.3.2.1	Cálculo Oxígeno Disuelto	41
8.3.2.2	Cálculo Solidos suspendidos Totales (SST)	41
8.3.2.3	Cálculo Demanda Química de Oxigeno (DQO)	42
8.3.2.4	Cálculo de Conductividad eléctrica (C.E.)	42
8.3.2.5	Cálculo pH:	42
8.3.3	Técnicas avanzadas de tratamiento – nanoarcilla.....	43
8.3.3.1	Nanopartículas magnéticas	44
9.	OBJETIVOS.....	46
9.1	OBJETIVO GENERAL	46
9.2	OBJETIVO ESPECÍFICO	46
10.	ALCANCES Y LIMITACIONES	47
11.	METODOLOGÍA	48
12.	RESULTADOS Y ANÁLISIS	52
12.1	SÍNTESIS DE NANOMATERIAL	52
12.2	CARACTERIZACIÓN DEL NANOMATERIAL	55
12.2.1	Composición microscópica mediante SEM	55
12.2.2	Saturación magnética	57
12.2.3	Caracterización cristalográfica	59
12.3	CARACTERIZACIÓN INICIAL DEL AGUA.....	59
12.3.1	Preparación agua sintética.....	63
12.4	TRATAMIENTO DEL AGUA A POTABILIZAR A ESCALA LABORATORIO	64
12.4.1	Coagulación-Floculación-Sedimentación	65
12.4.2	Adsorción con nanopartículas magnéticas.....	69
12.4.3	Filtración	72



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE
ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA
LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE
DEL RÍO CUJA

ELABORÓ:
HAROL MORENO CÓDIGO: 506045
JULIAN ROMERO CÓDIGO: 506220

DIRECTOR:
PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.
Director trabajo de Grado

12.4.4	Desinfección por Radiación UV	76
12.5	COMPARATIVA DE ESTÁNDARES DE CALIDAD DE AGUA POTABLE 78	
12.6	PRUEBAS DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES MEDIANTE EL INDICE DE CALIDAD DE AGUA.....	79
12.6.1	Cálculo Oxígeno Disuelto.....	79
12.6.2	Cálculo Solidos suspendidos Totales (SST):	80
12.6.3	Cálculo de Demanda Química de Oxigeno (DQO):	80
12.6.4	Cálculo de Conductividad eléctrica (C.E.):.....	80
12.6.5	Cálculo de pH	81
12.7	DISEÑO TEÓRICO DEL TRATAMIENTO DE POTABILIZACIÓN	83
12.7.1	Diseño coagulación con mezclador rápido mecánico	83
12.7.2	Diseño floculación mezclador mecánico lento	86
12.7.3	Diseño sedimentación primaria tipo II	90
12.7.4	Diseño de reactor tipo Batch.....	94
12.7.4.1	Volumen geométrico útil del reactor.....	95
12.7.4.2	Volumen geométrico borde libre del reactor.	96
12.7.4.3	Sistema de agitación.....	98
12.7.4.4	Potencia para accionar el eje.....	100
12.7.4.5	Diseño de fuente externa magnética.....	102
12.7.4.6	Diseño de filtración	103
12.7.4.7	Diseño de desinfección	106
13.	CONCLUSIONES	109
14.	RECOMENDACIONES	111
15.	BIBLIOGRAFÍA	112
16.	FIRMAS.....	117
	ANEXOS.....	118

LISTA DE FIGURAS

Fig. No 1, Coloide Coagulado	30
Fig. No 2, Filtración rápida.....	35
Fig. No 3, Desinfección.....	35
Fig. No 4, Proceso de potabilización.....	36



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE
ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA
LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE
DEL RÍO CUJA

ELABORÓ:
HAROL MORENO CÓDIGO: 506045
JULIAN ROMERO CÓDIGO: 506220

DIRECTOR:
PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.
Director trabajo de Grado

Fig. No 5, Calidad de agua en Colombia	39
Fig. No 6, Micrografías TEM que muestra el mecanismo de inactivación de arcilla modificada contra el E.Coli	43
Fig. No 7, Tratamiento de nanoarcillas magnéticas en agua contaminada.....	44
Fig. No 8, mapa Conceptual	45
Fig. No 9, Diagrama de flujo de metodología.....	48
Fig. No 10, Preparación de nanomaterial	53
Fig. No 11, Hidróxido de sodio.....	53
Fig. No 12, Oxidación del hierro.....	53
Fig. No 13, Glucosa en polvo.....	54
Fig. No 14, Preparación de bentonita para su posterior suministro a la solución .	54
Fig. No 15, Captación de nanomaterial por el neodimio	55
Fig. No 16, Resultado final de la nanoarcilla.....	55
Fig. No 17, Imagen SEM de la nanoarcilla.....	56
Fig. No 18, Imagen EDS de la nanoarcilla	56
Fig. No 19, Bocatoma del río Cuja	60
Fig. No 20, Colecta de agua	60
Fig. No 21, Lectura de pH in situ.....	60
Fig. No 22, Nevera Cava de Icopor.....	61
Fig. No 23, Titulación Acido-Base para Alcalinidad	61
Fig. No 24, Medición de alcalinidad	62
Fig. No 25, Muestra Titulada.....	62
Fig. No 26, Sistema de tratamiento de agua potable	64
Fig. No 27, Test de jarras	65
Fig. No 28, Expectativa de flóculos para una muestra de 80 ml de coagulante....	66
Fig. No 29, Flóculos sedimentados.....	67
Fig. No 30, Mezcla del cloruro de mercurio con el agua parcialmente tratado	70
Fig. No 31, Mezcla nanoarcillas con agua contaminada con mercurio	71
Fig. No 32, Evidencia de atracción de nanopartículas 1	71
Fig. No 33, Evidencia de atracción de nanopartículas 2	71
Fig. No 34, Muestra agua antes de filtración.....	73
Fig. No 35, Preparación de filtro	73
Fig. No 36, Ejecución de filtro	73
Fig. No 37, Ejecución del filtro en segundo intento	75
Fig. No 38, Resultado del agua después de filtrado (Derecha)	76
Fig. No 39, Muestra sometida a desinfección por radiación UV	77
Fig. No 40, Esquema de Mezclador mecánico rápido.....	86
Fig. No 41, Despiece de floculador parte 1	88
Fig. No 42, Despiece de floculador parte 2	88
Fig. No 43, Vista de corte	90
Fig. No 44, Plano detalle.....	90
Fig. No 45, Vista en planta de sedimentador primario	94



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE
ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA
LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE
DEL RÍO CUJA

ELABORÓ:
HAROL MORENO CÓDIGO: 506045
JULIAN ROMERO CÓDIGO: 506220

DIRECTOR:
PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.
Director trabajo de Grado

Fig. No 46, Vista en planta de sedimentador primario	94
Fig. No 47, Esquema de reactor Batch	97
Fig. No 48, Vista en perfil del reactor Batch.....	100
Fig. No 49, Caracterización de fuente magnética externa	103
Fig. No 50, Filtración lenta	105
Fig. No 51, Prototipo de reactor UV	108

LISTA DE TABLAS

Tabla 1, Referencia de artículos relacionados con Nanoarcillas aplicados al tratado del agua	22
Tabla 2, Comparativa de normas.....	38
Tabla 3, Parámetros de calidad de agua utilizados en el estudio	50
Tabla 4, Parámetros iniciales del Río Cuja	63
Tabla 5, Datos iniciales Agua Sintética.....	64
Tabla 6, Parámetros después de test de jarras	67
Tabla 7, Comparación de parámetros ante una CFS.....	68
Tabla 8, Parámetros hacia una dosificación de 80 ml de coagulante	69
Tabla 9, Resultado después de adsorción	72
Tabla 10, Datos después de filtrado	74
Tabla 11, Datos después de filtrado prueba No. 2.....	75
Tabla 12, Comparativa final entre parámetros finales del agua tratada con normativa	78
Tabla 13, Valores de saturación de oxígeno para	79
Tabla 14, Variables y ponderaciones para el caso de 5 variables	82
Tabla 15, Calificación de la calidad del agua según los valores que tome el ICA	82
Tabla 16, Normativa para mezcladores mecánicos rápidos	84
Tabla 17, Normativa para mezclador mecánico lento	87
Tabla 18, Tabla de interpolación.....	89
Tabla 19, Turbiedad para diferentes tiempos y profundidades	91
Tabla 20, Porcentaje de remoción	91
Tabla 21, Velocidad de retención.....	93
Tabla 22, Constante del impulsor	101
Tabla 23, Composición de la capa soporte	104
Tabla 24, Intensidad de radiación UV para diferentes organismos.....	107

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica No. 1, Espectrograma másico EDS	57
Gráfica No. 2, Saturación Magnética	58
Gráfica No. 3, Ensayo XRD	59
Gráfica No. 4, Dosis óptima de coagulante.....	68



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL


IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE
ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA
LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE
DEL RÍO CUJA

ELABORÓ:
HAROL MORENO CÓDIGO: 506045
JULIAN ROMERO CÓDIGO: 506220

DIRECTOR:
PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.
Director trabajo de Grado

LISTA DE ANEXOS

Anexo I, Curvas de isoconcentración.....	118
Anexo II, Imágenes con filtro EDS para cada elemento.....	119
Anexo III, Formatos de solicitud de laboratorio	121

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	<u>IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE</u> <u>ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA</u> <u>LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE</u> <u>DEL RÍO CUJA</u>	ELABORÓ: HAROL MORENO <u>CÓDIGO: 506045</u> JULIAN ROMERO <u>CÓDIGO: 506220</u>
		DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.</u> Director trabajo de Grado

GLOSARIO

Adsorción: Es un proceso en el cual, un contaminante soluble (adsorbato) es eliminado del agua mediante el contacto con una superficie sólida (adsorbente).

Agua potable: Agua que, por reunir los requisitos organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos, en las condiciones señaladas en el Decreto 1575 y Resolución 2115 del 2007, puede ser consumida por la población humana sin producir efectos adversos a la salud.

Análisis físico-químico del agua: Pruebas de laboratorio que se efectúan a una muestra para determinar sus características físicas, químicas o ambas.

Bentonita: Es una arcilla de grano muy fino del tipo de montmorillonita que contiene bases y hierro.

Calidad del agua Conjunto de características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas propias del agua

Coagulación: Introducir en el agua un producto capaz de neutralizar la carga de los coloides generalmente electronegativos, presentes en el agua y de formar un precipitado.

Coprecipitación: Proceso por el cual una especie que normalmente es soluble se separa de la disolución durante la formación de un precipitado.

Desinfección por radiación Ultravioleta: Fenómeno físico por el cual las ondas cortas de la radiación ultravioleta inciden sobre el material genético (ADN) de los microorganismos y los virus, y los destruye en corto tiempo, sin producir cambios físicos o químicos notables en el agua tratada.


Filtración: Método de separación física utilizado para separar sólidos a partir de fluidos mediante la interposición de un medio permeable capaz de retener partículas sólidas que permite únicamente el paso de líquidos.

Floculación: Es un proceso químico mediante el cual, con la adición de sustancias denominadas floculantes, se aglutinan las sustancias coloidales presentes en el agua, facilitando de esta forma su decantación y posterior filtrado.

Nanoarcillas: Estructuras de silicatos o filosilicatos laminares que poseen una elevada relación entre anchura y altura y que poseen al menos una dimensión en la escala de los nanómetros.

Nanopartículas Magnéticas: Clase de nanopartículas que pueden ser manipuladas a través de un campo magnético. Tales partículas comúnmente constan de elementos magnéticos tales como hierro, níquel y cobalto y sus compuestos químicos.

Oxígeno Disuelto (OD): Es la cantidad de oxígeno que está disuelta en el agua y que es esencial para los riachuelos y lagos saludables. El nivel de oxígeno disuelto puede ser un indicador de cuán contaminada está el agua y cuán bien puede dar soporte esta agua a la vida vegetal y animal.


 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL</p>	<p><u>IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE DEL RÍO CUJA</u></p>	<p>ELABORÓ: HAROL MORENO <u>CÓDIGO: 506045</u> JULIAN ROMERO <u>CÓDIGO: 506220</u></p> <hr/> <p>DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.</u> Director trabajo de Grado</p>
---	---	---

Planta de potabilización: Conjunto de obras, equipos y materiales necesarios para efectuar los procesos que permitan cumplir con las normas de calidad del agua potable.

Sedimentación Proceso en el cual los sólidos suspendidos en el agua se decantan por gravedad, previa adición de químicos coagulantes.

Síntesis: Proceso por el cual se producen compuestos químicos a partir de compuestos simples o precursores químicos.

Turbiedad: Medida del grado de transparencia que pierde el agua o algún otro líquido incoloro por la presencia de partículas en suspensión


 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	<u>IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE DEL RÍO CUJA</u>	ELABORÓ: HAROL MORENO <u>CÓDIGO: 506045</u> JULIAN ROMERO <u>CÓDIGO: 506220</u>
		DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.</u> Director trabajo de Grado

RESUMEN

Se desarrolló un nanomaterial magnético capaz de retener metales pesados, evaluando las características morfológicas y magnéticas del material sintético para poder ser suministrado en una planta de agua potable en casos que se puedan presentar irregularidades como vertimientos ilegales del afluente. Este material es diseñado con la condición de que no sea tóxico con el medio ambiente y a su vez que no presente ninguna toxicidad ante el proceso de potabilización. Para experimentar esta alternativa se recogieron muestras de río Cuja, el cual, es el actual dotador de agua potable del municipio de Fusagasugá, donde se simularon los tratamientos convencionales por medio de laboratorios incorporando una modificación en el tratamiento terciario para incluir las nanopartículas y al mismo tiempo realizar el diseño de manera teórica de cada uno de los procesos.

Asimismo, se realiza el análisis de los parámetros existentes y concluyentes del agua después de haber estado en diferentes tratamientos, donde se llega a que el nanomaterial modificado magnéticamente logra una remoción de mercurio bastante significativa, pero, al no realizarse una correcta dosificación, no alcanzó a cumplir el estándar de calidad, por otro lado, la turbiedad no cumplió debido a que se realizó una filtración rápida, y la mejor opción era un filtro lento, de acuerdo con los demás parámetros, fueron tratados de la mejor manera y cumplieron con los estándares de calidad.

Para finalizar, se pudo evidenciar que la evaluación respecto a su calidad por medio de un índice de calidad de agua y por medio de normativa de estándares de calidad, dio como resultado que el agua se encuentra en un rango de aceptable.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	<u>IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE DEL RÍO CUJA</u>	ELABORÓ: HAROL MORENO <u>CÓDIGO: 506045</u> JULIAN ROMERO <u>CÓDIGO: 506220</u>
		DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.</u> Director trabajo de Grado

PERIODO 2019- 3

PROGRAMA ACADÉMICO: INGENIERÍA CIVIL

ESTUDIANTE: HAROL SEBASTIÁN MORENO MEDIA CÓDIGO: 506045

ESTUDIANTE: JULIAN CAMILO ROMERO NIETO CÓDIGO: 506220

DIRECTOR SUGERIDO: WILFREDO MARIMON BOLIVAR

ALTERNATIVA: TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1. ALTERNATIVA.

Según el Acuerdo 213, artículo 2 de las normativas de la Universidad Católica de Colombia, estipula que el trabajo de grado contempla alternativas que le permita al estudiante poder graduarse, para este caso la elección abarca un trabajo e investigación, donde fomentará la implementación de nanopartículas de arcilla modificadas magnéticamente para la potabilización de agua proveniente del río Cuja


2. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN Y EJE TEMÁTICO.

2.1. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

La línea de investigación aprobada por la universidad que tiene mayor relación al proyecto es con respecto al comportamiento de materiales granulares y al saneamiento de la comunidad, el cual se apoya de los propósitos que permitan mejorar la calidad de vida de la comunidad.

2.2. EJE TEMÁTICO

La temática central del trabajo está centrada en el área de calidad y tratamiento de agua, priorizando las técnicas avanzadas de potabilización utilizando nanoarcillas, con el fin de evaluar y comprobar los parámetros ya establecidos.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	<u>IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE DEL RÍO CUJA</u>	ELABORÓ: HAROL MORENO <u>CÓDIGO: 506045</u> JULIAN ROMERO <u>CÓDIGO: 506220</u>
		DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.</u> Director trabajo de Grado

3. INTRODUCCIÓN


Actualmente, a nivel global, se han presentado diversos impactos que han afectado la calidad del agua, por lo cual se ha convertido en un motivo de preocupación ya que se evidencia un crecimiento demográfico y así sus necesidades hídricas ante diferentes aspectos tales como el consumo en la actividad industrial, agrícola y doméstica. Por otro lado, se han presentado varios esfuerzos por lograr una calidad de agua potable óptima mediante diferentes procesos con el fin de eliminar grandes cantidades de contaminantes que puedan afectar la salud humana (ONU-DAES 2014).

A comienzos del siglo XXI, la UNICEF (2005) ha informado que Colombia muestra una tasa de mortalidad provocada por las deficiencias que se presentan en el agua, trasportando en el líquido microorganismos que desencadenan diversas patologías, esto debido a que no se realiza un correcto tratamiento para la potabilización del agua y por consecuente se presentan incertidumbres en cuanto a la gestión de distribución del recurso en especial hacia zonas veredales y rurales.

Asimismo, se ha presentado un aumento de vertimientos sin tratar sobre los cuerpos de agua que son fuente potable en Colombia, generando la aparición de nuevos contaminantes en este tipo de descargas, como residuos orgánicos e inorgánicos, especialmente en metales pesados (UNICEF 2005), lo que conlleva a mejorar e innovar las técnicas convencionales de potabilización de agua a través de la implementación de materiales tales como las nanopartículas compuestas de arcilla, el cual es un recurso muy abundante en todo el mundo, convirtiéndolo en un producto asequible, igualmente amigable con el medio ambiente, por ello, se dispuso de este material modificándolo magnéticamente y logre remover contaminantes que sean nocivos para la salud, especialmente los metales pesados, que puedan ser tóxicos ante su ingesta.

Por esta razón, en este documento evaluarán los resultados de los procesos de tratamiento de agua en laboratorios para manifestar su efectividad ante un río modelo que es utilizado para abastecer agua potable, empleando consigo la normativa colombiana y estándares internacionales con el propósito de comparar los parámetros que rigen la calidad de potabilización.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se diseñará adicionalmente de manera teórica cada proceso con fines de generar una propuesta que permita mejorar la eficiencia del tratamiento que existe actualmente en el municipio.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	<u>IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE DEL RÍO CUJA</u>	ELABORÓ: HAROL MORENO <u>CÓDIGO: 506045</u> JULIAN ROMERO <u>CÓDIGO: 506220</u>
		DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.</u> Director trabajo de Grado


4. ANTECEDENTES

En la actualidad, se han observado las eficiencias que poseen las arcillas en la desinfección del agua, donde se aplican varios tipos de arcillas y minerales del mismo para la eliminación de bacterias en el agua, esto como objetivo principal de reemplazar químicos (como el cloro), los cuales, al utilizar el proceso de tratamiento generan subproductos que se vuelven cancerígenos. En efecto, Unuabonah et al (2018), han empleado la Pirofilita, un mineral de arcilla de aluminosilicatos hidratado con la composición química de $Al_2Si_4O_{10}(OH)_2$ que se utilizó con el propósito de erradicar el 94% de *E. coli* en solución incluso en presencia de 10 mg de $NaHCO_3$ en solución de pH de 7.1.

Del mismo modo, ellos desarrollaron un nuevo compuesto de arcilla híbrido bacteriostático partir de una combinación de caolinita, Carica, papaya, semillas y cloruro de zinc ($ZnCl_2$). Este compuesto se utiliza para acabar con bacterias tales como *Vibrio Cholerae* eficientemente y *Typhi Samonella* de agua con un tiempo de paso de 400 a 700 min para la eliminación de $1,5 \times 10^6$ ufc/mL (unidad formadora de colonias) de *S. typhi* y *V. cholerae* en agua, respectivamente

Por otro lado, Yadav, Gadi y Kalra (2019), realizaron una revisión ante la reducción de los metales pesados del agua por medio de nanocompuesto donde se usaron tres tipos de arcillas con el fin de realizar el estudio, que fueron Caolinita, Montmorillonita y Bentonita, donde principalmente se analizó su comportamiento como adsorbente hacia la erradicación de Co (cobalto) (II), Pb (plomo) (II), (cobre) Cu (II), Cr (cromo) (III), Cr (VI), Ni (Níquel) (II), Hg (mercurio) (II), Cd (cadmio) (II), y Zn (zinc) (II) iones de metales, es decir, en cada tipo se determinaba su concentración máxima para la eliminación de cada metal y en ello se concluyó que cada tipo de arcilla puede trabajar tanto individual, como en acompañamiento de los otros tipos, además cabe resaltar que hay ciertos condicionales en cuanto a la erradicación del nivel de trazas de contaminantes, a través de un solo adsorbente y, no menos importante, se necesita más investigación en la dirección de aumento de la superficie activa, volumen de poro, tamaño de poro, entre otros.

Con respecto a la medición de la eliminación de fósforo en el agua, existe un estudio, el cual presenta un sondeo en cuanto a la efectividad de la nanoarcilla alófono por el tratado de agua lixiviada y proveniente de mataderos; a fin de ello se empleó el método de lotes mediante soluciones de 30ml con concentraciones de 2700 mg/L de fósforo, seguido a esto, se agregan a tubos de centrifugación que contienen 0,05 g de nanoarcilla alófono, luego se procede a agitar por 24 horas y a 20 °C, luego se aplican centrifugaciones de 5000 rpm (revoluciones por minuto) en 12 minutos. Para

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	<u>IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE DEL RÍO CUJA</u>	ELABORÓ: HAROL MORENO <u>CÓDIGO: 506045</u> JULIAN ROMERO <u>CÓDIGO: 506220</u>
		DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.</u> Director trabajo de Grado


poder comparar la eficacia de esta arcilla se utilizó otra nanoarcilla comercial (Phoslock), arrojando un cumplimiento ante la reducción empleada por las nanoarcillas respecto a la concentración de fosforo de ppm (partes por millón) a ppb (partes por billón). Sin embargo, se presentaron diferentes tipos de sorción en el alófono, observando con el paso del tiempo la pérdida de concentración de fósforo en un 70% (Yuan y Wu 2007).

Otro experimento que se efectuó fue la eliminación del arsénico (As) (III), (V) y el plomo (II) mediante la montmorillonita (MMT) esto debido a su gran atractivo investigativo. Ahora teniendo presente que el agua tiene una alta concentración de hierro y en suelos naturales, la arcilla recubierta por hidróxido de hierro (III) altera las propiedades superficiales del material arcilloso, Ramesh mostró una efectiva erradicación de As (V) con montmorillonita modificada con Fe (hierro) (III) pero no se probó con As (III). Por ello, estudios observaron que la influencia de nanoarcillas modificadas y no modificadas haciendo contacto con este elemento, presentan una eliminación importante del 55% de As (III) en una solución acuosa ante los primeros 30 segundos de la reacción, también se comprobó que la solución permanecía con un pH entre 4 a 9, por lo cual la nanoarcilla no perdía su característica de adsorción. (Almasri et al. 2018)

Observando desde otra perspectiva, Irawan, Nata y Lee (2019), evidenciaron que por medio de partículas magnéticas con montmorillonita se observó que la capacidad de adsorción de metales se duplicó, puesto que contiene óxido de hierro y grupos amino; realizando otras similitudes con distintos tipos de adsorbentes, se demostró que el nanocompuesto tiene una capacidad aproximadamente 5 veces más efectivo para Pb (II) y As (V).

También, las nanoarcillas pueden ayudar a remover compuestos de plata, esto se usa precisamente para reducir los iones de plata como agentes reductores orgánicos e inorgánicos expuestos en soluciones ya sean acuosas o no.

A pesar de los beneficios que poseen las nanopartículas de plata, Janacek et al (2018), presentan una incertidumbre con respecto al impacto ambiental y biológico, debido a que está presente en la mayoría de los artículos y objetos hechos por el hombre. Por ello se buscó una forma de eliminar este compuesto, que sea tal que su funcionalidad sea poder adsorberlas; el Halloysita es un material arcilloso con tamaño nanométrico y abundante en la naturaleza, lo cual, si se combina con materiales diamagnéticos, podría crear un campo magnético externo y sería útil para la remoción de las nanopartículas de plata, por estos motivos se eligió utilizar este material. Por esta razón, se requirió de la sintetización de los compuestos con el propósito de crear el ambiente, utilizando 150 ml de nanosuspensión con 500g de halloysita magnética para la eliminación de éste.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL</p>	<p><u>IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE DEL RÍO CUJA</u></p>	<p>ELABORÓ: HAROL MORENO <u>CÓDIGO: 506045</u> JULIAN ROMERO <u>CÓDIGO: 506220</u></p>
		<p>DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.</u> Director trabajo de Grado</p>

Entendiendo este procedimiento, se presentaron resultados en cuanto a la formación estructural de la arcilla, convirtiendo así en nanos y micropartículas de magnetita que se adhirieron a los tubos de la halloysita; por otro lado se evidenció una alta capacidad de adsorción máxima de $67,9 \text{ mg g}^{-1}$ hacia las nanopartículas de plata, lo cual esta remoción hace hincapié hacia la demostración de que el material es muy prometedor, ayudando así a descontaminación de nanopartículas de plata hacia cuerpos grandes de agua.



5. ESTADO DEL ARTE


La nanotecnología ha sido presentado en los últimos años como una nueva área de investigación de los materiales, donde desemboca una gran variedad de ramas de conocimiento ante las diferentes anomalías que acontecen a nivel atómico y molecular, esto le permite a los materiales conseguir o mejorar diversas propiedades a escala macroscópica (Mendoza y Lopez 2006), como es el caso de las nanoarcillas que son modificadas de manera que tengan características magnéticas y así poder ser empleadas en el tratamiento de agua con el propósito de eliminar concentraciones no deseadas para la ingesta humana, es por ello que mediante la base de datos de Science Direct se consultaron 6 artículos donde se evidencia el uso de los mismos en estudios previos orientados a similares tratamientos y modificaciones de las nanoarcillas.

En este orden de ideas, se tabulará dicha información de la siguiente forma:

Tabla 1, Referencia de artículos relacionados con Nanoarcillas aplicados al tratado del agua

Buscador	Título	Autores
Science Direct	Removal os silver nanoparticles with native and magnetically modified halloysite	Dominik Janacek, Libor Kvitek, Martina Krlikova, Kristyna Pospiskova & Ivo Safarik
	Removal od Pb(II) and As (V) using magnetic nanoparticles coated montmorillonite via onepot solvothormal reaction as adsorbent	Chairul Irawan, Iryanti Fatyasari Nata & Cheng-Kang Lee
	High performance hydroxyiron modified montmorillonite nanoclay adsorbent for arsenite removal	Dema A. Almasri, Tarik Rhadfi, Muataz A. Atieh, Gordon Mckay & said Ahzi
	Allophane nanoclay for the removal of phosphorus in water and wastewater	Guodong Yuan & Longhua Wu
	Clay based nanocomposites for removal of heavy metals from water: A review	Vijay Bahadur Yadav, Ranu Gadi & Sippy Kalra
	Clays for efficient disinfection of bacteria in water	Emmanuel I. Unuabonah, Chidinma G. Ugwuja, Martins O.Omorogie, Adewale Adewuyi & Nurudeen A. Oladoja

Fuente: Realizado por autoría

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	<u>IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE DEL RÍO CUJA</u>	ELABORÓ: HAROL MORENO <u>CÓDIGO: 506045</u> JULIAN ROMERO <u>CÓDIGO: 506220</u>
		DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.</u> Director trabajo de Grado

5.1 REMOVAL OF SILVER NANOPARTICLES WITH NATIVE AND MAGNETICALLY MODIFIED HALLOYSITE


Janacek et al (2018) proveniente de República Checa, presenta un artículo el cual consiste en contrarrestar el impacto que tienen los productos cuyas concentraciones incluyen nanopartículas de plata, el cual son nocivos para el medio ambiente a lo que induce a un mayor grado hacia cuerpos de agua con adsorbentes de bajo costo y que se encuentran en abundancia en todo el ecosistema, que tengan propiedades con sensibilidad magnética, en este caso se usó la Halloysita que a través de una síntesis mecanoquímica se incorporó el óxido de hierro de tal forma que modifique su propiedad magnética, potencializando así su capacidad de adsorción máxima correspondiente a los 67,9 mg/g, lo cual es apto para remover las nanopartículas de plata además que posee una facilidad de remoción de las mismas incorporando un campo magnético externo, este artículo recomienda aplicar este método hacia tratamientos de agua contaminada con nanopartículas de plata.

Este texto resalta la calidad del tratamiento ante la incorporación de las arcillas modificadas magnéticamente en el proceso de remoción de impurezas del agua, por lo cual es válido emplear este tipo de técnica en la planta de tratamiento de agua potable que deban considerar la eliminación de metales pesados.

5.2 REMOVAL OF PB(II) AND AS(V) USING MAGNETIC NANOPARTICLES COATED MONTMORILLONITE VIA ONE-POT SOLVOTHERMAL REACTION AS ADSORBENT

Esta investigación fue realizada en Indonesia, se centra en la eliminación de plomo Pb (II) y As (V) que se encuentra diluido sobre una sustancia acuosa por medio de nanocompuestos hechos con material arcilloso (montmorillonita) que están cubiertos por una capa funcionalizada magnéticamente a base de amina (MH) el cual es sintetizada mediante una reacción solvotérmica con el cloruro de hierro (III) y etilenglicol (Irawan, Nata y Lee 2019).

Del mismo modo, sobresale la importancia de incorporar el cloruro de hierro en la sintetización de las nanoarcillas, con el fin de adquirir la capacidad magnética para su fácil remoción ante una sustancia cuya concentración previa fue compuesta de arsénico y plomo. En el caso de este proyecto, se trabajará con un metal líquido (mercurio).

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	<u>IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE DEL RÍO CUJA</u>	ELABORÓ: HAROL MORENO <u>CÓDIGO: 506045</u> JULIAN ROMERO <u>CÓDIGO: 506220</u>
		DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.</u> Director trabajo de Grado

5.3 HIGH PERFORMANCE HYDROXYIRON MODIFIED MONTMORILLONITE NANOCLAY ADSORBENT FOR ARSENITE REMOVAL

Almasri et al (2018), preparó en Qatar una nanoarcilla de montmorillonita utilizando consigo hidróxido de hierro gracias a una síntesis química húmeda con el fin de tratar concentraciones de arsénico As (III), para la dosificación óptima se midieron parámetros de calidad en relación a su carga de hierro, tiempo de contacto, pH y concentración inicial de As (III), de los cuales se obtuvo su mayor efectividad con una pH de entre 6 y 7. El artículo recomienda utilizar este tipo de procesos con el objetivo de tratar aguas subterráneas, agua potable o aguas residuales contaminadas con arsénico.

El previo estudio proporciona indicadores claves como el pH durante la creación de las nanopartículas empleando la bentonita como recurso de modo que pueda adherir metales y otras impurezas.


5.4 ALLOPHANE NANOCLAY FOR THE REMOVAL OF PHOSPHORUS IN WATER AND WASTEWATER

En Nueva Zelanda, autores han evaluado la capacidad que posee la nanoarcilla de alofano ante la absorción del fósforo en efluentes de carnes y soluciones acuosas por medio ajustes teóricos de forma tal que puedan obtener los datos de adsorción, arrojando así una reducción significativa del fósforo. Esta técnica es efectiva para el tratamiento de aguas eutróficas, aguas residuales y otras fuentes ricas en fósforo, su ventaja es que es amigable con el medio ambiente, se encuentra de manera abundante en el ecosistema además que se posee una facilidad de extracción del agua ya que no se dispersa (Yuan y Wu 2007).

Por esta razón, el artículo genera una la importancia ante el presente proyecto, puesto que las nanoarcillas además de ser modificadas magnéticamente, estas poseen propiedades como la adsorción con el fin de reducir nutrientes dentro de un cuerpo de agua, lo cual es un indicador esencial para potabilizar.

5.5 CLAY BASED NANOCOMPOSITES FOR REMOVAL OF HEAVY METALS FROM WATER: A REVIEW

Este apartado fomenta el uso de materiales adsorbentes con el fin de eliminar contaminantes de diversos orígenes promulgados por el hombre, especialmente por vertimientos que segregan iones de metales pesados en el agua y aguas residuales,

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	<u>IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE</u> <u>ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA</u> <u>LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE</u> <u>DEL RÍO CUJA</u>	ELABORÓ: HAROL MORENO <u>CÓDIGO: 506045</u> JULIAN ROMERO <u>CÓDIGO: 506220</u>
		DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.</u> Director trabajo de Grado

para ello se recomiendan los minerales de la arcilla como la colinita y la montmorillonita, además de la arcilla como la bentonita, nanotubos de carbono y nanocompuestos.

Por otro lado, se debaten los detalles de la eficiencia de estos materiales ante la adsorción, pH, cambio de área de superficie específica, concentración inicial de iones metálicos y tiempo de contacto (Yadav, Gadi y Kalra 2019).


Entendiendo la geología colombiana, se puede utilizar con facilidad la bentonita como materia principal para poder modificar su composición, empleándolo así con el fin de retirar materiales pesados.

5.6 CLAYS FOR EFFICIENT DISINFECTION OF BACTERIA IN WATER

Contrario a las otras remociones que pueden contraer las nanoarcillas, Unuabonah et al (2018), menciona que este material puede actuar como desinfectante en el agua, combatiendo así patógenos que son nocivos para la salud humana.

Ahora, de manera detallada este artículo revisa diversos minerales de arcilla considerando factores operativos que promueven la efectividad de remoción durante procesos de eliminación de los patógenos además de técnicas para medir y observar los efectos que posee la arcilla en las bacterias. Este artículo promueve el uso de este material ante el tratamiento de agua potable y residual.

La importancia de esta investigación va encaminada hacia la efectiva eliminación de metales pesados y nutrientes, las nanoarcillas son eficaces para disminuir uno de los parámetros que son establecidos en la calidad del agua como lo son los coliformes totales

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	<u>IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE</u> <u>ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA</u> <u>LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE</u> <u>DEL RÍO CUJA</u>	ELABORÓ: HAROL MORENO <u>CÓDIGO: 506045</u> JULIAN ROMERO <u>CÓDIGO: 506220</u>
		DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.</u> Director trabajo de Grado

6. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA


El agua es un elemento indispensable en el medio ambiente para conservar la vida en la tierra, por eso es importante conocer la alta contaminación que se ha presentado en la mayoría de las fuentes de agua dulce en el planeta.

Por el día del agua, la ONU ha empezado requerir e implementar más regulaciones ante entidades institucionales, gubernamentales y a toda la sociedad, por eso esta organización opta por campañas con el objeto de tener una buena gestión de agua potable y agua residual, centrándose así en países en vía de desarrollo por las cuales algunas ciudades no tienen un sistema de potabilización óptimo enfocados hacia el consumo humano (Elcacho 2017).

Por ello existen PTAPs (plantas de tratamiento de agua potable) convencionales, especialmente en Colombia donde la mayoría de sus municipios no reportan tener agua potable, de los 376 municipios que reportan la calidad de agua, solo 31 de ellos tienen agua para su consumo, no obstante, el panorama hacia las ciudades cambia, puesto que establece solo el 52% de las 526 informantes muestran inconformidad por las malas condiciones de salubridad en el agua, lo que quiere decir que hay falencias en la recuperación del agua potable y no se han establecido suficientes procesos avanzados con el fin poder depurar contaminantes que son de difícil eliminación, ya que con solo tratamientos convencionales no son suficientes ante el consumo humano (UNICEF 2005).


Considerando lo anterior, Colombia es un país que se encuentra en vía de desarrollo, los sistemas municipales de tratamiento de agua, presentan inconvenientes en el mantenimiento, debido a que presenta una inadecuada dosis de cloración, contaminación de microorganismos, presentando así déficit en la economía en el transporte de traslado de agua y altos costos para la construcción de infraestructuras que solo sean destinados en la purificación de agua centralizada.(Narayan 2010)

Teniendo en cuenta que la cloración es uno de los tratamientos más conocidos en la etapa de desinfección, es de saber que el cloro es un excelente material con el propósito de eliminar sustancias biológicas y promover el factor económico; sin embargo, presenta problemas con respecto a la eficiencia en el sistema debido a que puede generar subproductos en el proceso, los cuales pueden comportarse como un carcinógeno cuando no se presenta un debido seguimiento en cuanto a la concentración óptima. Por ello, este proyecto quiere mirar una alternativa distinta, menos invasiva para la potabilización del agua, que sea más amigable con el medio ambiente y de igual manera económica, que ayude a disminuir la concentración de

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	<u>IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE</u> <u>ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA</u> <u>LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE</u> <u>DEL RÍO CUJA</u>	ELABORÓ: HAROL MORENO <u>CÓDIGO: 506045</u> JULIAN ROMERO <u>CÓDIGO: 506220</u>
		DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.</u> Director trabajo de Grado

cloro en tratamientos terciarios por lo que se indagaron recursos que tengan una mayor flexibilidad en su dosificación; por tanto la elección más factible es el empleo de las nanopartículas a base de arcillas, éstas son de origen geológico y se pueden encontrar en gran magnitud en la naturaleza.(Chen et al. 2016). Es por ello que, al aplicar este tipo de material, se puede lograr una mayor remoción de los contaminantes encontrados en cuerpos de agua destinados al consumo humano, además de no alterar el ecosistema debido a su naturaleza.

Además de esto, se quiere enfatizar dicha noción debido a que otros compuestos no son de fácil extracción, lo que implica mayores costos y técnicas, afectando la eficiencia en el proceso de potabilización.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	<u>IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE DEL RÍO CUJA</u>	ELABORÓ: HAROL MORENO <u>CÓDIGO: 506045</u> JULIAN ROMERO <u>CÓDIGO: 506220</u>
		DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.</u> Director trabajo de Grado

7. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN


En la actualidad, la baja calidad de agua ha sido un indicador de pobreza extrema debido a su difícil erradicación hacia los países más pobres del mundo. Según programas de monitoreo y abastecimiento de agua promulgados por la Organización Mundial de la Salud y UNICEF (2005), manifestaron un resultado, donde al menos 1800 millones de personas consumían agua contaminada por heces a escala global.

El agua no potable y la falta de saneamiento son uno de los principales factores causantes hacia la mortalidad infantil abordando cifras de 1,5 millones de muertes de niños al año en países en desarrollo. (Organización de Naciones Unidas 2019)

A pesar de que Colombia está catalogada como un país tercermundista, es considerada como una potencia hídrica, pero está siendo afectada por diversos factores, cada año los ríos son objeto de almacenamiento de 918670 toneladas de materia orgánica no biodegradable, también se presentan asentamientos humanos que afectan en el abastecimiento de los ríos.


Un caso particular es el río Cuja donde se encuentra afectado por diferentes contaminantes provenientes de vertimientos de poblaciones aledañas tales como el municipio de pasca, por la alta actividad agrícola y ganadera como objeto económico predominante, por tal motivo las plantas de tratamiento de agua potable están usando métodos convencionales terciarios de desinfección; pero, por otro lado se ha demostrado que generan subproductos cuando no se le hace un respectivo seguimiento hacia su dosificación, los cuales desencadenan patógenos en la población y un mayor impacto ambiental; es por ello que se quiere mirar alternativas de purificación que complementen las técnicas avanzadas de tratamiento tales como son la desinfección, eliminación de especies disueltas y coloides, compuestos orgánicos y/o conversión de especies disueltas, de manera tal que sean más asequibles, accesibles y ecosostenibles.

Las arcillas son un material fácil de encontrar en todo el mundo, se caracterizan por tener capacidades de cambios volumétricos cuando están en contacto con el agua, es decir son hidrofílicas, están dentro del grupo de los filosilicatos y son particularmente plásticas, todas estas capacidades que poseen las arcillas son de gran utilidad ante el tratamiento de contaminantes en el agua, ahora, para potencializar esas propiedades, también se puede modificar su composición, una de las técnicas más estudiadas son el uso de arcillas modificadas magnéticamente hacia el tratado del agua, esto debido a que conservan un origen geológico y son

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL</p>	<p><u>IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE DEL RÍO CUJA</u></p>	<p>ELABORÓ: HAROL MORENO <u>CÓDIGO: 506045</u> JULIAN ROMERO <u>CÓDIGO: 506220</u></p> <hr/> <p>DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.</u> Director trabajo de Grado</p>
---	---	---

de bajo costo, además que poseen propiedades fisicoquímicas únicas como la adsorción de agentes externos.

Otro factor con el que se quiere emplear esta noción es la facilidad de remoción de este material del agua cuando ejecute su función de potabilización; por ello se plantea la siguiente interrogante: ***¿Es posible alcanzar una calidad de agua potable alternando técnicas de tratamiento convencionales con la incorporación de nanoarcillas modificadas magnéticamente?***

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	<u>IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE DEL RÍO CUJA</u>	ELABORÓ: HAROL MORENO <u>CÓDIGO: 506045</u> JULIAN ROMERO <u>CÓDIGO: 506220</u>
		DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.</u> Director trabajo de Grado

8. MARCO DE REFERENCIA

8.1 MARCO TEÓRICO

Teniendo en cuenta que para el desarrollo de este proyecto se pretende potabilizar el agua, por ello es importante tener en cuenta dos conceptos fundamentales: coprecipitación y nanoarcillas modificadas magnéticamente.

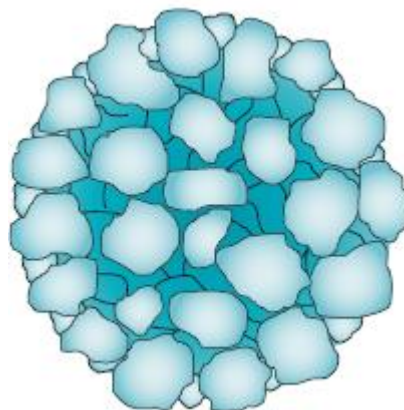
Según Kolthoff (1988), la coprecipitación, se presenta cuando se pueden separar precipitados de un compuesto (contaminación de precipitados), este proceso se manifiesta en cuatro tipos:

8.1.1 Primero: Adsorción superficial


La adsorción es la fuente común de coprecipitación y es la causa principal de la contaminación de precipitados que le permite cubrir grandes áreas en una superficie específica, a lo que confiere a los coloides coagulados.

La coagulación de un coloide no tiene un efecto directo en cuanto a la cantidad de la adsorción, ya que los sólidos formados contienen alta área de superficie interna que son expuestas al disolvente (fig. No. 1). El contaminante coprecipitado sobre un coloide consiste en la red del ion adsorbido originalmente sobre la superficie adicional al contraíón de carga opuesta inmovilizado en la película de disolución contigua a la partícula. (Holler, Crouch y Skoog 2015)

Fig. No 1, Coloide Coagulado



Fuente: (Holler, Crouch y Skoog 2015)

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	<u>IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE DEL RÍO CUJA</u>	ELABORÓ: HAROL MORENO <u>CÓDIGO: 506045</u> JULIAN ROMERO <u>CÓDIGO: 506220</u>
		DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.</u> Director trabajo de Grado

Con el propósito de aumentar la pureza de los coloides coagulados, es necesario hacer una minimización de impurezas adsorbidas sobre coloides, éste emplea la digestión, que reside en expulsar el agua del sólido, esto con el fin de generar una mayor densidad y por ende poseer una menor área específica ante una adsorción.


Cuando la disolución contiene electrolitos volátiles, esta es muy eficaz para realizar el lavado de un coloide coagulado, ya que este no suele remover en gran parte el ion removido al inicio debido a la fuerte atracción entre los mismos y la superficie de los sólidos, aunque se presenta un intercambio de iones y contraiones en el líquido de lavado. (Holler, Crouch y Skoog 2015)

Asimismo, existe el proceso de la reprecipitación, éste es método más riguroso y con igual efectividad al del proceso anterior que consiste en disolver los sólidos filtrados y volverlos a precipitar. De ahí que, la primera separación se filtra una pequeña fracción de contaminantes respecto al original, entendiendo esto al momento de redissolver el precipitado obtiene una menor concentración de contaminantes y a su vez una menor adsorción durante la segunda precipitación. La reprecipitación requiere de un gran lapso con la finalidad de culminar su estudio. Sin embargo, es necesario realizar este proceso hacia compuestos tales como óxidos hidratados de hierro (III) y aluminio, los cuales son efectivos para adsorber los hidróxidos de cationes de metales pesados tales como el zinc, cadmio y manganeso (Holler, Crouch y Skoog 2015).

8.1.2 Segundo: Formación de cristales mixtos

Consiste en el reemplazamiento de iones de una red cristalina de un sólido a otro elemento, para que esta interacción ocurra una de las condiciones del intercambio es que los dos iones deben tener la misma carga y que sus tamaños no difieran más del 5%, otra condición es que las sales deben pertenecer a la misma clase cristalina, un caso particular donde sucede dicha formación es la producción de sulfato de bario cuando se agrega cloruro de bario a una disolución que contenga iones de sulfato de plomo, estos iones reemplazan algunos de los iones de bario en el cristal del sulfato de bario. Así pues, para medir el grado de contaminación de los cristales mixtos, se debe observar la ley de acción de masas que identifica un aumento del grado entre la relación del contaminante y el analito.

La desventaja de este tipo de coprecipitación es orientada hacia la limitación de uso debido a que solo se pueden hacer combinaciones de iones que están presentes en la matriz, esto sucede tanto en suspensiones coloidales como precipitados

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	<u>IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE DEL RÍO CUJA</u>	ELABORÓ: HAROL MORENO <u>CÓDIGO: 506045</u> JULIAN ROMERO <u>CÓDIGO: 506220</u>
		DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.</u> Director trabajo de Grado

crystalinos. Cuando se sintetizan cristales mixtos, el ion que interfiere debe ser separado antes del paso final de la precipitación (Holler, Crouch y Skoog 2015)

8.1.3 Tercero y cuarto: Oclusión y trampa mecánica


Cuando un cristal crece con suficiente rapidez durante la creación del precipitado, los iones libres en la capa contraiónica pueden ser atrapados, u ocluidos entre el cristal en crecimiento. Por tanto, la oclusión es un tipo de coprecipitación que consiste en la captura de un compuesto entre una cavidad durante el rápido crecimiento cristalino debido a la sobresaturación de este influenciado así también por la disminución de la velocidad de crecimiento conforme progresa la precipitación, la cantidad de material ocluido es mayor en la porción del cristal que se forma primero.

Por otro lado, la trampa mecánica ocurre cuando los cristales presentan una corta distancia entre si durante el crecimiento, atrapando en una pequeña cavidad un fragmento de la disolución.

Por lo anterior, se deduce que, para que se presente oclusión y trampa mecánica se debe presentar una variación de aumento en cuanto a la velocidad de precipitación, de lo contrario, si se presenta una velocidad baja, es decir, bajo condiciones de sobresaturación baja, el proceso de digestión disminuye el efecto de estos tipos de coprecipitación. (Holler, Crouch y Skoog 2015)

Por esta razón, la coprecipitación es un tipo de contaminación de una sustancia soluble que lleva consigo solutos disueltos sobre un líquido. Se le dice contaminación debido a que en algunos casos el soluto soluble precipitado es considerado como indeseado, pero para otros casos esto es de manera intencional por medio analíticos o sintético alternativo (Bolívar 2018). Se dice que la coprecipitación es un procedimiento en la que se realiza la separación de una especie soluble de una disolución, produciendo así un precipitado, esta puede portar al soluto soluble en su interior, esta mención hace referencia a la absorción o en su defecto adsorción cuando el soporte insoluble captura al soluto soluble sobre la superficie (Alicante 2015).

Para el logro de este proceso, se desarrolla con precursores metálicos, los cuales se presentan de manera inorgánica, tales como cloruros, nitratos o sulfatos. De acuerdo con Kim et al (2006), debe haber una correcta elección de las cantidades molares con el fin de obtener el compuesto deseado, y la capa surfactante, que en este caso puede ser una molécula polar que permita la estabilización acuosa de las partículas por repulsión electrostática.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	<u>IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE</u> <u>ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA</u> <u>LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE</u> <u>DEL RÍO CUJA</u>	ELABORÓ: HAROL MORENO <u>CÓDIGO: 506045</u> JULIAN ROMERO <u>CÓDIGO: 506220</u>
		DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.</u> Director trabajo de Grado


Por consiguiente, Massart (1981) define que, este método consiste en la adición de una disolución de sal de Fe^{2+} y otra de Fe^{3+} , ya sea en forma de cloruros, sulfatos, nitratos y percloratos disueltos en agua. Los hidróxidos de los metales formados se precipitan con la adición de una solución básica como hidróxido de sodio e hidróxido de amonio. Posteriormente los hidróxidos del metal son lavados con el fin de eliminar las sales de cloruros o nitratos solubles del medio. Una gran desventaja que tiene este método es lo dispendioso de controlar el tamaño de la partícula y la distribución de tamaños que obtendrán (Coral y Jenny A Mera 2017).

De acuerdo con lo anterior, Lee et al (2007) propone que, para obtener una distribución de tamaño más controlada entre 5 y 15 nm, se deben realizar diferentes estudios hacia ajustes de parámetros como el pH de la reacción, velocidad de agitación, velocidad de adición de las sales de hierro, temperatura y fuerza iónica. La principal ventaja de este procedimiento es que las muestras obtenidas son directamente hidrofílicas y, por lo tanto, estables en medios acuosos, además de simplicidad y bajo costo.

Por otro lado, estos tipos de procedimientos presentan distintos errores porque albergan diferentes técnicas, en este sentido, cuando se realizan estos tipos de procesos, las impurezas precipitadas pueden causar errores positivos o negativos en un estudio, si el contaminante no es un compuesto del ion determinado, siempre resultará en un error positivo. Un caso particular es al observar el error positivo del cloruro de plata coloidal cuando adsorba nitrato de plata durante un análisis de cloruros. Sin embargo, cuando los contaminantes contienen al ion determinado, puede ocasionar un error tanto positivo como negativo, como es el caso de la determinación de bario en la precipitación en forma de sulfato de bario ocurre la oclusión de otras sales de bario. Si lo captado es el nitrato de bario, se genera un error positivo ya que su masa molar es mayor que el sulfato de bario, de lo contrario si el cloruro de bario es el contaminante, el error es negativo ya que su masa molar es menor a la sal del sulfato (Holler, Crouch y Skoog 2015).

Desde esta perspectiva, para completar el proceso de coprecipitación, se necesita la nanotecnología, cuya base fundamental es definir las ciencias y técnicas necesarias para aplicar ante niveles de nanoescala, que permite trabajar y manipular las estructuras moleculares y sus átomos, produciendo así una fabricación de materiales y maquinas partiendo del reordenamiento de átomos y moléculas. Este campo de la ciencia es desarrollado a partir de las ideas expuestas por Feynman (1959), quien propuso lo anteriormente expuesto.

Por tanto, los nanomateriales poseen propiedades morfológicas más pequeñas que un micrómetro por lo menos en una dimensión. Aunque no hay un consenso sobre

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	<u>IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE DEL RÍO CUJA</u>	ELABORÓ: HAROL MORENO <u>CÓDIGO: 506045</u> JULIAN ROMERO <u>CÓDIGO: 506220</u>
		DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.</u> Director trabajo de Grado

el tamaño mínimo o máximo, se sabe que está presente dentro de un rango de 1 a 100 nm, situándola así, entre la microescala y la escala atómica nuclear.

Por esta razón, se empleó un material que tenga una composición granulométrica similar a este tipo de tamaño, como es el caso de la arcilla, que posee granos cuya partícula es inferior a 1/256 mm (4 μ m), ya que en la actualidad se presentan nuevas técnicas de análisis (DRX, SEM-EDS, WDS, FTIR, entre otros) que permiten caracterizar su composición estructural de una manera más detallada sobre partículas diminutas, como cristales de arcillas (Díaz del Castillo 2012).

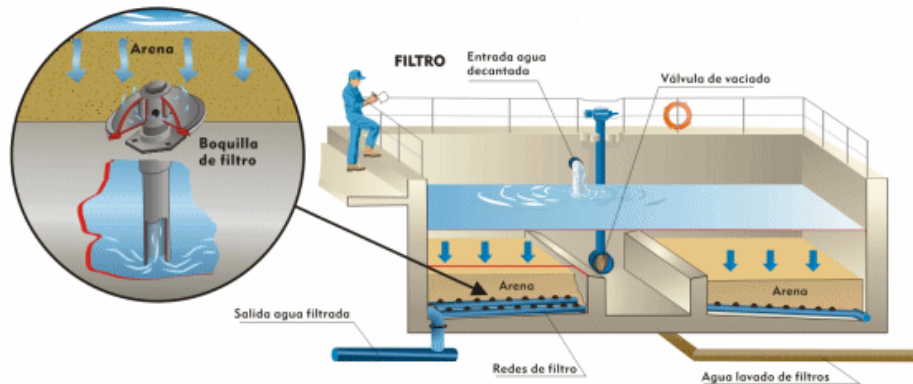
Por consiguiente, a partir de la coprecipitación y la nanotecnología es importante tener el proceso convencional de potabilización del agua, para la obtención de esta con calidad y apta para consumo humano.

8.1.4 Técnicas convencionales de potabilización (pretratamiento, primario, secundario y terciario).

El tratamiento de las aguas se realiza mediante una serie de procesos encadenados que dependen de las características del agua, el primer paso para la potabilización del agua es determinar la calidad con la que llega, ya que facilita determinar el diseño de tratamiento necesario debido a que es posible, que en el agua se encuentren distintos contaminantes, ya sean metales pesados, materia orgánica disuelta o particulada, color, sabor y olor desagradables, bacterias, virus, parásitos y otros microorganismos en grandes cantidades.

Con respecto a este caso, el agua se obtiene de fuentes superficiales, por tanto es necesaria la filtración convencional que puede ser efectuada como primer paso en el tratamiento o hasta después de una serie de procesos, ya que puede ser un proceso precedido de C.F.S (Coagulación, Floculación y Sedimentación), y dependiendo a lo que se quiera tratar existen diferentes sistemas de filtración, como son: filtros lentos de arena, filtros de tierras diatomáceas, filtros directos, filtros empacados, filtros de membrana y filtros de cartuchos, como se muestra en la figura No. 2 (Katrivesis et al. 2019).

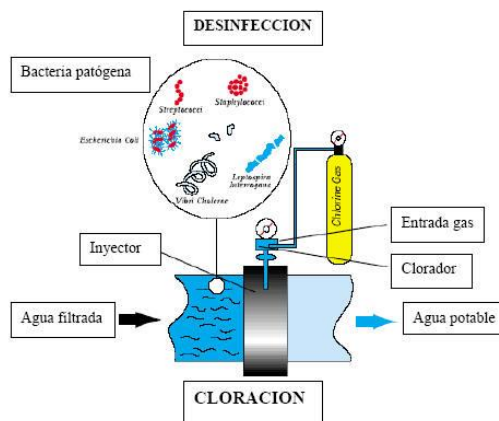
Fig. No 2, Filtración rápida



Fuente: («Filtración» 2014)

A partir de lo anterior, el proceso posterior, es la desinfección que elimina o inactiva organismos que provocan diferentes enfermedades, donde se evidencia su efectividad por la capacidad de controlar a los organismos indicadores que son las bacterias coliformes totales y fecales, estos son inocuos al ser humano, pero su presencia indica que organismos patógenos pueden estar presentes o haber sobrevivido la desinfección. Es por esto que el uso de sustancias que son posibles para la desinfección, como lo puede ser cloro, cloramina y ozono y también se usan procesos alternos como la irradiación con luz ultravioleta de baja longitud de onda, se puede evidenciar en la figura No. 3 (Bailey et al. 2018).

Fig. No 3, Desinfección

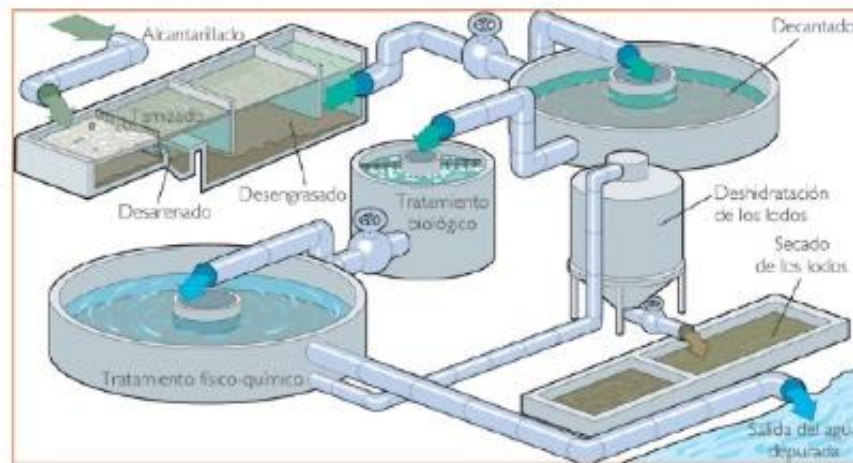


Fuente: («Cloración» 2017)



Finalmente, se evidencia un proceso biológico con filtros de membrana, que se constituye de materiales finos capaces de separar las sustancias cuando se someten a presión aplicada a través de la membrana, la cual tiene poros de diferentes tamaños, que puede estar entre 0,2 y 1,0 micrómetros. “La exigencia mundial de disponer de agua de mayor calidad ha favorecido el desarrollo de la tecnología de membranas, dado que estos procesos tienen una capacidad excelente de separación de sustancias disueltas y se han desarrollado productos que corresponden a ultra-, nano- y micro- filtración” (Teresa Leal Ascencio 2005), este proceso se evidencia en la figura No.4.

Fig. No 4, Proceso de potabilización




Fuente: (Donoso 2011)

8.2 MARCO LEGAL

8.2.1 Normas que en Colombia rigen la calidad del agua potable

Las principales normas que rigen el tema respecto a la calidad del agua en Colombia que establecen un sistema para la debida protección y el control de la calidad del agua para consumo humano (EPM 2010):

- Decreto 1575 de 2007: Protección y control de la calidad del agua.
- Resolución 2115 de 2007: Características, instrumentos, básicos y frecuencias del control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	<u>IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE DEL RÍO CUJA</u>	ELABORÓ: HAROL MORENO <u>CÓDIGO: 506045</u> JULIAN ROMERO <u>CÓDIGO: 506220</u>
		DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.</u> Director trabajo de Grado

- Resolución 0811 de 2008: Lugares y puntos de muestreo para el control y la vigilancia de la calidad del agua para consumo humano en la red de distribución.
- Resolución 082 de 2009: Formularios para la práctica de visitas de inspección sanitaria a los sistemas de suministro de agua para consumo humano.
- Resolución de 082 de 2009: Lineamientos para la formulación de mapas de riesgos de las cuencas.
- Artículo 38. Criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para consumo humano y doméstico (para su potabilización se requiere tratamiento convencional).
- Artículo 39. Criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para consumo humano y doméstico (para su potabilización se requiere de desinfección).
- Artículo 40. Criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para consumo uso agrícola.
- Artículo 41. Criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para consumo uso pecuario.
- Artículo 45. Criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para preservación de flora y fauna.

A continuación, se encuentra la tabla 2, la cual compara tres estándares de calidad de agua para consumo humano, tanto a nivel mundial como a nivel nacional, para diferentes contaminantes que se puedan encontrar en el agua.



Tabla 2, Comparativa de normas

Estandares de calidad para agua potable			
Contaminantes	Resolución 2115 (2007)	EPA (EEUU)	OMS
Coliformes totales	0 UFC/100 cm3	<5% muestras positivas	0
Escherichia coli	0	--	--
Coliformes biológicos	0 UFC/100 cm3	--	0
Turbiedad	2	0,5-1,0 NTU	1,0 NTU
pH	6,5-9	6,5-8,5	6,5-8,5
Conductividad	--	--	--
Alcalinidad Total	200	--	--
Hierro Total	0,3	0,3	0,3
Color	15 unidades	15 unidades	15 unidades
Sulfato	250	250	400
Antimonio	--	6	--
Arsenico	--	50	50
Asbesto	--	7x10	--
Bario	--	2000	--
Berilio	--	4	--
Cadmio	--	5	5
Cromo	--	100	5
Fluor	--	4000	1500
Mercurio	0,001	0,002	0,001
Niquel	--	100	--
Nitrato +Nitrito	0,1-10	10	10
Selenio	--	50	10
Talio	--	2	--
Endrin	--	2	--
Lindano	--	0,2	3
Metoxiclor	--	40	30
Txafeno	--	3	--
Trihalometano	--	100	--
Aluminio	0,2	0,5-0,20	0,2
Cloruro	250	250	250
Fosfatos	0,5	--	--
Fosforo Total	--	--	--
Solidos Totales	--	--	--
Solidos Suspendidos Totales	--	--	--
SDT	--	500	300
NTK	--	--	--

Fuente: Realizado por Autores

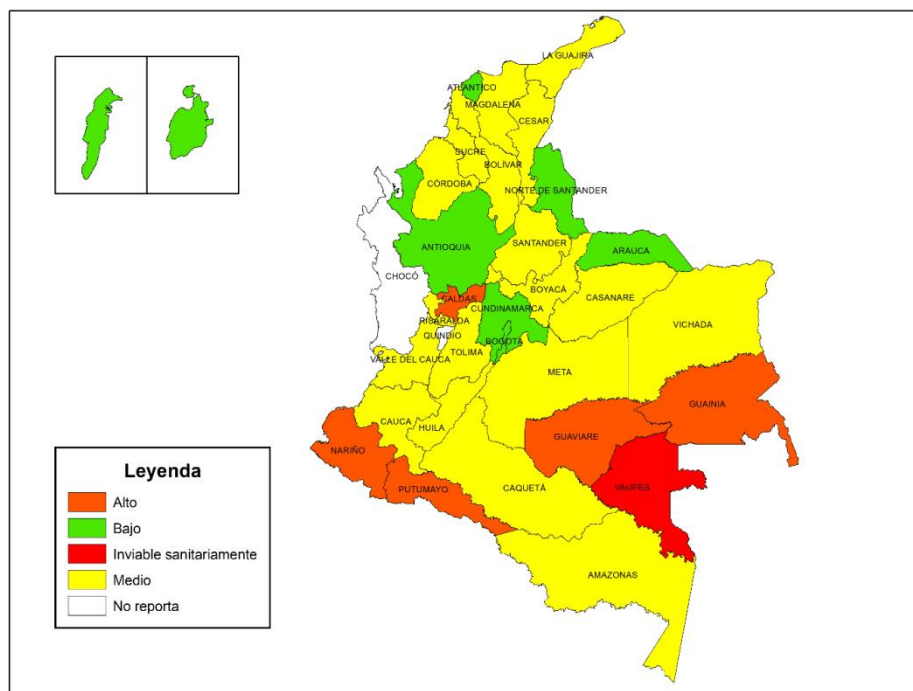


8.3 MARCO CONCEPTUAL

8.3.1 Calidad del Agua- Parámetros.


El agua potable, es la que cumple con diferentes condiciones y características con el fin de poder ser distribuida ante el consumo de la población, sin tener consecuencias adversas en la salud, donde principalmente es utilizada para beber, preparar comidas o en la higiene personal, esta se ve regulada en el decreto 1575 de 2007, el cual describe que, “se deben cumplir las características físicas, químicas y microbiológicas, reglamentadas en las normas de calidad de agua en Colombia, para que sea apta en el consumo humano”. En Colombia, de acuerdo a (EPM 2010), el tratamiento de potabilización que se le da al agua varía dependiendo la zona como se muestra en la figura No. 5.

Fig. No 5, Calidad de agua en Colombia



Fuente: Instituto Nacional de Salud (2012)

De la figura anterior se puede ver que gran parte del país se encuentra en un estado de calidad del agua en riesgo medio cubriendo así una mayor parte en la región de la Orinoquia, la amazónica y el pacífico; en estas zonas se encuentran dos índices de riesgo inviable sanitariamente, lo cual cubija a Vaupés y el Chocó, este último, a pesar de no reportar información respecto a la calidad del agua, se sabe que posee deficiencias igualmente sanitarias. Igualmente, los únicos departamentos que

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	<u>IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE</u> <u>ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA</u> <u>LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE</u> <u>DEL RÍO CUJA</u>	ELABORÓ: HAROL MORENO <u>CÓDIGO: 506045</u> JULIAN ROMERO <u>CÓDIGO: 506220</u>
		DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.</u> Director trabajo de Grado


poseen un riesgo bajo son Antioquia, norte de Santander, Arauca, Atlántico, San Andrés, Providencia y Cundinamarca. Asimismo, se presenta un análisis estadístico respecto a la situación de calidad del agua, el cual expresa lo siguiente: “del total de la población colombiana, estimada en algo más de 46 millones de habitantes, se considera que 36.45% está sin riesgo, 29.87% con riesgo bajo, 17.27% con riesgo medio, 12.54% en riesgo alto y 0.68% en riesgo muy alto de problemas relacionados con la contaminación del agua usada para consumo humano.”(Manuel Santos Calderón, Gabriel Uribe y Soto Carreño Supervisora de consultoría Marcela Bonilla Madriñán 2012).

En segunda instancia, las características físicas se pueden encontrar cuatro parámetros fundamentales con el fin de cumplir con la norma anteriormente nombrada, los cuales son color aparente, olor, sabor y turbiedad.

El ingeniero Orellana (2005), menciona que el color aparente del agua en parte se debe a la presencia de materia orgánica, distintos minerales como hierro y magnesio; los sabores y olores se dan gracias a la presencia de materia orgánica en descomposición, su tratamiento inicial y la red de distribución; la turbiedad se da debido a que partículas suspendidas obstruyan el paso de la luz dando un mal aspecto estético. Estos aspectos están íntimamente relacionados, y por consecuente el trato erróneo generaría un rechazo del consumidor debido a que se observaría un alto índice de contaminación en el agua.

Respecto a las características químicas, pueden ser tanto naturales como industriales y pueden ser benéficos o dañinos de acuerdo con su composición, entre estos se encuentran el pH, la demanda química de oxígeno (DQO), la demanda biológica de oxígeno (DBO), Alcalinidad, Dureza, Cloro, Fosforo, Nitrato, entre otros (Orellana 2005).

En consideración a las características biológicas, el agua puede contener tanto microorganismo, los cuales se dan de forma natural, es decir componen su hábitat, provenir de vertimientos industriales, o llegar al lugar por arrastre de la lluvia y animales como peces; se debe tener en cuenta que, a partir de esto, se puede determinar la contaminación en la que se encuentre el fluido y aun así, deberá pasar por un proceso de tratamiento para consumo humano, dentro de las características biológicas se pueden encontrar bacterias aeróbicas, coliformes fecales, fitoplancton y zooplancton, entre otras (Sanganyado y Gwenzi 2019).

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	<u>IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE</u> <u>ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA</u> <u>LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE</u> <u>DEL RÍO CUJA</u>	ELABORÓ: HAROL MORENO <u>CÓDIGO: 506045</u> JULIAN ROMERO <u>CÓDIGO: 506220</u>
		DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.</u> Director trabajo de Grado

8.3.2 Índice de calidad de agua

Para determinar el uso del agua, existe una serie de indicadores que demuestran las condiciones con el fin de ser empleado hacia un campo de uso. Es por esto que se para clasificación se tendrá en cuenta la siguiente formula:

$$ICA \text{ promedio}_{njt} = \frac{\sum_{k=1}^m (\sum_{i=1}^n W_i * I_{ikjt})}{m}$$

Donde I_{ikjt} va de 0 a 100 y representa la calidad del parámetro i y W_i representa el peso en importancia que se le da a cada parámetro i . y m es el número de muestreos en los cuales se midieron las variables de calidad involucradas en el cálculo del indicador. La determinación de los valores I_{ikjt} y la distribución de los pesos fueron especificadas dependiendo la fuente de agua real seleccionada (Indicador 2012).

8.3.2.1 Cálculo Oxígeno Disuelto

Esta variable es fundamental debido a que es la que define la presencia o ausencia potencial de especies acuáticas.

Inicialmente se calcula el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto PS_{OD} :

$$PS_{OD} = \frac{Ox * 100}{Cp}$$


Donde:

Ox : Es el oxígeno disuelto medido en campo (mg/l) asociado a la elevación, caudal y capacidad de reoxigenación.

Cp : Es la concentración de equilibrio de oxígeno (mg/l), a la presión no estándar, es decir, oxígeno de saturación.

8.3.2.2 Cálculo Solidos suspendidos Totales (SST)

De acuerdo con el índice de calidad del agua en corrientes superficiales que propone el IDEAM, la presencia de sólidos en suspensión en los cuerpos de agua indica cambio en el estado de las condiciones hidrológicas de la corriente, esto puede ocurrir por diferentes factores naturales, como la erosión, vertimientos, entre otros y tiene una relación directa con la turbiedad.(Indicador 2012).

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	<u>IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE DEL RÍO CUJA</u>	ELABORÓ: HAROL MORENO <u>CÓDIGO: 506045</u> JULIAN ROMERO <u>CÓDIGO: 506220</u>
		DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.</u> Director trabajo de Grado

Para la obtención de los sólidos suspendidos totales, se obtuvo por medio de la siguiente ecuación:

$$SST = ST - STD$$

Donde:

ST: Sólidos Totales (mg/l)

STD: Sólidos Totales Disueltos (mg/l)

8.3.2.3 Cálculo Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Refleja la presencia de sustancias químicas susceptibles de ser oxidadas a condiciones fuertemente ácidas y alta temperatura, como la materia orgánica, ya sea biodegradable o no, y la materia inorgánica.

Mediante adaptación de la propuesta de la Universitat Politècnica de Catalunya se calcula con la fórmula:

Si $DQO < 20$, entonces $I_{DQO} = 0,91$

Si $20 < DQO < 25$, entonces $I_{DQO} = 0,71$

Si $25 < DQO < 40$, entonces $I_{DQO} = 0,51$

Si $40 < DQO < 80$, entonces $I_{DQO} = 0,26$

Si $DQO > 80$, entonces $I_{DQO} = 0,125$

8.3.2.4 Cálculo de Conductividad eléctrica (C.E.)

Está relacionada con la suma de cationes y aniones determinada en forma química, por ende, refleja la mineralización.

Se determina con la siguiente ecuación:

$$I_{C.E.} = 1 - 10^{(-3,26+1,34 \cdot \text{Log}_{10} C.E.)}$$

8.3.2.5 Cálculo pH:


Mide la acidez, es decir, los valores extremos que pueden afectar la flora y fauna que se encuentran en los cuerpos de agua.

Para hallar el indicador de pH se tiene que tener en cuenta las siguientes condiciones:

Si $pH < 4$, entonces $I_{pH} = 0,1$

Si $4 \leq pH \leq 7$, entonces $I_{pH} = 0,02628419 \cdot e^{pH \cdot 0,520025}$

Si $7 \leq pH \leq 8$, entonces $I_{pH} = 1$

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE DEL RÍO CUJA	ELABORÓ: HAROL MORENO <u>CÓDIGO: 506045</u> JULIAN ROMERO <u>CÓDIGO: 506220</u>
		DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.</u> Director trabajo de Grado

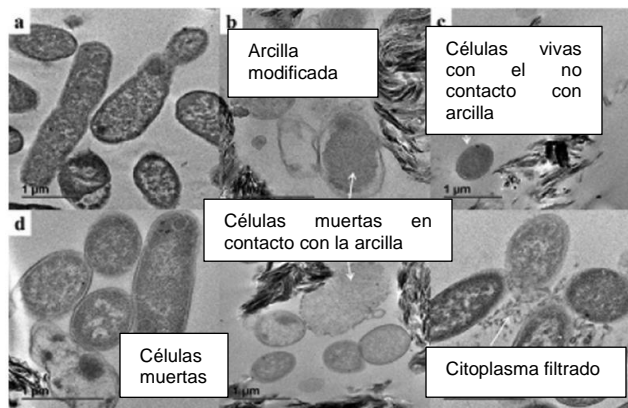
Si $8 \leq pH \leq 11$, entonces $I_{pH} = 1 * e^{[(pH-8)*-5187742]}$
Si $pH > 11$, entonces $I_{pH} = 0,1$

8.3.3 Técnicas avanzadas de tratamiento – nanoarcilla


Las nanopartículas con arcilla tienen diferentes propiedades físico-químicas, las cuales dan una ventaja respecto a otros métodos, muestra propiedades excepcionales debido a su pequeña dimensión ya que puede ser inferior a 2 nm, tienen una alta especificidad y área de superficies, estas características hacen avanzar la eficiencia de remoción de los materiales nanoestructurados, estos materiales muestran características distintivas, como potencial catalítico y alta reactividad, lo que conlleva a que haya adsorción superior a los materiales comunes. (Hristovski, Baumgardner y Westerhoff 2007), sus filosilicatos dada por su morfología laminar y las sustituciones isomórficas, capacidad de Intercambio catiónico y plasticidad (Romero 2013).

Para el respectivo tratamiento se pueden usar diferentes tipos de arcillas, como lo pueden ser la caolinita, montmorillonita y bentonita, donde cada una presenta diferentes resultados para cada tipo de contaminante que se le manifieste. la principal ventaja de estos nanocompuestos de arcilla son la minimización en el coste total de la materia prima; tener una alta resistencia térmica para facilitar la regeneración por tratamiento térmico; hidrofóbico características de la superficie; controlada conformación macroscópica y alta resistencia mecánica que facilita la manipulación y el transporte (Yadav, Gadi y Kalra 2019); en la siguiente figura se demuestra la interacción hacia la remoción de la enfermedad *E. coli* con la aplicación de los nanomateriales con arcilla.

Fig. No 6, Micrografías TEM que muestra el mecanismo de inactivación de arcilla modificada contra el *E.Coli*



Fuente: modificado del artículo *Clays for Efficient Disinfection of Bacteria in Water* (2018)

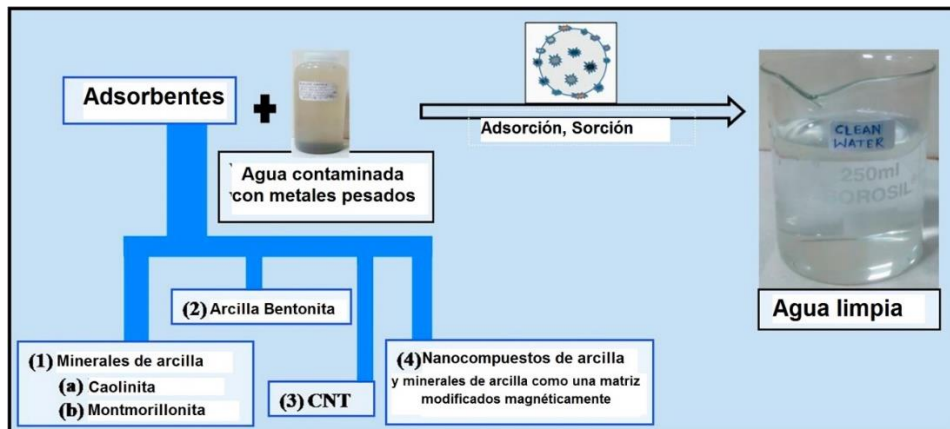
 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE <u>ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA</u> <u>LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE</u> <u>DEL RÍO CUJA</u>	ELABORÓ: HAROL MORENO <u>CÓDIGO: 506045</u> JULIAN ROMERO <u>CÓDIGO: 506220</u>
		DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.</u> Director trabajo de Grado

8.3.3.1 Nanopartículas magnéticas.

Gracias a su relativamente amplia área de superficie, las nanopartículas magnéticas tienen la capacidad de absorber los iones metálicos de forma que pueden ser removidos muy rápidamente de una matriz usando un campo magnético y tienen como ventaja que se pueden reusar sin perder los sitios activos y además no produce contaminantes, cosa que hacen técnicas convencionales como el cloro. (Karla et al. 2012)

Las nanopartículas magnéticas, gracias a su composición se pueden combinar con minerales, como lo puede ser la arcilla, esta unión genera un nanocompuesto avanzado que tendría un magnetismo excepcional, estabilidad, adsorción, catálisis, y biocompatibilidad. (Chen et al. 2016)

Fig. No 7, Tratamiento de nanoarcillas magnéticas en agua contaminada



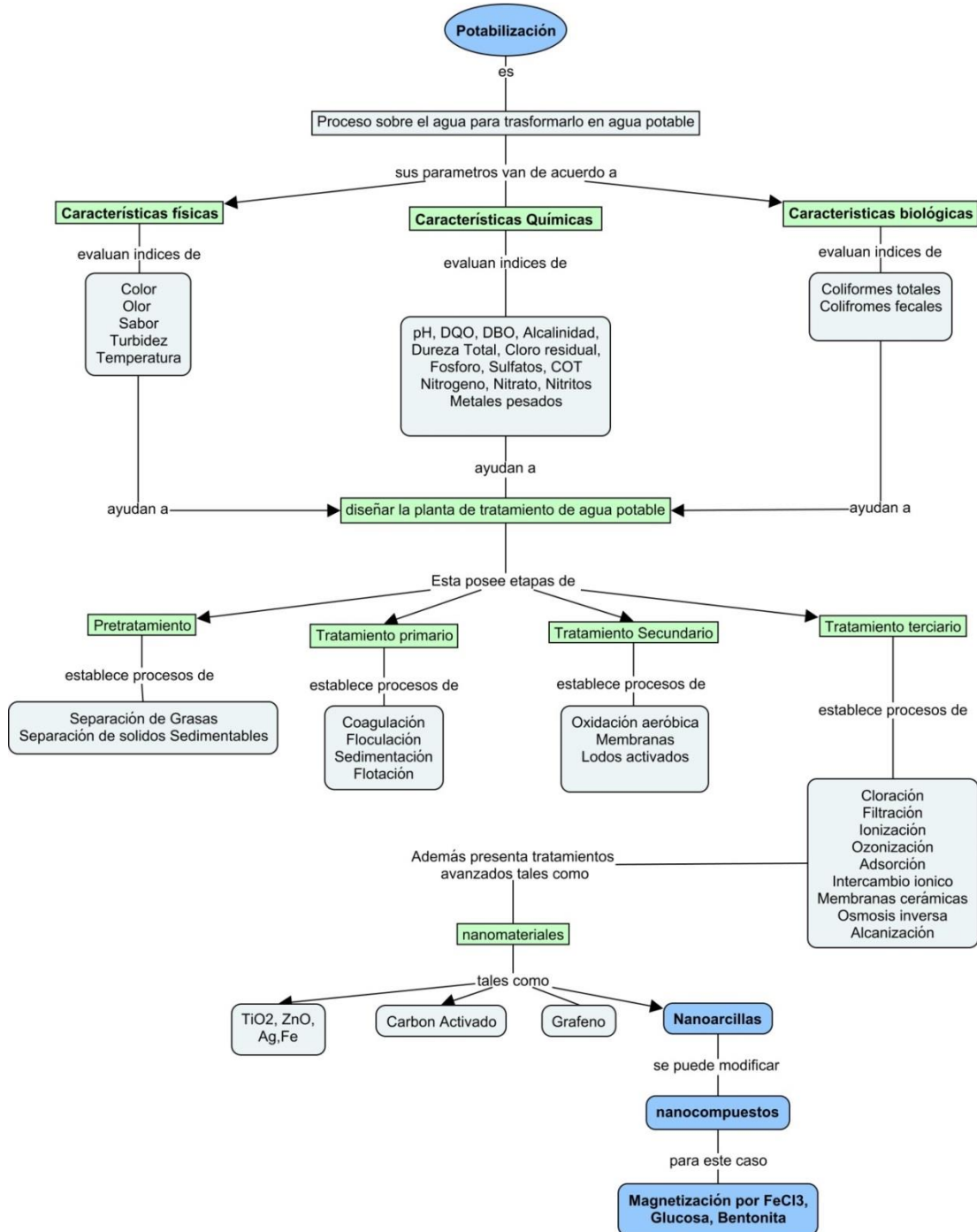
Fuente: Modificado del artículo *clay-based nanocomposites for removal of heavy metals from water: a review* (2019)

Para que haya una buena combinación de materiales diamagnéticos con magnético de hierro óxido de nano- o micropartículas debe haber una formación de materiales compuestos magnéticamente los cuales tienen que ser sensibles y que exhiban respuesta al campo magnético al que se exponga, logrando una separación de forma sencilla y selectiva, aun así, teniendo sistemas complejos, esto se logra usando un imán permanente, un separador magnético o un electroimán.


Por otro lado, para expresar de manera gráfica la composición de una planta potabilizadora, se realizó un mapa conceptual (Figura 8) con las palabras clave respecto a sus características; desglosando sus etapas, procesos y a su vez, resaltando el campo que le corresponda a los nanomateriales en todo el sistema:



Fig. No 8, mapa Conceptual



Fuente: Realizado por Autores

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	<u>IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE DEL RÍO CUJA</u>	ELABORÓ: HAROL MORENO <u>CÓDIGO: 506045</u> JULIAN ROMERO <u>CÓDIGO: 506220</u>
		DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.</u> Director trabajo de Grado


9. OBJETIVOS

9.1 OBJETIVO GENERAL

Implementar nanopartículas de arcilla modificadas magnéticamente para la potabilización de agua proveniente del río Cuja.

9.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

1. Determinar las características fisicoquímicas y biológicas actuales de la calidad del agua del río Cuja.
2. Sintetizar y caracterizar nanoarcillas modificadas magnéticamente.
3. Implementar los ensayos a escala laboratorio para la potabilización de las muestras de agua utilizadas.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	<u>IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE DEL RÍO CUJA</u>	ELABORÓ: HAROL MORENO <u>CÓDIGO: 506045</u> JULIAN ROMERO <u>CÓDIGO: 506220</u>
		DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.</u> Director trabajo de Grado

10. ALCANCES Y LIMITACIONES

En cuanto a los alcances, el proyecto comprobó la eficiencia respecto al mejoramiento de los estándares de calidad de agua, incorporando nanopartículas de arcilla modificadas magnéticamente para el tratamiento de agua potable como proceso terciario, relacionando su resultado ante los parámetros de calidad ya establecidos por la planta de purificación que trata actualmente el río Cuja que abastece la demanda ante su consumo en el municipio de Fusagasugá y aledaños.

Las limitaciones que se presentaron durante el proceso investigativo fueron las inclemencias meteorológicas que dificultaron la toma de muestras de agua procedentes del río Cuja debido al aumento del caudal, por lo cual influenció en las características del cauce ente los diferentes tramos estudiados.

El tiempo entre la toma de las distintas muestras también fue un impedimento para caracterizar los parámetros del río Cuja, a su vez la corriente del agua influenció en el aumento de concentraciones, provocando una erosión y a su vez un desplazamiento de sedimentos alterando su composición.

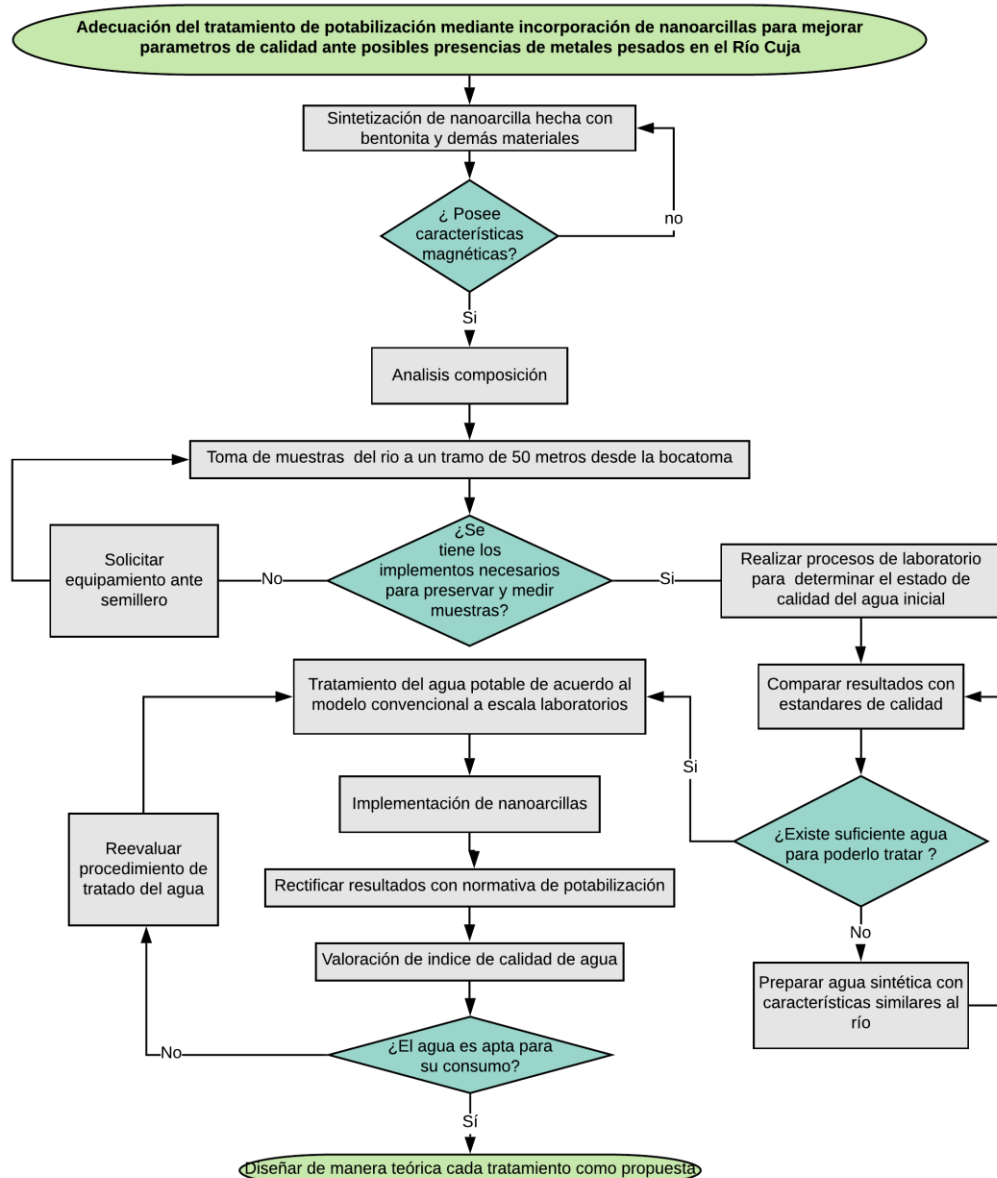
Respecto a la delimitación del proyecto, solo se realizó para un tramo menor a 50 metros del río Cuja, el cual va desde la bocatoma, que fue el punto donde se hizo la toma de muestras, ubicada en las coordenadas 4.309263, -74.341306 , de modo que no se tuvieron en cuenta diferentes factores que pudieran afectar el agua, en zonas aguas arriba del punto de estudio, y por último, cabe resaltar que solo se recolectó agua superficial del cauce de manera que se pueda prevenir el aumento de sólidos en la muestra a tratar.



11. METODOLOGÍA

A continuación, se plasmará el procedimiento empleado durante todo el trabajo de grado mediante un diagrama de flujo, mencionando cada actividad realizada durante todo el periodo investigativo de este proyecto con el fin de poder ser culminado, a su vez se especificará de manera precisa cada labor.

Fig. No 9, Diagrama de flujo de metodología



Fuente: Realizado por Autores



Como primera instancia, se realizaron las nanoarcillas mediante la ejecución de varias prácticas de laboratorio junto con el grupo de semillero, utilizando consigo la teoría de la coprecipitación como modelo empleado en investigaciones publicadas previamente por coprecipitación (véase literal 8.1.1) por metodología verde (Marimón-Bolívar y González 2018). De acuerdo a ello, los materiales que se manejaron para la sintetización fueron: 5 g (gramos) de Bentonita comercial (arcilla), 3,6 g de cloruro férrico (FeCl_3), 1.3 g de Cloruro Ferroso (FeCl_2), 3,5 g de Glucosa y un inicial de 2 g Hidróxido de Sodio (NaOH). Todos estos recursos fueron sometidos a temperaturas por encima de los 70°C (Celsius), tiempos de consolidación (15 y 30 minutos) y una agitación constante con el objetivo de lograr modificar de manera magnética la composición de la arcilla. Luego de obtener la composición deseada, se realizó un proceso de separación y de secado para eliminar residuos generados por la sintetización.

Seguido a ello, se llevaron las nanoarcillas a estudios de ensayo para evaluar sus características composición magnética mediante un magnetómetro de muestra vibratoria (VSM Lakeshore, Modelo 665) bajo temperaturas de 300K y con mediciones de magnetización en función del campo aplicado en un rango entre -30 kOe a 30 kOe. (Kilo Oersted). Los grupos funcionales expuestos en la superficie del material y que fueron responsables de la remoción de contaminantes, se determinó mediante espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier en un equipo SHIMADZU IR Prestige21 FTIR Spectrometer, donde la muestra se diluyó en KBr y se hicieron 150 barridos leídos por un detector de nitrógeno líquido en el método de transmitancia. El tamaño físico de las partículas se midió 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 \AA en un rango de $10^\circ - 90^\circ$ 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), los valores reportados fueron el promedio de 5 mediciones las cuales cada una estuvieron realizadas en medio acuoso y bajo un potencial a diferentes valores de pH (Marimón-Bolívar y González 2018)

En tercera instancia, se caracterizó el agua en colaboración con el semillero para adquirir los materiales de preservación y cubrimiento viáticos. Por ello, el equipo se transportó hacia la bocatoma del río Cuja ubicado con coordenadas 4.309263, -74.341306, donde se recolectaron 3 muestras, cada uno de 1 litro en un tramo de 50 metros.



Una vez adquirido, se llevaron a pruebas de laboratorio en la universidad Javeriana y Católica de Colombia con el fin de establecer los parámetros iniciales del río Cuja (tabla 3) con el propósito de plantear el tipo de tratamiento a emplear ante una posterior potabilización.

Los siguientes parámetros fueron evaluados bajo la normativa colombiana, EPA y OMS el cual están expresados en el marco legal de este proyecto.


Tabla 3, Parámetros de calidad de agua utilizados en el estudio

Parámetro	Unidad	Técnica analítica	Método Estandar
Temperatura	°C	Termométrico	SM 2550 B
pH	Unidades	Electrométrico	SM 4500H+B
Conductividad	uS/cm	Electrométrico	SM 2510 B
Alcalinidad	mg/L CaCO ₃	Titulación Potenciométrica	SM 2320 B
Turbiedad	NTU	Nefelométrico	SM 2130 B
TDS	mg/L TDS	Electrométrico	SM 2540 C
NTK	mg/L N-NH ₄ /L	Electrométrico	SM 4500 Norq B
Solidos Suspendidos totales	mg/L SST	Secado a 103-105°C	SM 2540 D
Solidos Totales	mg/L ST	Secado a 103-105°C	SM 2540 G
Cloruros	mg/L CL	Cromatográfico	S.M. 4110 B
Nitritos	mg/L NO ₂	Colorimétrico	SM 4500 NO ₂ - B
Nitratos	mg/L N-NO ₃	Acido Cromotrópico	SM 4500 NO ₃ - B
Fosfatos	mg/L P-PO ₄	Cromatográfico	S.M. 4110 B
Sulfatos	mg/L SO ₄	Cromatográfico	S.M. 4110 B
Fosforo Total	mg/L P	Acido Ascórbico	SM 4500 P-E
Coliformes Totales	NMP/100 ml	Sustrato definido	SM 9223 B
Mercurio Total	mg/L Hg	Digestión Acida	SM 3112 B
Oxígeno Disuelto	mg/l O ₂	Modificación Azida	SM 4500 -O CD

Fuente: Realizado por Autores

Respecto a lo anterior, para poder completar los siguientes procesos del tratamiento del agua se preparó un agua sintética en el laboratorio, siguiendo los parámetros existentes del río Cuja, utilizando agua lluvia y arena de río, alterando así sus características físicas y químicas de la muestra.


Consecuente a esto, se practicaron pruebas de laboratorio con el fin de obtener una calidad de agua cercana a la requerida, donde se generaron procesos de tratamiento primario (coagulación-Floculación-sedimentación) en un test de jarras, con el cual se simulaban los procesos en una planta de potabilización. De igual forma se incorporó mercurio en la muestra con el propósito de observar la efectividad de las nanoarcillas, el cual fueron agregadas en el test de jarras, después se dejó

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	<u>IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE</u> <u>ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA</u> <u>LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE</u> <u>DEL RÍO CUJA</u>	ELABORÓ: HAROL MORENO <u>CÓDIGO: 506045</u> JULIAN ROMERO <u>CÓDIGO: 506220</u>
		DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.</u> Director trabajo de Grado

sedimentar su composición con ayuda de un imán comercial ubicado en la base del recipiente. Luego de este proceso, se generó una filtración y finalmente a la desinfección, empleando consigo lámparas ultravioletas de tal forma que asegure la eliminación de microorganismos. Cabe aclarar que en cada proceso se midieron algunos parámetros para realizar un seguimiento ante su variación de las características del agua y así confirmar su composición realizando una comparativa de estándares de calidad de agua potable.

Por otro lado, para evaluar el agua resultante desde otra perspectiva, se calculó el índice de calidad (ICA) de tal manera que se clasifique ante categorías de valores que define las características para su uso

Finalmente, se generó una propuesta de diseño teórico siguiendo el tratamiento trabajado para potabilizar con el objetivo de que sea utilizado como modelo ante alguna entidad que quiera emplear este sistema

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	<u>IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE DEL RÍO CUJA</u>	ELABORÓ: HAROL MORENO <u>CÓDIGO: 506045</u> JULIAN ROMERO <u>CÓDIGO: 506220</u>
		DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.</u> Director trabajo de Grado

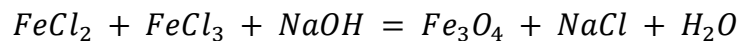
12. RESULTADOS Y ANÁLISIS

12.1 SÍNTESIS DE NANOMATERIAL

Como se había dicho anteriormente, la arcilla empleada para esta investigación fue la bentonita comercial, esta fue elegida debido a que posee minerales de montmorillonita, este mineral posee iones metálicos lo cual esta composición ayuda a complementar condiciones de atracción al momento de sintetizar el material.

El método aplicado para este ensayo es la coprecipitación con el fin de obtener un material que tenga propiedades magnéticas, para luego unificarlo con las partículas de la arcilla con el objeto de su fácil retiro en eventos donde sean usados para el retiro de metales, para que se produjera material se tuvo presente diferentes materiales, tales como el cloruro ferroso ($FeCl_2$), cloruro férrico ($FeCl_3$) e hidróxido de sodio ($NaOH$).

Se eligieron estos materiales ya que produce químicamente la magnetita que es un componente que posee un magnetismo, este comportamiento se puede evidenciar de acuerdo al siguiente balanceo químico:



Además de formar agua y sal, se crea la magnetita que se identifica por esa fórmula química por su constitución por óxido ferroso-diferrico, este material es capaz de atraer al mismo hierro, al acero y a otros metales.

Por otro lado, para poder asegurar la composición creada se suministró un agente reductor estabilizante, esto con el fin de reducir los iones del oxido de metal en nanomaterial además evitar la toxicidad de los metales pesados en los seres humanos, a esto se le denomina un quelante, por ello se utilizó la glucosa que es el monosacárido muy abundante hacia la sintetización del material. (Briceño 2017)

Justificando el empleo de cada material se realizó el proceso de sintetización en el laboratorio mostrando así sus siguientes etapas:

- Primero se preparó una solución cuyas concentraciones comprendían las dos sales ($FeCl_2$ y $FeCl_3$) en agua con ayuda de un matraz de Erlenmeyer bajo una temperatura de $70^{\circ}C$ aplicando una constante agitación magnética.



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE
ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA
LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE
DEL RÍO CUJA

ELABORÓ:
HAROL MORENO CÓDIGO: 506045
JULIAN ROMERO CÓDIGO: 506220

DIRECTOR:
PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.
Director trabajo de Grado

Fig. No 10, Preparación de nanomaterial



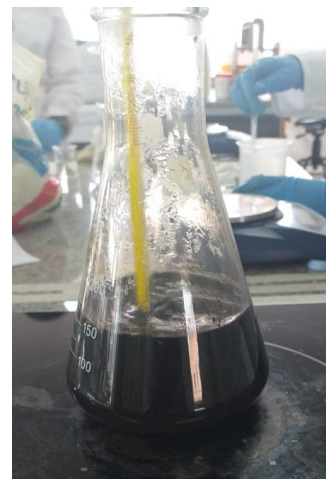
Fuente: Realizado por Autores

- Luego, se aumentó el pH por encima de 10 en la solución mediante el empleo del hidróxido de sodio, esto con el fin de que las dos sales existentes se oxiden, reflejando un color negro.

Fig. No 11, Hidróxido de sodio



Fig. No 12, Oxidación del hierro



Fuente: Realizado por Autores



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE
ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA
LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE
DEL RÍO CUJA

ELABORÓ:
HAROL MORENO CÓDIGO: 506045
JULIAN ROMERO CÓDIGO: 506220

DIRECTOR:
PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.
Director trabajo de Grado

- Después de tornar negro, se elevó la temperatura a 85°C y se mantuvo por 15 minutos generando una agitación en constancia. Una vez terminado el lapso se agregó la glucosa y se siguió esperando otros 15 minutos más.

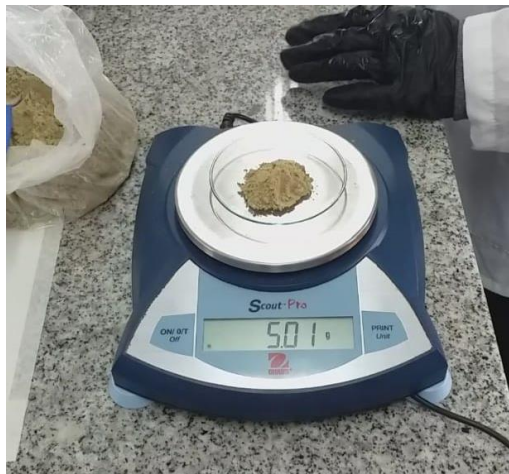
Fig. No 13, Glucosa en polvo



Fuente: Realizado por Autores

- Se agrega la bentonita luego de finalizado el tiempo de espera y se espera otros 30 minutos para unificar la magnetita creada con la arcilla

Fig. No 14, Preparación de bentonita para su posterior suministro a la solución



Fuente: Realizado por Autores



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE
ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA
LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE
DEL RÍO CUJA

ELABORÓ:
HAROL MORENO CÓDIGO: 506045
JULIAN ROMERO CÓDIGO: 506220

DIRECTOR:
PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.
Director trabajo de Grado

- Finalmente se realiza la separación del nanomaterial con un imán de neodimio para luego realizar un sacado del material a 40 °C a un lapso de 12 horas, dando como resultado final el material que se planea utilizar en el proceso de potabilización.

Fig. No 15, Captación de nanomaterial por el neodimio



Fig. No 16, Resultado final de la nanoarcilla




Fuente: Realizado por Autores

12.2 CARACTERIZACIÓN DEL NANOMATERIAL

Como es de saber las nanoarcillas están modificadas magnéticamente, es por ello que se requiere de conocer a una mayor profundidad como interactúa la arcilla frente a las partículas de la magnetita además de su composición elemental; también se debe conocer sus capacidades magnéticas por las cuales fueron creadas, entendiendo esta aclaración, la caracterización se compone de:

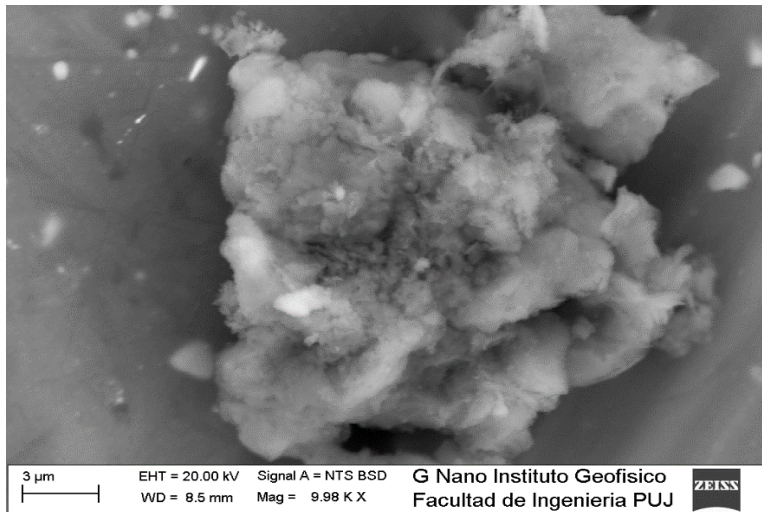
12.2.1 Composición microscópica mediante SEM

Para examinar la composición de la nanoarcilla magnética se requirió de un análisis morfológico mediante el ensayo SEM, también llamado microscopia electrónica de barrido, este emite y detecta electrones que permiten así detectar el tamaño de la nanopartícula, mostrando así además su composición hacia otros elementos. A continuación, se presentará una fotografía de alta resolución de la superficie de una

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	<u>IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE</u> <u>ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA</u> <u>LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE</u> <u>DEL RÍO CUJA</u>	ELABORÓ: HAROL MORENO <u>CÓDIGO: 506045</u> JULIAN ROMERO <u>CÓDIGO: 506220</u>
		DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.</u> Director trabajo de Grado

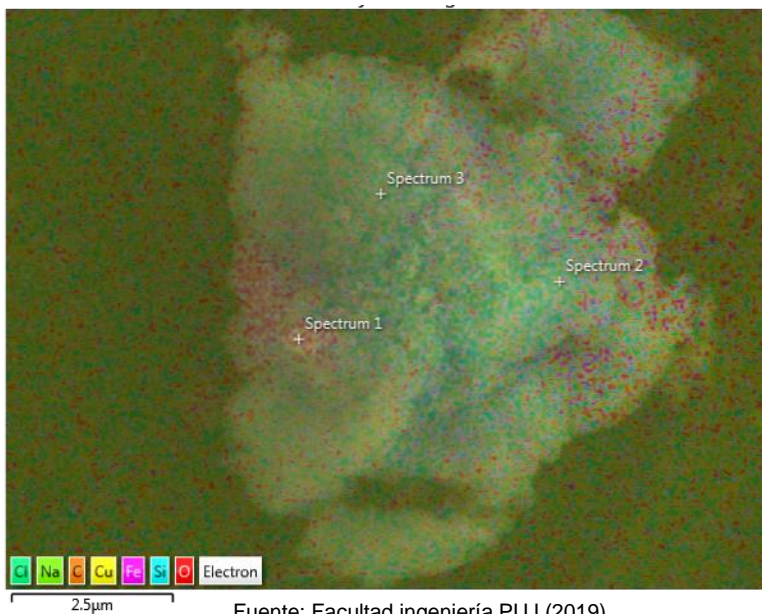
partícula de bentonita con presencia de magnetita dentro de su composición a una escala de $3\mu\text{m}$, y otra por medio de capas EDS con el fin de detallar con más claridad los sectores donde se concentra más los elementos esenciales del material creado.

Fig. No 17, Imagen SEM de la nanoarcilla



Fuente: Facultad ingeniería PUJ (2019)

Fig. No 18, Imagen EDS de la nanoarcilla



Fuente: Facultad ingeniería PUJ (2019)



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE
ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA
LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE
DEL RÍO CUJA

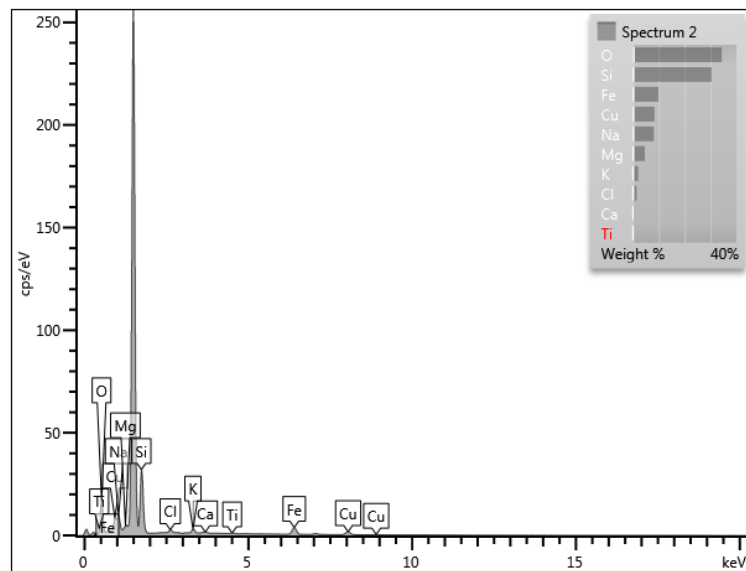
ELABORÓ:
HAROL MORENO CÓDIGO: 506045
JULIAN ROMERO CÓDIGO: 506220

DIRECTOR:
PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.
Director trabajo de Grado

Si bien en la figura No 17 y 18, el elemento más prominente es el silicio, esto es debido a que la bentonita es una arcilla que pues se compone principalmente de este material, por otro lado se evidencia una leve impregnación periférica de la magnetita, esto se puede identificar por los elementos de hierro y oxígeno, además de otros elementos que son residuales de los procesos sometidos durante el proceso de la sintetización, para observar con individualidad cada elemento, se adjunta en anexo II.

Por otro lado, para conocer el porcentaje total correspondiente al hierro, al oxígeno y al silicio, se empleó un espectrograma másico EDS (gráfica 1) encontrando un porcentaje de bentonita del 30% esto representado en silicio, y un valor aproximado del 40% para para los elementos del oxígeno con el hierro, el porcentaje restante es dado por elementos adicionales, además de esto, se aprecia que los picos con mayor prominencia son para los elementos del oxígeno (O) y de magnesio (mg).

Gráfica No. 1, Espectrograma másico EDS



Fuente: Facultad ingeniería PUJ (2019)

12.2.2 Saturación magnética

La saturación magnética afecta los momentos polares, ya que se alinea en su totalidad al aplicar campos magnéticos externos, es por ello que mediante una gráfica se medirá esta saturación en emu/g (unidad múltiple eléctrica sobre gramo) con la variación del campo magnético medido en Oe:



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

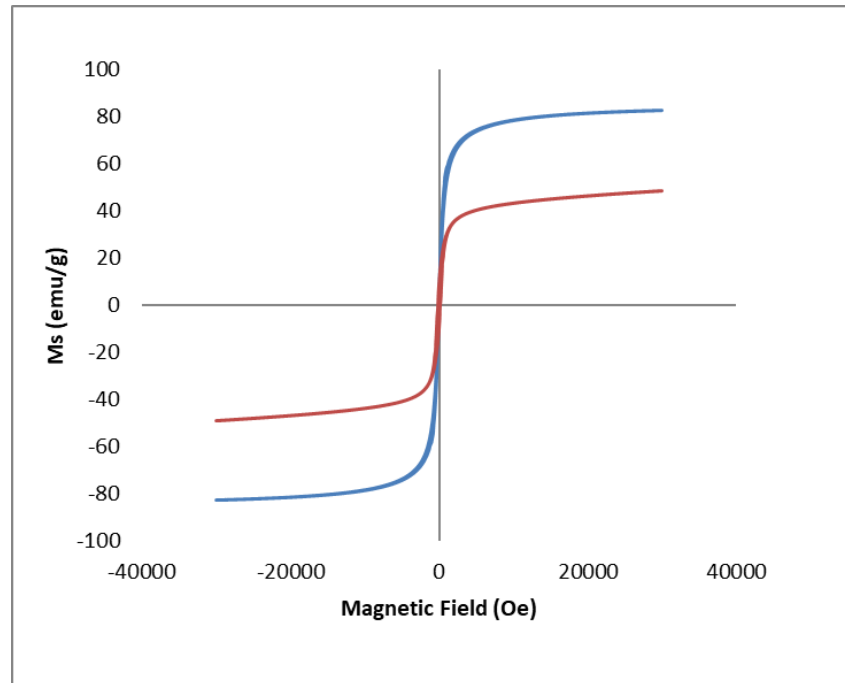
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE
ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA
LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE
DEL RÍO CUJA

ELABORÓ:
HAROL MORENO CÓDIGO: 506045
JULIAN ROMERO CÓDIGO: 506220

DIRECTOR:
PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.
Director trabajo de Grado

Gráfica No. 2, Saturación Magnética



Fuente: Facultad ingeniería PUJ

Según lo anterior se muestran dos líneas por el uno cual la línea de color azul representa el valor teórico de la magnetita (Fe_3O_4) y el color rojo representa el resultado de la magnetita incrustada en la arcilla. Teniendo presente esto, se puede observar que el valor teórico alcanzó su máximo a una saturación magnética de 82,7 emu/g para un campo magnético dado a 30000 Oe, mientras tanto, la magnetita sintetizada llegó a una saturación equivalente a los 48,8 emu/g para un mismo campo magnético.

En efecto la magnetita sintetizada no llegó a su máximo nivel respecto a lo que puede garantizar una real, sin embargo, este valor avala que existen propiedades magnéticas dentro de él.

Respecto al comportamiento de la gráfica, la magnetita tuvo un comportamiento superparamagnético, esto quiere decir que el material después de haberle suspendido el campo magnético, la gráfica no se desvió de su trayecto original, dicho en otras palabras, no se formó una histéresis, a lo que confiere a que su remanencia magnética y su coercitividad es equivalente a 0.



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE
ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA
LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE
DEL RÍO CUJA

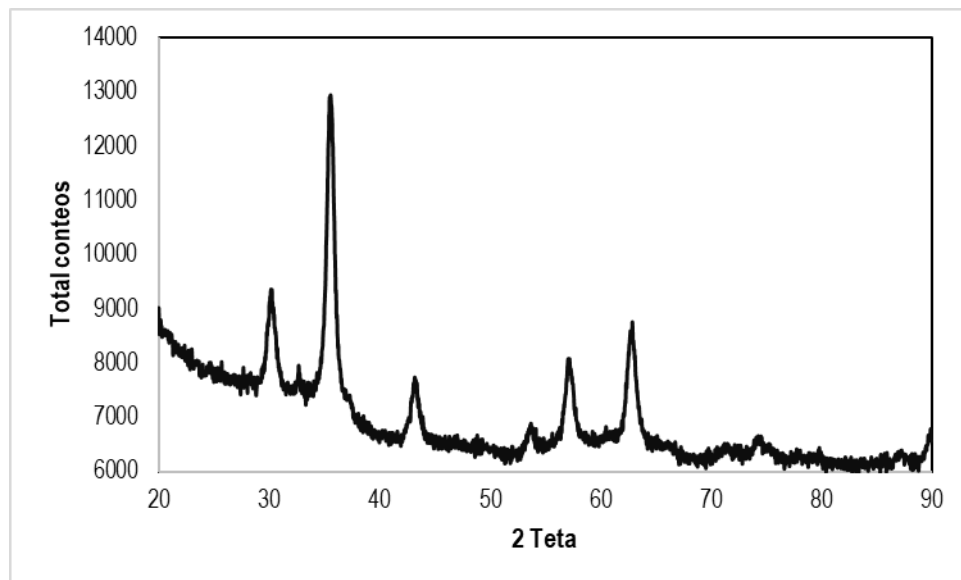
ELABORÓ:
HAROL MORENO CÓDIGO: 506045
JULIAN ROMERO CÓDIGO: 506220

DIRECTOR:
PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.
Director trabajo de Grado

12.2.3 Caracterización cristalográfica

Para la caracterización cristalográfica se requirió de ensayos de difracción de rayos (XRD) esto con el fin de identificar la fase/ composición de los compuestos presentes en la muestra, para este caso se quiso reconocer si el material sintetizado en efecto tenía impregnado magnetita, para ello se realizó una limpieza de ruido en el difractograma con el objetivo de revelar los picos más prominentes, encontrando así en la gráfica 2 que las nanopartículas si hacen referencia a las magnetitas debido a que corresponden a la estandarizada para el compuesto Fe_3O_4

Gráfica No. 3, Ensayo XRD



Fuente: Facultad ingeniería PUJ (2019)

12.3 CARACTERIZACIÓN INICIAL DEL AGUA

Para poder recolectar el agua del río Cuja se requirió ir a la bocatoma de la planta de tratamiento de agua potable de Fusagasugá Emserfusa E.S.P con envases Ámbar para que la muestra no fuera afectada por factores externos tales como los rayos solares, este proceso se puede apreciar en las siguientes figuras:



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE
ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA
LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE
DEL RÍO CUJA

ELABORÓ:
HAROL MORENO CÓDIGO: 506045
JULIAN ROMERO CÓDIGO: 506220

DIRECTOR:
PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.
Director trabajo de Grado

Fig. No 19, Bocatoma del río Cuja



Fig. No 20, Colecta de agua



Fuente: Realizado por Autores

Además de esto, se midió el pH in situ del lugar, presentando un valor aproximado 7 (neutro), reflejando un cauce en condiciones óptimas para su potabilización (figura No.21), esta actividad se hizo previo a la conservación en las neveras cavas dado que la temperatura en la que fue sometido (4°C) pudo haber afectado la muestra a una menor escala ante un incremento de iones de hidróxidos, volviendo su composición a un pH ligeramente alcalino.

Fig. No 21, Lectura de pH in situ



Fuente: Tomado por Nathalie Toussaint (2019)

Por otro lado, esta temperatura tuvo como objetivo preservar las propiedades de la muestra (figura No. 22), controlando y manteniendo así el pH para condiciones a tal punto que retrase las acciones biológicas del agua, reducir la hidrólisis de la muestra



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE
ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA
LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE
DEL RÍO CUJA

ELABORÓ:
HAROL MORENO CÓDIGO: 506045
JULIAN ROMERO CÓDIGO: 506220

DIRECTOR:
PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.
Director trabajo de Grado

de agua para prevenir una descomposición del contenido orgánico y, asimismo, aminorar la volatilidad de los contribuyentes y los efectos de absorción.

Fig. No 22, Nevera Cava de Icopor



Fuente: Realizado por Autores

Luego de ello, se solicitó prestado el laboratorio de calidad de agua en la Universidad Javeriana, esto debido a que el proyecto está vinculado con el semillero :la calidad de agua y la nanotecnología (Nanotechnology and water quality), es por ello que están mancomunados 3 trabajos de grados enfocados al avalúo de la calidad del agua para su autodepuración y al tratamiento del agua hacia diferentes usos implementando nanopartículas, de acuerdo a ello se determinó la alcalinidad de la muestra (figura No. 23) implementado consigo ácido sulfúrico (H_2SO_4), pues permite verificar cual es la capacidad del agua para poder neutralizar un ácido.

Fig. No 23, Titulación Acido-Base para Alcalinidad



Fuente: Realizado por Autores



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE
ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA
LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE
DEL RÍO CUJA

ELABORÓ:
HAROL MORENO CÓDIGO: 506045
JULIAN ROMERO CÓDIGO: 506220

DIRECTOR:
PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.
Director trabajo de Grado

Fig. No 24, Medición de alcalinidad



Fig. No 25, Muestra Titulada




Fuente: Realizado por Autores

Acorde con lo anterior, se evidencia que en promedio se necesitan 2 ml del ácido para que el indicador (Naranja de metilo) reaccione, es por esto que se empleó la siguiente ecuación de alcalinidad:

$$\text{Alcalinidad} \left(\frac{\text{mg CaCO}_3}{\text{l}} \right) = \frac{A * N * 50000}{V_{\text{muestra}}}$$

Donde A, es el volumen consumido de H₂SO₄ en la titulación, N es la concentración del Ácido sulfúrico cuyo es de 0.02N y V_{muestra} es correspondiente al volumen del agua, para este caso se utilizaron 100ml, de acuerdo a ello se dio lo siguiente:

$$\text{Alcalinidad} \left(\frac{\text{mg CaCO}_3}{\text{l}} \right) = \frac{2\text{ml} * 0.02\text{N} * 50000}{100 \text{ ml}} = 20$$

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	<u>IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE DEL RÍO CUJA</u>	ELABORÓ: HAROL MORENO <u>CÓDIGO: 506045</u> JULIAN ROMERO <u>CÓDIGO: 506220</u>
		DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.</u> Director trabajo de Grado

Para los otros parámetros previstos a analizar, se solicitó el servicio del laboratorista de la Universidad Javeriana: entregando así los siguientes resultados:

Tabla 4, Parámetros iniciales del Río Cuja

Datos Iniciales Agua			Resolución 2115 (2007)	EPA (EEUU)	OMS	Valoración
Parametro	Unidad	Valor				
Temperatura	°C	17	--	--	--	No especifica
pH	Unidades	8,89	6,5-9	6,5-8,5	6,5-8,5	Cumple parcialmente
Conductividad	uS/cm	87,7	--	--	--	No especifica
Alcalinidad	mg/L CaCO ₃	20	200	--	--	Cumple
Turbiedad	NTU	15,7	2	0,5-1,0	1	No cumple
TDS	mg/L TDS	46,7	--	500	300	Cumple
NTK	mg/L N-NH ₄ /l	4,07	--	--	--	No especifica
Solidos Suspendedos totales	mg/L SST	1015,3	--	--	--	No especifica
Solidos Totales	mg/L ST	1062	--	--	--	No especifica
Cloruros	mg/L CL	17,1	250	250	250	Cumple
Nitritos	mg/L NO ₂	ND	0,1-10	0,1-10	0,1-10	ND
Oxigeno Disuelto	mg/l O ₂	6,51	--	--	--	No especifica
Nitratos	mg/L N-NO ₃	0,3	0,1-10	0,1-10	0,1-10	Cumple
Fosfatos	mg/L P-PO ₄	4,3	0,5	--	--	No cumple
Sulfatos	mg/L SO ₄	25,5	250	250	400	Cumple
Fosforo Total	mg/L P	0,562	--	--	--	No especifica

Fuente: Realizado por Autores

Observando la previa tabla, se denota la ausencia del parámetro de mercurio total y coliformes totales, esto es debido a que el metal es un indicador de eficiencia respecto a la utilización del nanomaterial que se empleó más adelante; No obstante, la detección de lo coliformes se evaluó luego del proceso de desinfección seleccionado.

12.3.1 Preparación agua sintética

Con base a la información expuesta anteriormente, se dio paso a la elaboración de la muestra para realizar las pruebas de laboratorio del tratamiento para potabilización a escala, tomando como referencia parámetros tales como el pH, conductividad, alcalinidad, turbiedad, TDS y temperatura, para esto se tomaron 4 litros de agua lluvia para trabajar y sobre ella se tomaron diferentes dosificaciones de arena de río, de los cuales se encontró un valor respectivo de 0,200 mg de este árido, formulándose así lo siguiente:

$$Dosis\ Arena\ de\ Rio\ \left(\frac{mg}{L}\right) = \frac{0.200\ mg}{4\ L} = 0,05\ \left(\frac{mg}{L}\right)$$

Respecto a ello, se tabularon los parámetros iniciales del agua sintética acordando con la cercanía del cauce natural:

Tabla 5, Datos iniciales Agua Sintética

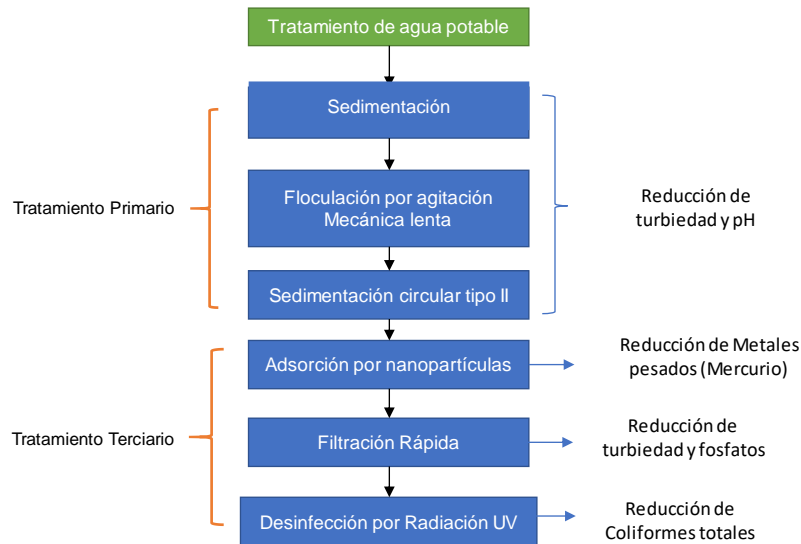
Datos Iniciales Agua Sintética		
Parametro	Unidad	Valor
Temperatura	°C	18,2
pH	Unidades	8,95
Conductividad	uS/cm	94,7
Alcalinidad	mg/L CaCO ₃	22
Turbiedad	NTU	25,96
TDS	mg/L TDS	47,3

Fuente: Realizado por Autores

12.4 TRATAMIENTO DEL AGUA A POTABILIZAR A ESCALA LABORATORIO

Para poder tratar el agua sintética fue indispensable realizar un diseño teórico de la misma con el fin de observar que procedimiento hubiera sido el apto para regular los parámetros que están fuera de los estándares de calidad, es por ello se ideó lo siguiente:

Fig. No 26, Sistema de tratamiento de agua potable



Fuente: Realizado por Autoría



De acuerdo a lo mostrado anteriormente, se observa que no hubo procesos de pretratamiento, puesto que la muestra no poseía contaminantes de grandes dimensiones (piedras, cantos rodados, grasa), además de que el pH inicial a pesar que cumple parcialmente, este se vendrá afectado por el consumo de alcalinidad que presentará en procesos de coagulación. Entendiendo esto se procede a realizar cada proceso experimental de laboratorio.

Para resaltar: los formularios de solicitud de tiempo de laboratorio en la universidad están expuestos en el anexo III

12.4.1 Coagulación-Floculación-Sedimentación

Para poder determinar la dosificación óptima de la muestra se requirió emplear un test de jarras mediante 6 vasos de precipitado por el cual se varió la dosificación del coagulante sulfato de aluminio tipo B en cada uno, esto con el fin de observar y concluir la dosificación a utilizar.

Para inicial la dosificación se requirió de la cantidad de alcalinidad inicial de la muestra ya que al duplicar dicha concentración se obtiene la dosis mínima para el coagulante, como se evidencia a continuación:

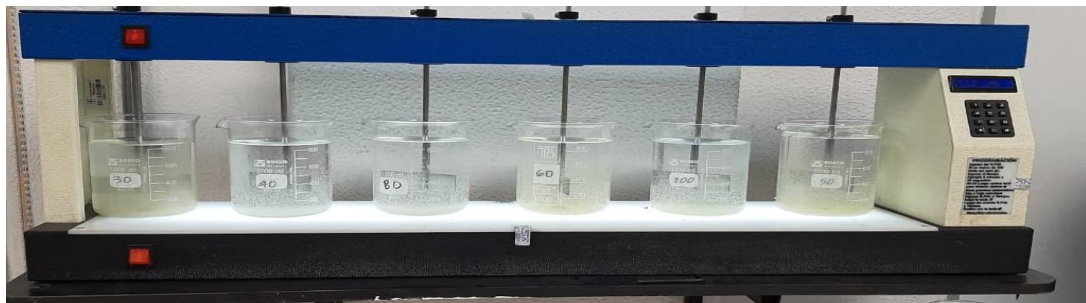
$$Dosis_{mínima} = Alcalinidad * 2$$

$$Dosis_{mínima} = 20 \left(\frac{mg}{l} \right) CaCO_3 * 2$$

$$Dosis_{mínima} = 40 \frac{mg}{l} Al_2(SO_4)_3$$

Sin embargo, conociendo ya la dosificación del coagulante se decidió graduar dicha concentración a partir de 30 mg/l de sulfato de aluminio para comprobar su efectividad y una vez definido esto se emprendió a experimentar con 30,40,50,60,80 0y 100 mg/l de $Al_2(SO_4)_3$ mediante una velocidad de 100 rpm a un tiempo estimado de 15 segundos, como se puede ver en la siguiente figura:

Fig. No 27, Test de jarras



Fuente: Realizado por Autoría



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE
ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA
LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE
DEL RÍO CUJA

ELABORÓ:
HAROL MORENO CÓDIGO: 506045
JULIAN ROMERO CÓDIGO: 506220

DIRECTOR:
PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.
Director trabajo de Grado

Una vez realizado el proceso de coagulación, se definió nuevamente el tiempo y la velocidad en el proceso, esto con el fin de crear flóculos dentro de cada muestra, es importante reducir la velocidad dentro del test puesto que se deben generar aglomeraciones de las partículas desestabilizadas, creando así macroflóculos siendo visibles en la suspensión, generando a su vez un incremento del peso, el tamaño y resistencia adecuada para finalmente concluir con una sedimentación («Floculación | Teoría y experiencias» 2019).

Aclarando esto, la velocidad que se impuso para la floculación fue de 15 rpm a un tiempo estimado de 20 minutos, de acuerdo a ello se formaron con mayor detalle los flóculos de la muestra (Figura 28) y por ende se procedió a sedimentar a un lapso de 2 hrs.

Fig. No 28, Expectativa de flóculos para una muestra de 80 ml de coagulante



Fuente: Realizado por Autoría

Terminado este proceso se puede apreciar el cambio de color de la muestra debido a la remoción de contaminantes (figura 29).



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

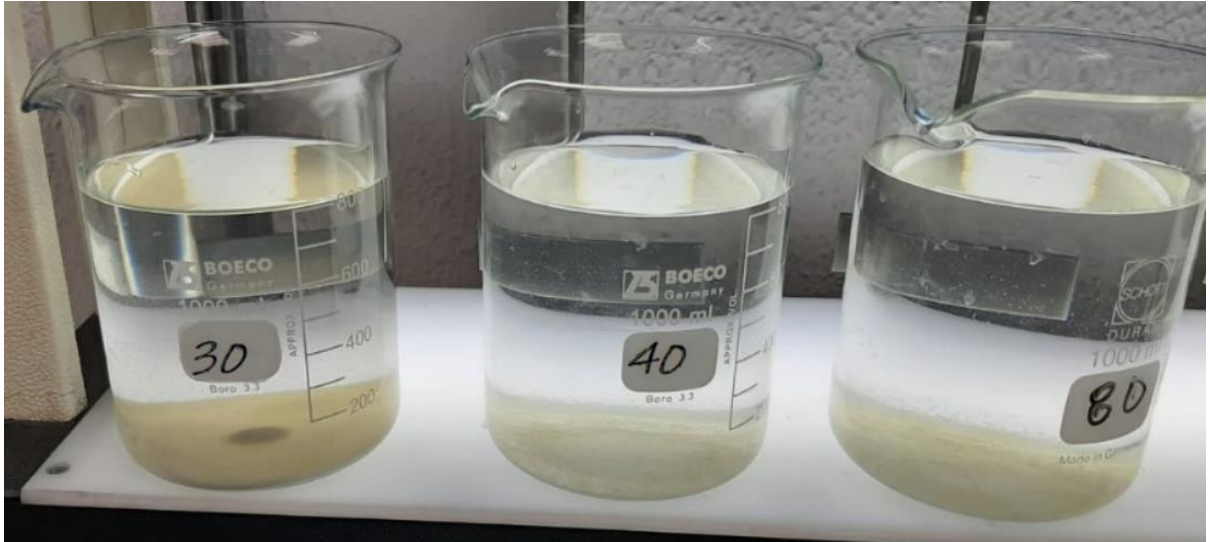
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE
ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA
LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE
DEL RÍO CUJA

ELABORÓ:
HAROL MORENO CÓDIGO: 506045
JULIAN ROMERO CÓDIGO: 506220

DIRECTOR:
PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.
Director trabajo de Grado

Fig. No 29, Flóculos sedimentados



Fuente: Realizado por Autoría

Ahora se procede a verificar los parámetros mencionados en la tabla (6) con el fin de determinar con certeza cual es la dosis óptima para la muestra examinando el cambio de turbiedad con respecto a su concentración.

Tabla 6, Parámetros después de test de jarras

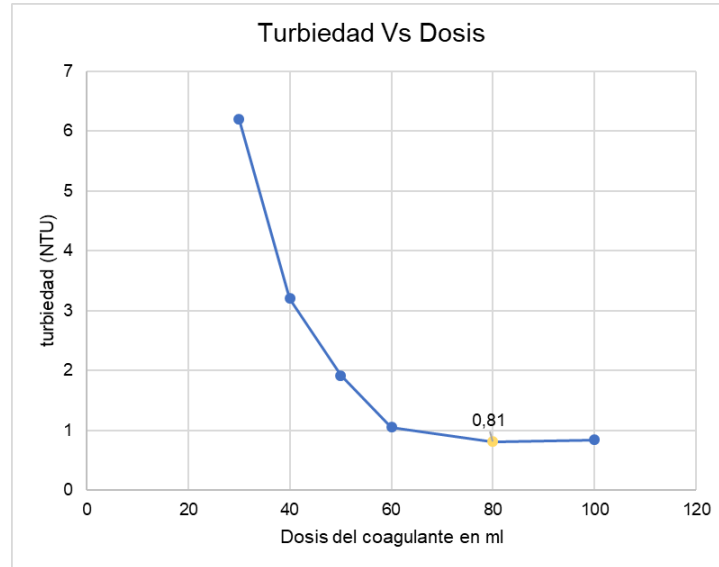
Datos después de Test de Jarras						
Dosis (ml)	30	40	50	60	80	100
Temperatura (°C)	18,2	19	18,2	18,3	18,2	18,3
pH	6,18	6,15	6,25	6,3	5,94	6,2
Conductividad (uS/cm)	106,4	85,9	117,3	101,3	91,1	85,6
TDS (mg/L)	55,4	44,9	61,7	53,9	48,6	45,1
Turbiedad (NTU)	6,2	3,2	1,92	1,05	0,81	0,84

Fuente: Realizado por Autoría

Consigo a ello se graficó dicho resultado;



Gráfica No. 4, Dosis óptima de coagulante



Fuente: Realizado por Autoría


Observando dicha gráfica, se aclara que la dosificación para potabilizar el agua es correspondiente a los 80 ml de alumbre tipo B, por lo tanto, se realiza una comparativa entre los datos iniciales del agua sintética y los datos finales para cada parámetro.

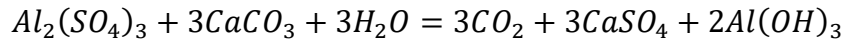
Tabla 7, Comparación de parámetros ante una CFS

Parámetros	Agua inicial	Resultados	
		después de CFS	Diferencia
Temperatura (°C)	18,2	18,2	0
pH	8,95	5,94	3,01
Conductividad (uS/cm)	94,7	91,1	3,6
TDS (mg/L)	47,3	48,6	-1,3
Turbiedad (NTU)	15,9	0,81	15,09

Fuente: Realizado por Autoría

Como se puede evidenciar, el pH se redujo 3,01 unidades, debido a que el sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ reacciona con la alcalinidad del agua y con los fosfatos, causando así una aminoración de estas variables (Guillermo 2012), esto también se puede evidenciar mediante una ecuación química balanceada:

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	<u>IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE</u> <u>ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA</u> <u>LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE</u> <u>DEL RÍO CUJA</u>	ELABORÓ: HAROL MORENO <u>CÓDIGO: 506045</u> JULIAN ROMERO <u>CÓDIGO: 506220</u>
		DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.</u> Director trabajo de Grado



Al reaccionar el sulfato de aluminio con el carbonato de calcio y el agua, este produce dióxido de carbono además de otros componentes y por consiguiente influye de manera directa ante el pH, pues se utiliza para neutralizarlo en casos de que la muestra contenga un pH alcalino.

Por otro lado, la conductividad se redujo por influencia de la turbiedad, ya que la muestra recobró su transparencia al ser sometido a un proceso de CFS, removiendo así los sólidos suspendidos (dentro de ellas las sales) que generaban un color aparente.

Respecto a los sólidos disueltos totales (TDS) existe una incongruencia puesto que este parámetro está estrechamente relacionado con la conductividad, ya que a mayores sales disueltos en el agua, mayor es la conductividad eléctrica (Lenntech 2019), la única hipótesis por el cual se aumentó el TDS es que se produjeron inconvenientes durante la medición de esta variable, alterando así su magnitud.

Luego de comprender el resultado de cada parámetro, se requirió elaborar otras dos muestras con dosis de 80 ml, ya que para los previos tratamientos se requiere de un mayor volumen, dicho esto los parámetros para estas muestras son las siguientes:

Tabla 8, Parámetros hacia una dosificación de 80 ml de coagulante

Parametros para Dosis de 80		
Muestra	1	2
Temperatura (°C)	18,2	18,1
pH	6,4	6,362
Conductividad (uS/cm)	105,8	116,6
TDS (mg/L)	57	61,7
Turbiedad (NTU)	0,65	0,589

Fuente: Realizado por Autoría

12.4.2 Adsorción con nanopartículas magnéticas

Para poder determinar el comportamiento de las nanoarcillas magnéticas previamente sintetizadas, se incurrió en agregar en las muestras mercurio con el objetivo de evidenciar su efectividad ante la remoción de metales pesados, para disponer de este proceso fue necesario establecer una concentración inicial de 100



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

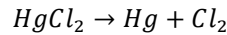
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE
ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA
LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE
DEL RÍO CUJA

ELABORÓ:
HAROL MORENO CÓDIGO: 506045
JULIAN ROMERO CÓDIGO: 506220

DIRECTOR:
PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.
Director trabajo de Grado

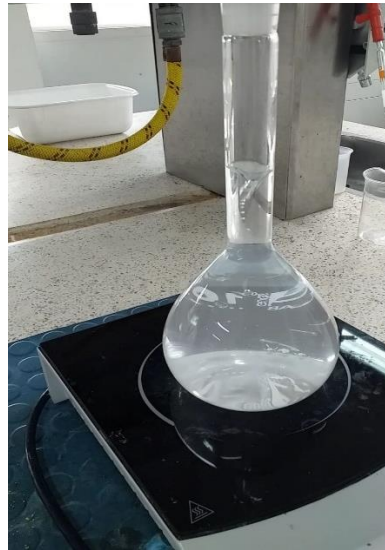
mg/L de mercurio (Hg) mediante una solución de cloruro de mercurio, para saber la cantidad de $HgCl_2$ necesaria, es indispensable realizar una equivalencia tomando como base la concentración ya conocida:



$$100 \left(\frac{mg}{l} \right) Hg * \left(\frac{1g}{1000 mg} \right) * \left(\frac{1 mol Hg}{200,59 g Hg} \right) * \left(\frac{1 mol HgCl_2}{1 mol Hg} \right) * \left(\frac{271.2 g HgCl_2}{1 mol HgCl_2} \right) * \left(\frac{1000 mg}{1 g} \right) \\ = 135 \left(\frac{mg}{l} \right) HgCl_2$$

Una vez conocida la dosificación necesaria se procedió a unificarlo con las muestras previas a un proceso de CFS empleando consigo un balón volumétrico y un mezclador magnético (figura 30)

Fig. No 30, Mezcla del cloruro de mercurio con el agua parcialmente tratado



Fuente: Tomado por autoría

Luego de mezclado se preservó el agua en envases de vidrio de color ámbar, permitiendo así una mejor preservación de las características ya implementadas.

Para el momento de incorporar las nanoarcillas se optó por incorporar 200 mg/l de su concentración en la muestra de agua en vasos de precipitado para luego instalarlos en el equipo de test de jarras asemejando así un reactor batch ajustando la velocidad angular a 100 rpm por un lapso de 30 minutos.


 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	<u>IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE DEL RÍO CUJA</u>	ELABORÓ: HAROL MORENO <u>CÓDIGO: 506045</u> JULIAN ROMERO <u>CÓDIGO: 506220</u>
		DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.</u> Director trabajo de Grado

Fig. No 31, Mezcla nanoarcillas con agua contaminada con mercurio



Fuente: Tomado por autoría

Una vez terminado este proceso se reubicaron las muestras hasta posicionarlas sobre un campo magnético externo (imán de neodimio) con el propósito de atraer y retener el material particulado en la base del vaso, esto se puede apreciar en la figura No. 32 y 33, donde las nanoarcillas recobraron la forma del imán, demostrando así su efectividad; sin embargo para que el material sea atraído por este campo, se requirió de al menos 1 día como tiempo de residencia para que todas las partículas se sedimentarán y consolidarán en un punto, este tiempo tuvo una influencia directa respecto al tamaño del imán pues no producía un suficiente campo magnético para atraer con mayor rapidez las partículas, por lo que se debe disponer de otros ejemplares con mayores dimensiones para que el proceso sea más óptimo.

Fig. No 32, Evidencia de atracción de nanopartículas 1

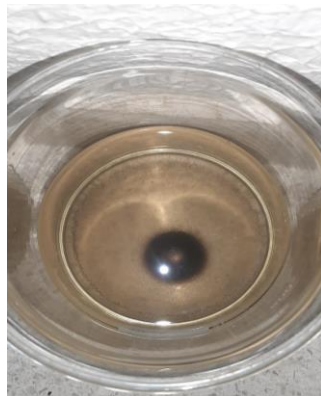


Fig. No 33, Evidencia de atracción de nanopartículas 2



Fuente: Tomado por autoría



Como se puede observar en la imagen, el agua recobró un color aparente por las nanoarcillas que están suspendidas, incrementando consigo la turbiedad que antes se consideraba como apta para el consumo humano, por esta razón se implementará un proceso de filtración luego de la separación de las nanopartículas.

Por otro lado, se midió la cantidad de mercurio resultante luego de este proceso, arrojando así una reducción significativa pasando desde una concentración inicial de 100 mg/l a 0.005 mg/l, representando así una remoción de 99,995 mg/l de este contaminante, este resultado de un aval muy importante para su utilidad no solo para remover mercurio sino también otros metales que pueden ser perjudiciales para el consumo humano, además de esto se midieron los demás parámetros para establecer la influencia de dicho contenido de una forma más detallada.

Tabla 9, Resultado después de adsorción

Datos después de adsorción						
Dosis (ml)	80-2	80-1	80	80	80-1	80-2
Temperatura (°C)	18,3	18,5	18,3	18,5	18,8	18,8
pH	8,027	7,192	7,182	7,098	7,195	6,785
Conductividad (uS/cm)	165,1	163,4	160,5	131,3	126,7	146,4
TDS (mg/L)	87,3	86,7	85,3	69,5	67,2	77,7
Turbiedad (NTU)	7,2	9,01	7,52	11,4	13,9	9,38
Mercurio (mg/L)				0,005		

Fuente: Tomado por autoría

Según los resultados se puede afirmar un incremento de la turbiedad de manera notoria pues pasó de tener 1 NTU a tener valores por encima de los 7 NTU, respecto a la conductividad y a los sólidos disueltos estos fueron influenciados al incorporar una sal a la mezcla (cloruro de mercurio) por cual de manera lógica tendría un aumento considerable, otro factor por el cual promulgó también este cambio es por la existencia del metal estudiado dentro del agua; por último el pH tuvo un comportamiento más neutro puesto que se incorporó un compuesto-base (sal) a la muestra al momento de preparar el agua para la remoción del metal.

12.4.3 Filtración

Después de haber realizado el correspondiente test de jarras, en donde se hizo coagulación, floculación y sedimentación, y posteriormente se hizo la adsorción por medio de las nanoarcillas modificadas magnéticamente, se procedió a realizar la filtración, esto para reducir en la mayor cantidad la turbiedad, a continuación, se muestra la figura 34 donde se puede observar cómo estaba el agua antes de ser filtrada.



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE
ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA
LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE
DEL RÍO CUJA

ELABORÓ:
HAROL MORENO CÓDIGO: 506045
JULIAN ROMERO CÓDIGO: 506220

DIRECTOR:
PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.
Director trabajo de Grado

Fig. No 34, Muestra agua antes de filtración



Fuente: Realizado por autores

De acuerdo con lo anterior, como se tenían 3 tipos de test de jarras diferentes originados de una misma muestra, se hicieron 2 muestras por cada test, obteniendo 6 muestras en total, por lo tanto, se decidió homogeneizar cada una de las muestras, para así solo tener una y obtener un único resultado para cada parámetro.

Para el desarrollo de este proceso, se planteó un filtrado rápido con lechos multicapa, el cual estaba compuesto primeramente por tres capas, donde en la parte inferior del filtro se hallaba la grava con 10 cm de grosor, la segunda capa era de arena de rio, con 10 cm de grosor, y la primera capa era la antracita con un grosor de 15 cm, a continuación se muestra como fue la preparación del filtro en la figura 35, y como quedó ya realizado en la figura 36.

Fig. No 35, Preparación de filtro



Fig. No 36, Ejecución de filtro



Fuente: Realizado por autores



Cabe destacar que la antracita se usó, debido a que es un excelente medio de filtración para lograr una clarificación del agua para uso potable, y gracias a la forma que tiene su granulometría, permite que los sólidos suspendidos que haya en el agua sean retenidos en el fondo del lecho filtrante. Respecto al lecho de la arena, su objetivo principal es la eliminación de los microorganismos patógenos que se encuentren presentes en el agua, aunque lo hace de forma muy mínima, ya que por eso después se debe hacer desinfección. Y, por último, la grava tiene como función disminuir la carga de material que se encuentra suspensión, y además cumple función de soporte de los lechos filtrantes(Carangui, Diego 2016).

Después de haber realizado la filtración, con las condiciones anteriormente nombradas, se obtuvieron los siguientes resultados representados en la tabla 10.

Tabla 10, Datos después de filtrado

Datos después de filtración	
Temperatura (°C)	18,9
pH	6,53
Conductividad (uS/cm)	88,7
TDS (mg/L)	47,6
Turbiedad (NTU)	7,2

Fuente: realizado por autores

Como se puede observar, la turbiedad según los estándares de calidad de agua que debe ser menor a 1,0 NTU para que sea óptimo para uso potable, y por esta razón, se decidió que se debía volver a filtrar.

Para la segunda filtración, ya no se tuvo en cuenta la grava, y se aumentó la altura de los lechos tanto para la antracita, como para la arena, cada una con una altura de 20 cm, el filtro se muestra en la figura 37, y se obtuvieron los siguientes resultados donde se puede ver en la tabla 11.


 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	<u>IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE DEL RÍO CUJA</u>	ELABORÓ: HAROL MORENO <u>CÓDIGO: 506045</u> JULIAN ROMERO <u>CÓDIGO: 506220</u>
		DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.</u> Director trabajo de Grado

Fig. No 37, Ejecución del filtro en segundo intento



Fuente: realizado por autores

Tabla 11, Datos después de filtrado prueba No. 2

Datos después de filtración prueba 2	
Temperatura (°C)	17,3
pH	6,5
Conductividad (uS/cm)	125
TDS (mg/L)	66,7
Turbiedad (NTU)	2,33
Alcalinidad (mg/l CaCO₃)	22

Fuente: realizado por autores

Como se evidencia, la turbiedad siguió sin cumplir con los estándares de calidad, lo cual esto se pudo ver directamente en el agua en la figura 38, a pesar de que aparente estar con su color real, este aún posee contaminantes y esto se corrobora en la anterior tabla, sin embargo, al comparar el proceso del agua antes y después si se evidencia que removió un importante cantidad de solidos suspendidos, puesto que la turbiedad bajo de un promedio de 9 NTU (Ver tabla 9) a solo tener 2 NTU.


 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	<u>IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE DEL RÍO CUJA</u>	ELABORÓ: HAROL MORENO <u>CÓDIGO: 506045</u> JULIAN ROMERO <u>CÓDIGO: 506220</u>
		DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.</u> Director trabajo de Grado

Fig. No 38, Resultado del agua después de filtrado (Derecha)



Fuente: realizado por autores

Es por esta razón, que, de acuerdo con todos los resultados obtenidos, lo más recomendable para obtener resultados óptimos, es tratar la muestra del agua problema con un filtro lento, ya que es un método simple, pero al mismo tiempo va a ser más efectivo, y es el más recomendado por la OMS (Organización Mundial de Salud), debido a que regula con mayor facilidad la turbiedad, puesto que compone de una la relación de vacíos (volumen de vacíos/volumen de solidos) más bajo, es por ello que tiene una mayor probabilidad de retener mayor porcentaje de partículas, el único inconveniente que presenta es que el flujo del agua al pasar en esta filtración va a ser más lenta por lo cual se requieren de lapsos importantes de tiempo para culminar el tratamiento.

12.4.4 Desinfección por Radiación UV

El último proceso que se le realizó a la muestra de agua, fue la desinfección por medio de radiación a luz Ultravioleta, la cual llegó después de filtración con las siguientes concentraciones de acuerdo con cada parámetro, como se muestra en la tabla 11.

Es de gran importancia resaltar que no se tomó el dato inicial de los microorganismos presentes en la muestra de agua en específico el de Escherichia Coli el cual forma parte del grupo de microbiológico de los coliformes totales, pero de todas formas, al ser agua que se encuentra expuesta a diferentes factores, como lo es la presencia de animales, los cuales de forma natural generan coliformes, y también la presencia de vegetación, hace que haya un incremento de



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

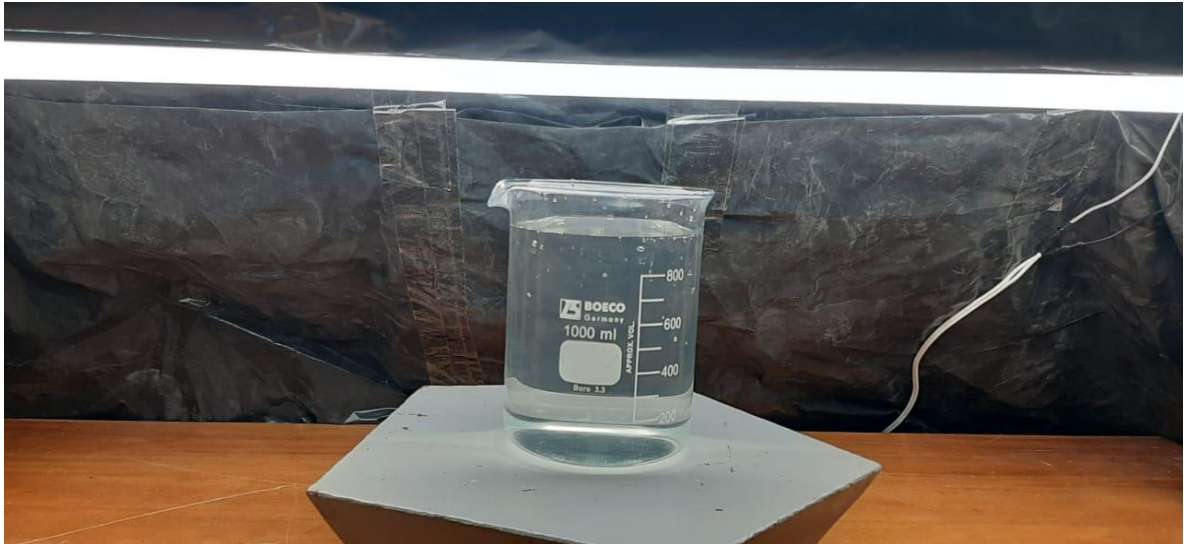
IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE
ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA
LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE
DEL RÍO CUJA

ELABORÓ:
HAROL MORENO CÓDIGO: 506045
JULIAN ROMERO CÓDIGO: 506220

DIRECTOR:
PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.
Director trabajo de Grado

microorganismos en la muestra, por ende se asumió que si habían microorganismos en el agua, y por esta razón se realizó el proceso de desinfección, como se puede evidenciar en la figura 39, donde se ve al agua procesada, expuesta a la lampara.

Fig. No 39, Muestra sometida a desinfección por radiación UV



Fuente: realizado por autores

La lampara con la que se desarrolló la radiación tenía una potencia eléctrica de 54 Watts, y se expuso durante una hora, obteniendo como resultado la eliminación absoluta tanto del microorganismo E. Coli como la erradicación total de coliformes fecales en la muestra de agua estudiada.

Por lo tanto, la desinfección ha efectuado de forma correcta su propósito, ya que cumple de acuerdo con los estándares de calidad para uso de agua potable, el cual indica que para E. Coli la concentración debe ser 0, y para coliformes totales la concentración debe ser 0 UFC/ 100 cm³.

Por último, para entender el funcionamiento de este proceso de desinfección, los investigadores H. B. Wright y W. L. Cairns, explican de manera comprensible que “Los microorganismos son inactivados por la luz UV como resultado del daño fotoquímico a sus ácidos nucleicos. La radiación UV es absorbida por los nucleótidos, los bloques constitutivos del ADN y ARN de la célula, según la longitud de onda. La UV absorbida promueve la formación de enlaces entre nucleótidos adyacentes, con lo que se crean moléculas dobles o dímeros. La formación de un número suficiente de dímeros dentro de un microbio impide que éste replique su ADN y ARN, lo que impide su reproducción” (Wright y Cairns 2019).



De acuerdo con lo anterior, en pocas palabras, la desinfección logró que los microorganismos presentes en la muestra de agua no puedan reproducirse más, esto debido a un cambio en su composición celular, afectando la replicación del ADN, gracias a la capacidad de los rayos ultravioletas generados por la lámpara.

12.5 COMPARATIVA DE ESTÁNDARES DE CALIDAD DE AGUA POTABLE

Una vez terminado el proceso de potabilización, se requirió volver a comparar sus parámetros con el fin de evaluar si el tratamiento optado cumple con los estándares de calidad o en su defecto se requiere de una revisión para que pueda dar una cabalidad del tratamiento, para ello se tabularon los resultados y se valoraron de acuerdo a los sus máximos admisibles, mostrando así los siguiente:

Tabla 12, Comparativa final entre parámetros finales del agua tratada con normativa

Parámetros finales del agua			Resolución 2115 (2007)	EPA (EEUU)	OMS	Valoración
Parámetros	unidad	valor				
Coliformes totales	cm ³	0	0	muestras	0	Cumple
Turbiedad	NTU	2,33	2	0,5-1,0	1	No cumple
pH	Unidades	6,5	6,5-9	6,5-8,5	6,5-8,5	Cumple
Conductividad	uS/cm	125	--	--	--	No especifica
Alcalinidad	mg/L CaCO ₃	22	200	--	--	Cumple
Mercurio	mg/L Hg	0,005	0,001	0,002	0,001	No cumple
Fosforo total	mg/L P	0,13	--	--	--	No especifica
Nitrato + Nitrito	N-NO ₃	0,19	0,1-10	0,1-10	0,1-10	Cumple
ST	mg/L ST	90	--	--	--	No especifica
SST	mg/L SST	23,3	--	--	--	No especifica
SDT	mg/L TDS	66,7	--	500	300	Cumple
Oxígeno Disuelto	mg/l O ₂	7,94	--	--	--	No especifica
Fosfatos	mg/L P-PO ₄	0,08	0,5	--	--	Cumple
Cloruros	mg/L CL	1,82	250	250	250	Cumple
Sulfatos	mg/L SO ₄	0,8	250	250	400	Cumple
Temperatura	°C	17,3	--	--	--	No especifica

Fuente: Realizado por autoría

Como se puede observar, la mayoría de los parámetros cumplen respecto a la normativa colombiana, estadounidense y para la organización mundial de la salud, Sin embargo, la turbiedad y el mercurio no cumplieron ante su concentración, por tal motivo se debe implementar modificaciones en sus procesos experimentales; para que reduzca la turbiedad se debe implementar un filtro lento.



Respecto a la concentración del mercurio se debe reevaluar la dosificación de las nanopartículas, esto con el fin de su completa remoción.

12.6 PRUEBAS DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES MEDIANTE EL INDICE DE CALIDAD DE AGUA

De acuerdo al literal 8.3.2 correspondiente al concepto del índice de calidad del agua, se requiere calcular las siguientes variables:

12.6.1 Cálculo Oxígeno Disuelto

Entendiendo la ecuación expuesta en el literal 8.3.2.1, primeramente, se halla la variable CP , *el cual se emplea tabla* de (Ramalho 2009) de acuerdo con los valores de saturación de oxígeno, dependiendo de la temperatura de la muestra, como en este caso, la temperatura fue de 17,3 °C, entonces se realizó una interpolación para obtener un valor exacto de 9.74 mg/l de O₂, y además con un valor de 7,94 mg/l de O₂, se calculó el porcentaje de saturación.

Tabla 13, Valores de saturación de oxígeno para agua destilada en condiciones normales (1 atm)


Temperatura (°C)	Temperatura (°F)	O ₂ (mg/l)
0	32.0	14.6
5	41.0	12.8
10	50.0	11.3
15	59.0	10.2
20	68.0	9.2
25	77.0	8.4
30	86.0	7.6
35	95.0	7.1
40	104.0	6.6

Fuente: Ramalho (2009)

$$PS_{OD} = \frac{7,94 * 100}{9,74}$$

$$PS_{OD} = 81,52\%$$

Como el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto dio un valor menor al 100%, se procede a calcular I_{OD}

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	<u>IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE DEL RÍO CUJA</u>	ELABORÓ: HAROL MORENO <u>CÓDIGO: 506045</u> JULIAN ROMERO <u>CÓDIGO: 506220</u>
		DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.</u> Director trabajo de Grado

$$I_{OD} = 1 - (1 - 0,01 * PS_{OD})$$

$$I_{OD} = 1 - (1 - 0,01 * 81,52) = 0,815$$

12.6.2 Cálculo Sólidos suspendidos Totales (SST):

De acuerdo al literal 8.3.2.2, el cálculo del SST es la siguiente:

$$SST = 90mg/l - 66,7mg/l = 23,3mg/l$$

El subíndice de calidad para sólidos suspendidos se calcula como sigue:

$$I_{SST} = 1 - (-0,02 + 0,003 * SST)$$

$$I_{SST} = 1 - (-0,02 + 0,003 * 23,3) = 0,9501$$

Si $SST \leq 4,5$, entonces $I_{SST} = 1$

Si $SST \geq 320$, entonces $I_{SST} = 0$

De acuerdo con lo anterior, el $I_{SST} = 1$.

12.6.3 Cálculo de Demanda Química de Oxígeno (DQO):

Respecto este parámetro, su valor es indiferente, esto debido a que este parámetro no se tuvo en cuenta en las mediciones al agua de estudio, por ende $I_{DQO} = 0$

12.6.4 Cálculo de Conductividad eléctrica (C.E.):


Está relacionada con la suma de cationes y aniones determinada en forma química, por ende, refleja la mineralización.

Se determina con la siguiente ecuación:

$$I_{C.E.} = 1 - 10^{(-3,26+1,34*\text{Log}_{10}C.E.)}$$

$$I_{C.E.} = 1 - 10^{(-3,26+1,34*\text{Log}_{10}125)}$$

$$I_{C.E.} = 0,6453$$

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	<u>IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE</u> <u>ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA</u> <u>LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE</u> <u>DEL RÍO CUJA</u>	ELABORÓ: HAROL MORENO <u>CÓDIGO: 506045</u> JULIAN ROMERO <u>CÓDIGO: 506220</u>
		DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.</u> Director trabajo de Grado

12.6.5 Cálculo de pH

Mide la acidez, es decir, los valores extremos que pueden afectar la flora y fauna que se encuentran en los cuerpos de agua.

Para hallar el indicador de pH se tiene que tener en cuenta las siguientes condiciones:

Si $pH < 4$, entonces $I_{pH} = 0,1$

Si $4 \leq pH \leq 7$, entonces $I_{pH} = 0,02628419 * e^{pH*0,520025}$

Si $7 \leq pH \leq 8$, entonces $I_{pH} = 1$

Si $8 \leq pH \leq 11$, entonces $I_{pH} = 1 * e^{[(pH-8)*-5187742]}$

Si $pH > 11$, entonces $I_{pH} = 0,1$

Teniendo en cuenta las condiciones, y que la muestra del agua tratada, termino con un pH de 6,5, por tal razón se procede a realizar el respectivo calculo.

$$I_{pH} = 0,02628419 * e^{pH*0,520025}$$

$$I_{pH} = 0,02628419 * e^{6,5*0,520025}$$

$$I_{pH} = 0,77211$$

Paso a seguir es registrar el indicador en la formula del $ICA_{promedio_{njt}}$, a continuación, se observa de forma resumida el valor de cada índice con su ponderación, en la tabla 14

Tabla 14, Variables y ponderaciones para el caso de 5 variables

Variables y ponderaciones para el caso de 5 variables

Parametros	valor	UND	Ponderacion (w)	I
Oxigeno disuelto	81,52	%sat	0,1	0,815
SST	23,3	mg/l	0,2	1
DQO	0	mg/l	0,1	0
Conductividad	125	(uS/cm)	0,3	0,645
pH	6,5	UND pH	0,3	0,772

Fuente: Realizado por autoría

$$ICA \text{ promedio}_{njt} = \frac{0,815 * 0,10 + 1 * 0,20 + 0 * 0,10 + 0,645 * 0,30 + 0,77211 * 0,30}{1}$$

$$ICA \text{ promedio}_{njt} = 0,71$$

Respecto al resultado del indicador de calidad que se obtenga, puede ser clasificado en diferentes categorías, por ende, se hace una calificación del agua con un color como señal de alerta. En la tabla 15 que se presenta a continuación, se registra la relación entre valores y calificación:


Tabla 15, Calificación de la calidad del agua según los valores que tome el ICA

Categorías de valores que puede tomar el indicador	Calificación de la calidad del agua	Señal de alerta
0,00 – 0,25	Muy mala	Rojo
0,26 – 0,50	Mala	Naranja
0,51 – 0,70	Regular	Amarillo
0,71 – 0,90	Aceptable	Verde
0,91 – 1,00	Buena	azul

Fuente: IDEAM (2019)

Acorde con los resultados obtenidos, se puede analizar que, la calidad del agua que se estudió se encuentra en un rango de 0,71 y 0,90, por lo que toma una calificación de calidad aceptable, y tiene una señal de alerta verde.

De acuerdo con lo anterior, es importante resaltar que, con respecto a la conductividad, el ICA disminuyo su calificación, ya que se le incorporo una sal, la

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	<u>IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE DEL RÍO CUJA</u>	ELABORÓ: HAROL MORENO <u>CÓDIGO: 506045</u> JULIAN ROMERO <u>CÓDIGO: 506220</u>
		DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.</u> Director trabajo de Grado

cual fue el cloruro de mercurio al líquido durante el proceso de tratado y también respecto a los sólidos suspendidos totales, se analiza que podría haber metales que aún se encuentren presentes en la muestra, y por último, al no haber contado con el parámetro de DQO, hace que el modelo no sea tan efectivo.

12.7 DISEÑO TEÓRICO DEL TRATAMIENTO DE POTABILIZACIÓN

Este apartado representa información adicional a los objetivos sustentados inicialmente, lo cual complementa el trabajo de investigación ante entidades que requieran emplear este diseño, teniendo presente esta aclaración, de elaboró lo siguiente:

12.7.1 Diseño coagulación con mezclador rápido mecánico

Según lo obtenido de manera experimental, la dosis en la que se va a interactuar en este tratamiento es de 80 ml, el tipo de coagulante es el correspondiente a Sulfato de aluminio tipo B, de acuerdo a ello los parámetros iniciales necesarios para el cálculo del diseño de la coagulación son:

- Temperatura 18,2°C
- Viscosidad dinámica: 1,054 x10⁻³ Kg/m.s
- Densidad: 998,68 Kg/m³
- Caudal: 0,114 m³/s

El caudal se definió por el caudal máximo de diseño que maneja la planta central de Emserfusa E.S.P

Por otro lado, para hallar el tiempo de retención y el gradiente de velocidad se tiene presente las ecuaciones de Letterman

$$GTC^{1.46} = 5900000$$

Luego se despeja GT

$$GT = \frac{5900000}{80 \text{ ml}^{1.46}} = 9825$$

Seguido a ello se despeja el gradiente de velocidad dividiendo el previo valor con el tiempo expresado en segundos, cabe aclarar que el rango para la coagulación es entre 15 segundos a 1 min, entendiéndose esto se escogieron 15 segundos ante su operación

$$G = \frac{9825}{15 \text{ s}} = 655,01 \text{ s}^{-1}$$

Para poder verificar si el gradiente cumple con la normativa se requiere de observar la siguiente tabla:


 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	<u>IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE DEL RÍO CUJA</u>	ELABORÓ: HAROL MORENO <u>CÓDIGO: 506045</u> JULIAN ROMERO <u>CÓDIGO: 506220</u>
		DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.</u> Director trabajo de Grado

Tabla 16, Normativa para mezcladores mecánicos rápidos

Criterios de diseño para mezcladores rapidos		
Criterio	Tiempo de retencion (s)	Gradiente de velocidad (s ⁻¹)
Awwa	20	1000
	30	900
	40	790
	>40	700
Hudson	<	Muy alto
Insfopal	10-90	
RAS 2000	≤ 60	500 - 2000

*Recomendados para mezcladores mecánicos

Fuente: Tomado del texto purificación del agua de María Paulina Villegas (2015)

Ahora, comprendiendo que la normativa colombiana está regida por la RAS 2000, es de saber que el valor determinado está dentro de lo permitido.

Una vez hallado estas variables se determinan las dimensiones del mezclador mecánico rápido:

- Volumen:

$$V = Q * t = 0,114 \left(\frac{m^3}{s} \right) * 15s = 1,710 m^3$$

- Diámetro

$$D = \left(\frac{4V}{\pi} \right)^{\frac{1}{3}} = \left(\frac{4 * 1,710m^3}{\pi} \right)^{\frac{1}{3}} = 1,30 m$$

- Diámetro del impulsor

$$d_i = \left(\frac{D}{3} \right) = \left(\frac{1,30 m}{3} \right) = 0,43 m$$

- Altura del impulsor sobre el fondo

$$W = d = 0,09 m$$



- Ancho de las paletas

$$W = \frac{d_i}{5} = \frac{0.43 \text{ m}}{5} = 0.086 \text{ m}$$

- Longitud de la paleta del impulsor

$$r = \frac{d_i}{4} = \frac{0,43\text{m}}{4} = 0,11 \text{ m}$$

- Altura del fluido

$$H = D = 1,30 \text{ m}$$

- Ancho de las pantallas

$$e = \frac{D}{10} = \frac{1,30\text{m}}{10} = 0,13 \text{ m}$$

- Diámetro del disco central

$$s = \frac{D}{4} = \frac{1,30 \text{ m}}{4} = 0,32 \text{ m}$$

- Potencia requerida

$$P = G^2 * \mu * V = (655,01)^2 * \left(1,088 \times 10^{-6} \left(\frac{\text{Ns}}{\text{m}^2}\right)\right) * (1,71 \text{ m}^3) = 835.6 \text{ W}$$

- Número de paletas

Se implementaron 2 paletas planas

- Numero de pantallas

La cantidad de pantallas que se instalaron en el coagulador fueron 4

Una vez tenido todas las dimensiones del mezclador rápido, se elabora una vista en perfil del mismo.


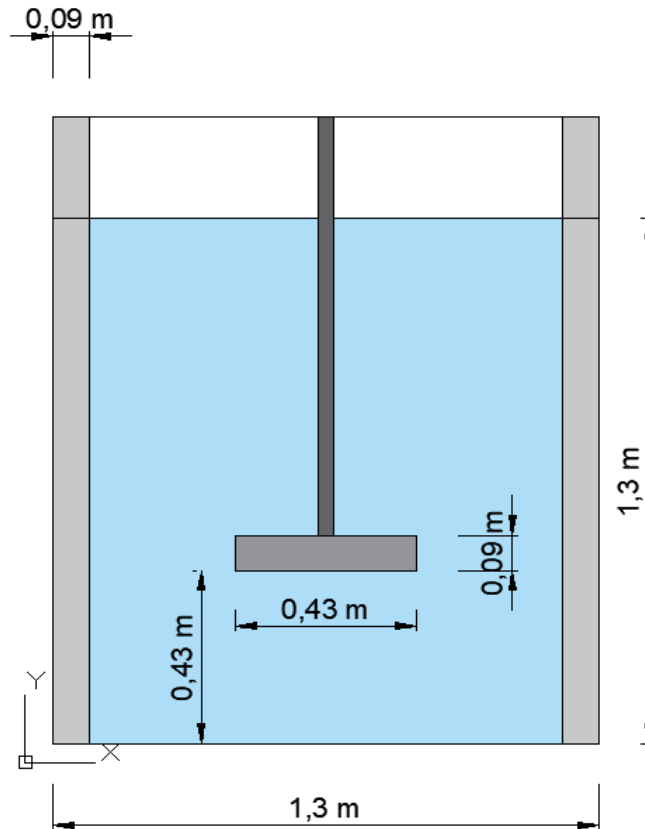
 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	<u>IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE DEL RÍO CUJA</u>	ELABORÓ: HAROL MORENO <u>CÓDIGO: 506045</u> JULIAN ROMERO <u>CÓDIGO: 506220</u>
		DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.</u> Director trabajo de Grado

Fig. No 40, Esquema de Mezclador mecánico rápido



Fuente: Realizado por Autoría

12.7.2 Diseño floculación mezclador mecánico lento

Para poder realizar el diseño del floculador es importante aclarar que el mezclador lento es de eje horizontal. Asimismo, se consultó el literal C.5.5.2.5 de la RAS 2000 Titulo C el cual se hace alusión al número mínimo de floculadores que deben estar ejecutando dentro de los tratamientos primarios aclarando así una cantidad de dos, por esta razón se definió un sistema en paralelo de manera que se reduzca la cantidad caudal a tratar y por ende optimizar de una mejor manera las dimensiones del floculador.

Luego de dicha aclaración, se procedió a dividir el caudal de diseño de la siguiente forma:

$$Caudal = 0,114 \text{ m}^3/\text{s}$$



$$\begin{aligned} \text{Numero de floculadores} &= 2 \\ \text{Caudal del floculador} &= \frac{0,114\text{m}^3/\text{s}}{2} = 0,0570\text{m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Paso seguido, se proponen las siguientes dimensiones e información tanto las paletas como para el floculador:

Dimensiones del Floculador

- Ancho (A) = 4,5 m
- Largo (L) = 4,5 m
- Profundidad (P) = 6 m

Para estimar el dimensionamiento de las paletas y su cantidad, es necesario que el cálculo de su área este dentro del 15 y 20% del área del floculador, esto es basado de la norma RAS 2000 Titulo C.

- Área de paletas al 15%
 $A_{paletas} = (4,5\text{m} * 4,5\text{m}) * 0,15 = 3,04 \text{ m}^2$
- Área de paletas al 20%
 $A_{paletas} = (4,5\text{m} * 4,5\text{m}) * 0,20 = 4,05 \text{ m}^2$

Luego de conocer dicho rango se tuvieron presente los parámetros de diseño que propone y recomienda la misma norma con el propósito de obtener un mejor diseño y por ende tener una mayor eficiencia a la hora de realizar el proceso.

Tabla 17, Normativa para mezclador mecánico lento

Datos NORMA RAS 2000 Titulo C - Parámetros de diseño		
Descripción del sistema	Giratorios	
Proceso	Floculador eje horizontal	
Tiempo retención	20 - 40	min
Gradiente de velocidad	15 - 75	s ⁻¹
Distancia a muros, piso y superficie	0,15 - 0,30	m
Áreas paletas	15 - 20 % al área transversal	m ²
Áreas paletas 15%	3,04	m ²
Áreas paletas 20%	4,05	m ²
Velocidad tangencial (paletas)	0,30 - 3	m/s
Distancia entre agitadores en sus extremos	> 0.6	m
Distancia entre paletas	0,15 - 0,30	m

Fuente: Realizado por autoría



Ya teniendo los parámetros de diseño se esquematizará el floculador:

Fig. No 41, Despiece de floculador parte 1

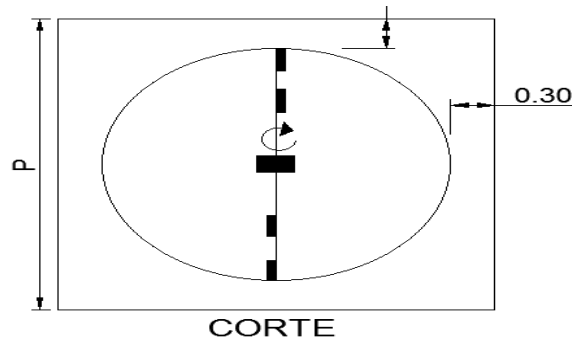
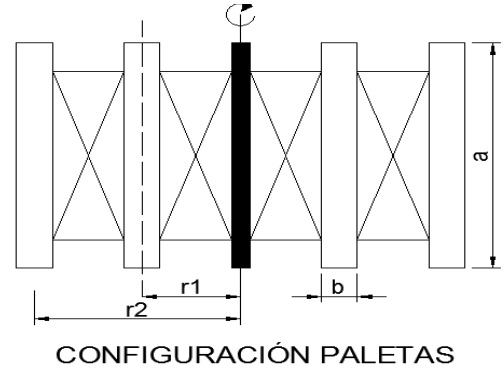


Fig. No 42, Despiece de floculador parte 2



Fuente: Realizado por Autoría

Información de las paletas

- Ancho (b) = 1m
- Largo (a) = 1,7m
- Radio (r1) = 0.50m
- No. de paletas = 2
- No. de paletas eje = 1
- Velocidad angular= 15 rpm
- Velocidad tangencial (radio de paleta 1)

$$v_1 = 0,75 * 2\pi * r1 * \frac{V_{angular}}{60}$$
$$v_1 = 0,75 * 2\pi * 0,50m * \frac{15 rpm}{60} = 0,59m/s$$

De acuerdo a la información previa se verifica el área de las paletas respecto al rango permitido

$$A_p = 1 m * 1,7m * 2 = 3,40 m^2$$

Conocida ya esta área se afirma que está bajo normativa.



Por otra parte, el proceso se realizó con una temperatura de 18°C, de acuerdo a esto se logró obtener viscosidad dinámica y densidad.

- Viscosidad Dinámica = $1,054 * 10^{-3} \left(\frac{Ns}{m^2}\right)$

- Densidad = $998,68 \left(\frac{Kg}{m^3}\right)$

- Volumen

$$Volumen = 4,5m * 4,5m * 6m = 121,5 m^3$$

- Cd

$$Cd = \frac{Longitud\ paleta\ (a)}{Ancho\ paleta\ (b)} = \frac{1,7\ m}{1\ m} = 1,70$$

De acuerdo con la Tabla 18, el valor de Cd no se encuentra dentro de los datos de interpolación, por este motivo se realizó una interpolación para buscar el valor correcto.

Tabla 18, Tabla de interpolación

Tabla para interpolar	
Y	X
CD	Longitud paleta/Ancho paleta
1,16	1
1,2	5
1,5	20
1,9	Infinito

Fuente: Realizado por Autoría

De acuerdo a la tabla de interpolación, se observa que la relación longitud paleta/ancho paleta está entre el rango entre 1 y 5, presentando así un Cd de 1,167

Ahora se procede a hallar el gradiente de velocidad y el tiempo de retención

$$Gradiente\ de\ Velocidad = \sqrt{\frac{Cd * Ap * \rho * (v_1^2 + v_2^2)}{2 * n * Vol * \mu}}$$

$$Gradiente\ de\ Velocidad = \sqrt{\frac{1,9 * 3,40\ m^2 * \frac{998,68\ Kg}{m^3} * \left(0,59\ \left(\frac{m}{s}\right)\right)^2}{2 * 1 * 121,5\ m^3 * 1,054 * 10^{-3} \left(\frac{Ns}{m^2}\right)}} = 56,23\ s^{-1}$$

$$Tiempo\ de\ retención = \frac{volumen}{Caudal\ de\ diseño} = \frac{121,5\ m^3}{0,0570\ m^3/s} = 2132\ s = 36\ min$$

Ya teniendo todos los requisitos para el diseño del floculador, se determina que por medio de la normativa (Tabla 10) cumple a cabalidad cada parámetro exigido.



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE
ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA
LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE
DEL RÍO CUJA

ELABORÓ:
HAROL MORENO CÓDIGO: 506045
JULIAN ROMERO CÓDIGO: 506220

DIRECTOR:
PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.
Director trabajo de Grado

Por otro lado, se emprende en realizar los planos del floculador con sus respectivas dimensiones

Fig. No 43, Vista de corte

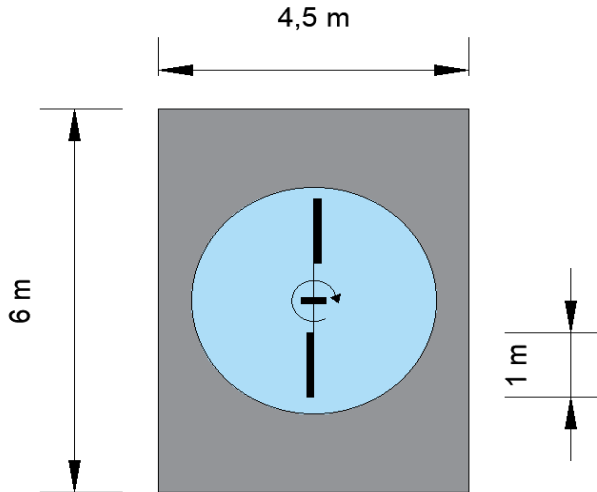
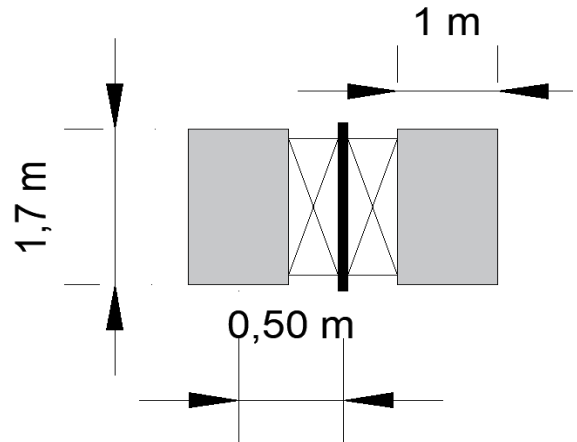


Fig. No 44, Plano detalle



Fuente: Realizado por Autoría

12.7.3 Diseño sedimentación primaria tipo II

Para el presente diseño se tuvo como referencia un laboratorio de un trabajo de grado (Orduz y Portilla 2017), el cual se diseñaron unas curvas de isoconcentración, con una turbiedad similar a la trabajada en el presente trabajo.

El agua es un fluido que está variando sus propiedades día a día, entonces se procede a tomar las propiedades fisicoquímicas que están reflejadas en la tabla 5

La principal variable a considerar es la turbiedad, a lo que se determinó el comportamiento del coagulante usado, teniendo como tiempo máximo 120 minutos y una profundidad máxima de 1,75 metros, como se observa en la siguiente tabla 19



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE
ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA
LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE
DEL RÍO CUJA

ELABORÓ:
HAROL MORENO CÓDIGO: 506045
JULIAN ROMERO CÓDIGO: 506220

DIRECTOR:
PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.
Director trabajo de Grado

Tabla 19, Turbiedad para diferentes tiempos y profundidades

tmin / h (m)	Turbiedad (NTU)						
	0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75
0	25,96	25,96	25,96	25,96	25,96	25,96	25,96
5	25,3	28,8	24,2	23,7	25,8	27,7	26,3
10	24,3	24,1	24,3	23,5	25,1	25,3	24,9
20	22,8	23	24,3	24,6	24	24,5	24,2
30	18,6	22	24,9	24,2	28	24,5	22
40	16,4	21,2	22,4	23,4	27,1	25,5	25,7
50	12,8	18,5	20,7	24,7	25,5	24,1	24,1
60	10	15,5	18,1	20	18	21,7	24,9
70	8,25	13	14,2	16,4	17,1	20,9	20,4
80	8,18	11,8	16,2	14,5	16,4	16,5	17,3
90		10,2	11,2	13,3	13,6	15,7	14,6
100		9,97	11,3	11,4	12,8	14,4	13,3
110		8,43	9,28	13	11,6	14	13,6
120		7,62	8,61	10,2	10,7	10,6	11,4

Fuente: Modificado laboratorio de Orduz Oscar, Portilla

Finalizada la medición que se hizo de la turbiedad ante diferentes tiempos y diferentes profundidades, se determina qué porcentaje se removió con ayuda del coagulante, es decir el sulfato de aluminio tipo B en el agua sintética trabajada.

Tabla 20, Porcentaje de remoción

t min/ h(m)	% remoción						
	0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75
0							
5	2,0		3,0	4,0			
10	5,0	6,0	5,0	4,0	1,0	0,0	
20	11,0	11,0	5,0	6,0	0,0	2,0	3,0
30	28,0	14,0	6,0	8,0	1,0	5,0	3,0
40	36,0	18,0	13,0	9,0	2,0	5,0	6,0
50	50,0	28,0	19,0	9,0	11,0	6,0	6,0
60	61,0	40,0	30,0	22,0	22,0	16,0	14,0
70	68,0	49,0	37,0	36,0	30,0	19,0	21,0
80	80,0	54,0	45,0	44,0	36,0	36,0	33,0
90		60,0	56,0	48,0	47,0	39,0	43,0
100		61,0	56,0	49,0	50,0	44,0	47,0
110		67,0	64,0	56,0	55,0	46,0	48,0
120		70,0	66,0	60,0	58,0	59,0	56,0



Fuente: laboratorio de Orduz Oscar, Portilla Jessica, 2017

Ya obtenidos los valores de porcentaje de remoción que hizo el coagulante, se tiene la curva de isoconcentración (Anexo I) con el fin de determinar el porcentaje de remoción en determinado tiempo y altura.

Respecto a ello, se pudo observar que el mayor porcentaje de remoción obtenido en este ensayo fue de 80%, con una profundidad de 0,25m y un tiempo de 80 minutos.

Como se presenta un caudal tan grande, el cual es 114 L/s ($0,114 m^3/s$), se decidió diseñar 3 sedimentadores tipo II en paralelo, para que así, el sedimentador no quede sobredimensionado. A continuación, se presenta los cálculos de los porcentajes de remoción:

$$Q = \frac{0,114 m^3/s}{3 \text{ sedimentadores}} = 0,038m^3/s$$

$$\Delta R_{45\%} = \left[\frac{37,61cm}{175cm} * \frac{100 + 70}{2} \right] + \left[\frac{40,38cm - 37,61cm}{175cm} * \frac{70 + 65}{2} \right]$$

$$+ \left[\frac{59,32cm - 40,38cm}{175cm} * \frac{65 + 60}{2} \right] + \left[\frac{86,59cm - 59,32cm}{175cm} * \frac{60 + 55}{2} \right]$$

$$+ \left[\frac{91,15cm - 86,59cm}{175cm} * \frac{55 + 50}{2} \right] + \left[\frac{139,19cm - 91,15cm}{175cm} * \frac{50 + 45}{2} \right]$$

$$+ \left[\frac{175cm - 139,19m}{175cm} * \frac{45 + 45}{2} \right]$$

$$\Delta R_{45\%} = 58,67\%$$

$$\Delta R_{55\%} = \left[\frac{50 cm}{175cm} * \frac{100 + 70}{2} \right] + \left[\frac{100cm - 50cm}{175cm} * \frac{70 + 60}{2} \right]$$

$$+ \left[\frac{175cm - 100cm}{175cm} * \frac{60 + 55}{2} \right]$$

$$\Delta R_{55\%} = 67,5\%$$

Teniendo estos porcentajes de remoción, y la proyección de cada uno, determinando el tiempo de remoción, se procede a determinar el cálculo del tiempo que tendrá en remover el 65 %, debido a que fue el porcentaje escogido con el fin de remover las partículas disueltas suspendidas, y al mismo tiempo determinar la velocidad del mismo, en la siguiente tabla se presenta el tiempo y la velocidad correspondientes para estos porcentajes.


 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	<u>IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE DEL RÍO CUJA</u>	ELABORÓ: HAROL MORENO <u>CÓDIGO: 506045</u> JULIAN ROMERO <u>CÓDIGO: 506220</u>
		DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.</u> Director trabajo de Grado

Tabla 21, Velocidad de retención

<u>t (min)</u>	<u>%R</u>	<u>V (m/s)</u>
95	58,67	3,07,E-04
111,48	65	2,62,E-04
118	67,5	2,47,E-04

Fuente: Realizado por autoría

Para el cálculo de los valores del tiempo (t), se hizo una interpolación entre los porcentajes obtenidos y la velocidad del sedimentador (V), teniendo en cuenta la altura experimental (h), y se hizo de la siguiente manera:

$$V = \frac{h}{t} = \frac{1,75m}{111,48min} * \frac{1min}{60s} = 2,62 * 10^{-4} m/s$$

Para el volumen, el área, el diámetro y la altura del sedimentador se realizó como se muestra a continuación:

$$Vol = Q * t = 0,038 \frac{m^3}{s} * 111,48 min * \frac{60 s}{1 min} = 254,17 m^3$$

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{0,038m^3}{2,62x10^{-4} \frac{m}{s}} = 145 m^2$$

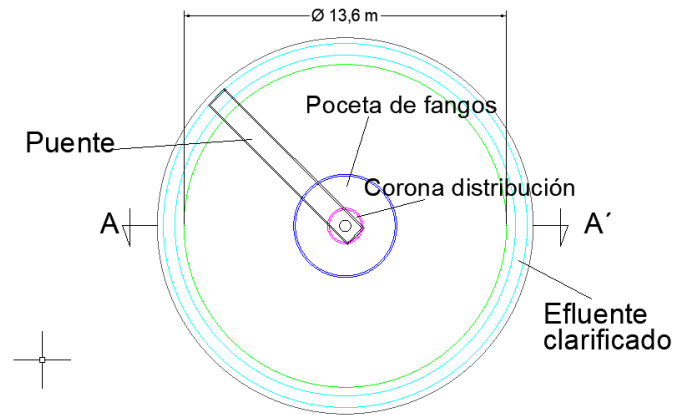
$$D = \sqrt{\frac{A}{\pi}} * 2 = \sqrt{\frac{145 m^2}{\pi}} * 2 = 13,6 m$$

$$h = \frac{Vol}{A} = \frac{254,17 m^3}{145 m^2} = 1,75m$$

Conocidas ya las dimensiones del sedimentador, se procede a implementar una vista preliminar:

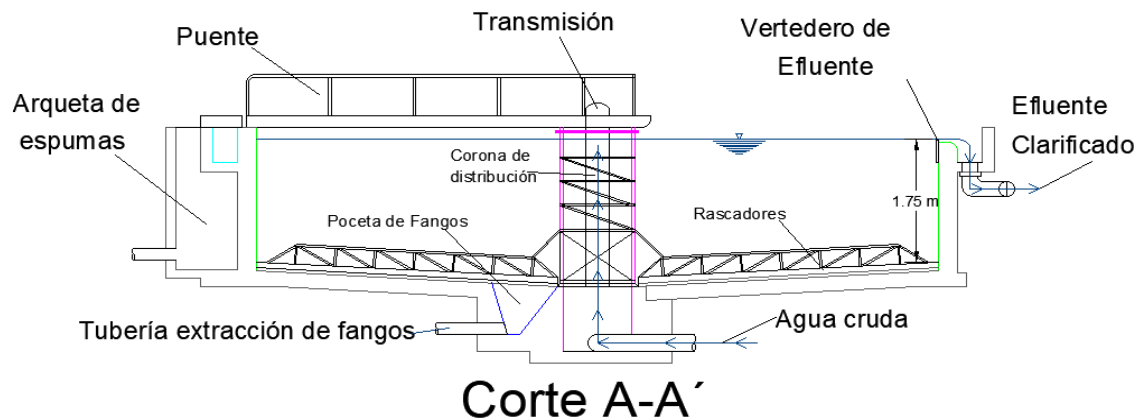


Fig. No 45, Vista en planta de sedimentador primario



Fuente: Modificado de diseño realizado por Reyes, J (2019)

Fig. No 46, Vista en planta de sedimentador primario



Fuente: Modificado de diseño realizado por Reyes, J (2019)

12.7.4 Diseño de reactor tipo Batch

Para poder incorporar las nanopartículas magnéticas a la muestra dentro del tratamiento de potabilización de manera que se pueda remover los metales pesados (mercurio Hg) se requirió diseñar un reactor batch tomando como referencia al



trabajo de grado “ Diseño, Construcción y operación de un Reactor Batch para Saponificar Acetato de Etilo” (Nuñez y Udeos 2015), que permitiera unificar dicho contenido y así separarlos más adelante por fuentes magnéticas externas: dado que este proceso sea culminado, se requirió calcular lo siguiente:

12.7.4.1 Volumen geométrico útil del reactor

Se tuvieron presente los 114 L/s de caudal máximo de diseño que maneja la planta central de Emserfusa E.S.P con el fin de hallar la el volumen de agua a tratar. Además de esto se tomó un periodo de 30 minutos para unificar las nanopartículas con la muestra; entendiéndose esto se obtuvo un volumen de:

$$Volumen = Q * t = 114 \left(\frac{L}{s} \right) * 30 \text{ minutos} * \frac{60 \text{ segundos}}{1 \text{ minuto}} = 205200 L \approx 205,2 m^3$$

Conociendo esto, se procede a hallar el diámetro del reactor mediante la ecuación del volumen del cilindro puesto que dicho reactor se caracteriza por esta forma. Aclarando esto, se da lo siguiente:

$$V_{util} = \frac{\pi * D^2 * H}{4}$$

Donde D es el diámetro del reactor y el h es la altura del reactor, este último es equivalente a 1.2 veces el diámetro del reactor, por este motivo se sustituye y se obtiene:

$$4 * V_{util} = \pi * D^2 * 1.2D$$


Ahora se sustituye el volumen hallado anteriormente en la ecuación;

$$4 * 205,2 m^3 = \pi * D^2 * 1.2D$$

$$820,8 m^3 = 1.2\pi D^3$$

Finalmente se despeja el diámetro y se halla el valor correspondiente;

$$D^3 = \frac{820,8 m^3}{1.2\pi}$$

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	<u>IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE DEL RÍO CUJA</u>	ELABORÓ: HAROL MORENO <u>CÓDIGO: 506045</u> JULIAN ROMERO <u>CÓDIGO: 506220</u>
		DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.</u> Director trabajo de Grado

$$D = \sqrt[3]{\frac{820,8 \text{ m}^3}{1.2\pi}} = 6,015 \text{ m}$$

Según lo calculado, el diámetro para el diseño del reactor Batch es de 6,015 m, sin embargo, por razones constructivas se aproxima a 6 m

Posterior a ello, se calcula la altura del cilindro de la siguiente forma:

$$H_{util} = 1.2D$$

$$H_{util} = 1.2 * (6 \text{ m})$$

$$H_{util} = 7.2 \text{ m}$$

Observando dicho resultado y con el objetivo de obtener una mejor precisión ante los cálculos de volumen final del cilindro del reactor, se redondea el valor de la altura a 7.5m

$$V_{util} = \frac{\pi * (6 \text{ m})^2 * (7.5 \text{ m})}{4}$$

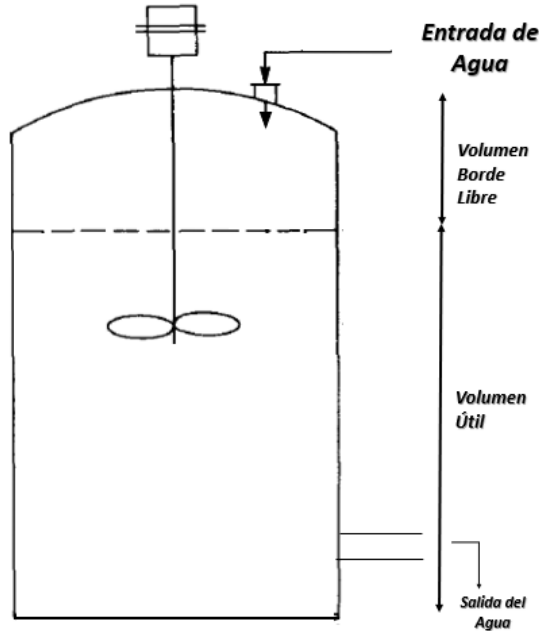
$$V_{util} = 212.05 \text{ m}^3$$

12.7.4.2 Volumen geométrico borde libre del reactor.

Como el tratamiento de potabilización requiere de completa asepsia ante sus procedimientos, el reactor Batch no debe exponer la superficie del agua ante la intemperie, esto debido a la presencia de factores externos que altere la composición de las propiedades tratadas hasta ese punto, tales como la polución producido por los motores de maquinaria, lluvia acida y vectores contaminantes, es por ello que se planea incorporar un borde libre al reactor esto con fines de factor de seguridad en dado caso que se presente alguna contingencia dentro del sistema de tratamiento, diseñando la parte superior de este en forma de casquete esférico, como se evidencia en la siguiente figura:



Fig. No 47, Esquema de reactor Batch



Fuente: Modificado de <http://www0.unsl.edu.ar/~organica/archivos/Documento%20didactico.pdf>

Observado lo ilustrado se diseña la altura y el volumen del borde libre además del casquete esférico como se presenta a continuación:

$$H_{libre} = \frac{H_{util}}{5} = \frac{7.2m}{5} = 1.44 m \approx 1.45m$$

$$V_{libre} = \frac{\pi * (6 m)^2 * 1.45m}{4}$$

$$V_{libre} = 40.99 m^3$$

Luego;

$$V_{casquete\ esférico} = \left(\frac{1}{3}\right) * \pi * Hc * \left(3 * \frac{D}{2} - hc\right)$$

Donde Hc es la altura del casquete cilíndrico, para el reactor se decide emplear 0.50 m y D es el diámetro del cilindro;



$$V_{\text{casquete esférico}} = \left(\frac{1}{3}\right) * \pi * (0.50m)^2 * \left(3 * \frac{6m}{2} - 0.50m\right)$$

$$V_{\text{casquete esférico}} = 2.22 m^3$$

Una vez obtenido todos los volúmenes geométricos del reactor se halla su valor definitivo, así:

$$V_{\text{Batch}} = V_{\text{Casquete esférico}} + V_{\text{util}} + V_{\text{libre}}$$

$$V_{\text{Batch}} = 2.22 m^3 + 212.05 m^3 + 40.99 m^3$$

$$V_{\text{Batch}} = 255.26 m^3$$

12.7.4.3 Sistema de agitación

El sistema de agitación se tiene presente que la longitud del eje de agitación es equivalente a la altura útil del reactor, sin embargo, para que dicho eje no quede al mismo nivel que la base del reactor, se debe estimar una altura h del mismo, el cual se diseña así:

$$h = \frac{H_{\text{util}}}{6} = \frac{7,2m}{6} = 1.20m$$

Comprendiendo dicho valor, la altura resultante del eje de agitación es correspondiente a 6 m, este es un resultado de la diferencia entre el H_{util} con la altura h del eje, además de esto el diámetro del mismo tendrá un valor de 10 cm.

Por otro lado, para hallar las dimensiones de la paleta se someterán las ecuaciones del diseño de un mezclador mecánico rápido, como se evidencia a continuación:

- Diámetro del impulsor

$$d = \frac{D}{3}$$

- Diámetro del disco Central

$$S = \frac{D}{4}$$

- Ancho de la paleta del impulsor:

$$W = \frac{d}{5}$$



- Longitud de la paleta del impulsor

$$r = \frac{d}{4}$$

- Altura entre paletas

$$H_p = \frac{H_{util}}{2}$$

- Ancho de pantallas

$$e = \frac{d}{10}$$

Teniendo en cuenta eso, los resultados de cada característica son:

- Diámetro del impulsor

$$d = \frac{6m}{3} = 2m$$

- Diámetro del disco Central

$$S = \frac{6m}{4} = 1.5m$$

- Ancho de la paleta del impulsor:

$$W = \frac{2}{5} = 0,40 \approx 0,5 m$$

- Longitud de la paleta del impulsor

$$r = \frac{2}{4} = 0,5m$$

- Altura entre paletas

$$H_p = \frac{7.2m}{2} = 3.6m$$

- Ancho de pantallas

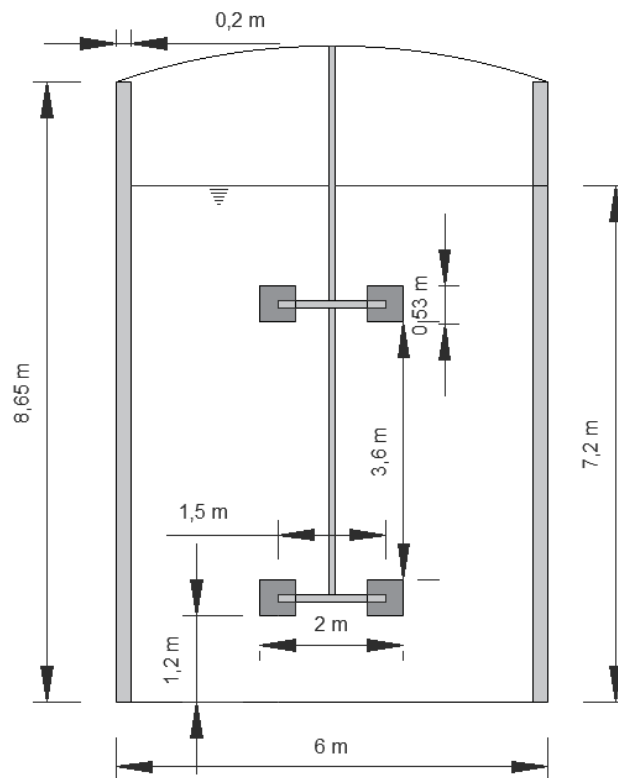
$$e = \frac{2}{10} = 0,20 m$$



- Numero de pantallas: 4 diseñadas desde la base del reactor hasta la base la base del casquete esférico
- Las paleras son planas y por cada disco existe 2 paletas

De acuerdo a dichos resultados, el diseño del reactor es representado de la siguiente forma:

Fig. No 48, Vista en perfil del reactor Batch



Fuente: Realizado por autores

12.7.4.4 Potencia para accionar el eje

Para poder ejecutar el reactor batch dentro del sistema de tratamiento de potabilización es necesario conocer cuanta potencia requieren los impulsores, es por ello que a continuación se calcula dicha variable:

$$P = K\rho N^3 d^5$$



Donde P es la potencia requerida en W , K es una constante el cual depende del tipo de impulsor (Tabla No.16), ρ es la densidad del agua en Kg/m^3 , como la temperatura después del proceso de CFS fue aproximadamente de $18^\circ C$ (Ver tabla 7), la densidad del agua es de $998,68 \text{ Kg}/m^3$, N es la velocidad del impulsor en rev/s , en este caso, la velocidad que se empleó en laboratorios para relación de metales fue de 100 rpm al equivalente a $1,67 \text{ rev}/s$ y d es el diámetro del impulsor en m .

Tabla 22, Constante del impulsor

Valores de K para impulsores en tanques con baffles, régimen turbulento (5)

IMPULSOR	K
Hélice, <i>pitch</i> cuadrado, 3 aletas*	0,32
Hélice <i>pitch</i> = 2, 3 aletas	1,00
Turbina, 6 aletas planas	6,30
Turbina, 6 aletas curvas	4,80
Turbina ventilador, 6 aletas	1,65
Turbina 6 aletas punta de flecha	4,00
Turbina paletas planas, 2 paletas	1,70
Turbina de impulsor encerrado, 6 aletas curvas	1,08
Turbina de impulsor encerrado con estator (sin baffles)	1,12

Fuente: Ramalho (2009)


Como ya se había mencionado que el impulsor poseería 2 paletas planas, su constante correspondiente es de 1,70; por otro lado, las otras variables restantes están mencionados en el literal anterior, dicho esto se tiene lo siguiente:

$$P = 1.70 * 998,68 \left(\frac{Kg}{m^3} \right) \left(1,67 \left(\frac{rev}{s} \right) \right)^3 (2 m)^5$$

$$P = 253031,54 W$$

Como se pudo observar, la potencia requerida es de 253031.54 W ; Sin embargo, para poder verificar este valor con la normativa (Tabla 16) es necesario hallar el gradiente hidráulico G cuyas unidades son s^{-1} , lo cual la ecuación esta expresada de la siguiente manera:

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu V}}$$

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	<u>IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE DEL RÍO CUJA</u>	ELABORÓ: HAROL MORENO <u>CÓDIGO: 506045</u> JULIAN ROMERO <u>CÓDIGO: 506220</u>
		DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.</u> Director trabajo de Grado

Donde P es la potencia calculada previamente, μ es la viscosidad dinámica del agua en Kg/m.s equivalente a 0,001054 Kg/m.s y V es el volumen útil del reactor en m³ cuyo valor es de 212,05 m³, entendiéndose se halla la gradiente:

$$G = \sqrt{\frac{253031,54 W}{0,001054 \frac{Kg}{m.s} * 212,05 m^3}}$$

$$G = 1064,015 s^{-1}$$

De acuerdo a ello se verifica dicho valor con la tabla 9, apreciando así que para la norma colombiana RAS 2000, el valor obtenido está dentro de los rangos permitidos.

12.7.4.5 Diseño de fuente externa magnética

Para conocer el campo magnético que es necesario con el fin de remover las nanopartículas, se debe hacer el respectivo diseño de un imán donde su dimensionamiento, se hace el uso de la fórmula de (Lim, Yeap y Low 2014) que se muestra a continuación:

$$B_x = \frac{B_r}{2} \left[\frac{x + L}{\sqrt{(L + x)^2 + R^2}} - \frac{x}{\sqrt{x^2 + R^2}} \right]$$

Dónde:

- R: Radio del cilindro (imán)
- L: Longitud del cilindro (imán)
- Br: Remanencia del material magnético: 1,45 Tesla
- X: Distancia de separación
- Bx: Campo magnético

Se tiene que el campo magnético debe ser aproximadamente 0,0028 Tesla (Lim, Yeap y Low 2014), pero se decide de acuerdo a lo que se realizó en el laboratorio, duplicar el campo magnético, a lo que su valor es correspondiente a 0,00567 Tesla, ya que es necesario uno mayor, además se hizo el cambio de distancia y la altura del reactor batch diseñado previamente, debido a que el imán va ubicado debajo del reactor batch.

Por último, se realizó el dimensionamiento iterando valores, hasta así lograr obtener el campo magnético recomendado.



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE
ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA
LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE
DEL RÍO CUJA

ELABORÓ:
HAROL MORENO CÓDIGO: 506045
JULIAN ROMERO CÓDIGO: 506220

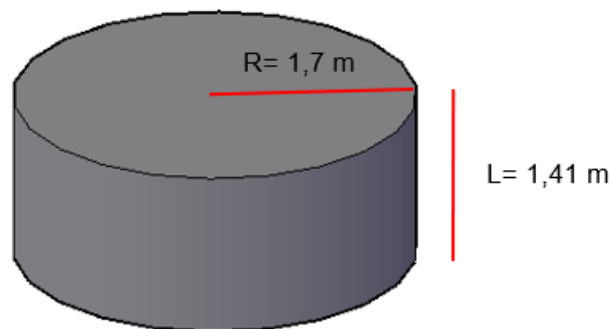
DIRECTOR:
PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.
Director trabajo de Grado

$$B_x = \frac{1,45}{2} \left[\frac{7,2 \text{ m} + 1,41 \text{ m}}{\sqrt{(1,41 \text{ m} + 7,2 \text{ m})^2 + (1,7 \text{ m})^2}} - \frac{7,2 \text{ m}}{\sqrt{(7,2 \text{ m})^2 + (1,7 \text{ m})^2}} \right]$$

$$B_x = 0,00567 \text{ Tesla}$$

De acuerdo con lo anterior, se tiene como resultado que el radio del imán debe ser de 1,7 m y su longitud de 1,41 m.

Fig. No 49, Caracterización de fuente magnética externa



Fuente: Realizado por autores

Sin embargo, debido a sus grandes dimensiones, se recomienda instalar un imán eléctrico con una bobina.

12.7.4.6 Diseño de filtración

Como se pudo observar en el laboratorio (véase literal 12.4.3), el mejor diseño en caso de implementar nanoarcillas es precisamente un filtro lento, para ello se consultó el literal C.7.5.2 de la RAS 2000 con el fin de especificar los criterios de diseño.

12.7.4.6.1 Composición de lecho filtrante

El medio filtrante de estar libre de impurezas (arcilla y de materia orgánica,) no debe contener más del 2% de carbonato de calcio ni magnesio, esto con el fin de que el agua en caso de que contenga una alta concentración de dióxido de carbono se no se valla a presentar cavitación en el filtro (Ministerio de Vivienda 2000).

Para la selección de la granulometría de la arena, se debe pasar por tamices de 0,3 y 1,0 mm de abertura con un volumen mayor a 10,8 m³



12.7.4.6.2 Medio de soporte

El material que debe sostener el lecho filtrante debe ser una grava, cuyas características deben ser redondeadas y duras, tienen que estar libre de impurezas y su peso específico debe ser superior a 2.5.

Por otro lado, se especifica que para el medio de soporte este debe poseer 3 capas, como se menciona en la siguiente tabla:

Tabla 23, Composición de la capa soporte

Especificaciones de la grava soporte

Capa	Tamaño de la grava (mm)	Espesor del medio (m)
1	9 - 10	0.10 - 0.15
2	2 - 9	0.05
3	1 - 1.5 (arena)	0.05

Fuente: Tabla C.7.4 RAS 2000

12.7.4.6.3 Velocidad de filtración

La tasa de filtración debe estar entre 2.4 m³/ (m² día) a 7.2 m³/ (m².día), en el caso del presente tratamiento se elige una velocidad de filtración de 3 m³/ (m² día)

12.7.4.6.4 Dimensiones del reactor

Para saber la altura del lecho se requiere del caudal de diseño (114 L/s), cabe aclarar que según la normativa el número mínimo de filtros que deben estar dentro de la planta es dos, es por ello que por la cantidad de caudal sé que planea trabajar se van a instalar 4 filtros; asimismo, se utilizará la velocidad de filtración, de acuerdo a ello se generó lo siguiente:

$$Q = \frac{114 \left(\frac{L}{s}\right)}{4} * \frac{1 m^3}{1000 L} * \frac{86400 s}{1 día} = 2462,4 \left(\frac{m^3}{día}\right)$$

$$Area = \frac{2462,4 \left(\frac{m^3}{día}\right)}{\frac{3 m^3}{m^2 \cdot día}} = 820,8 m^2$$

Debido a que el reactor será cuadrado, su altura será:

$$Ancho - largo = \sqrt{820,8 m^2} = 28,64 m \approx 28,70 m$$



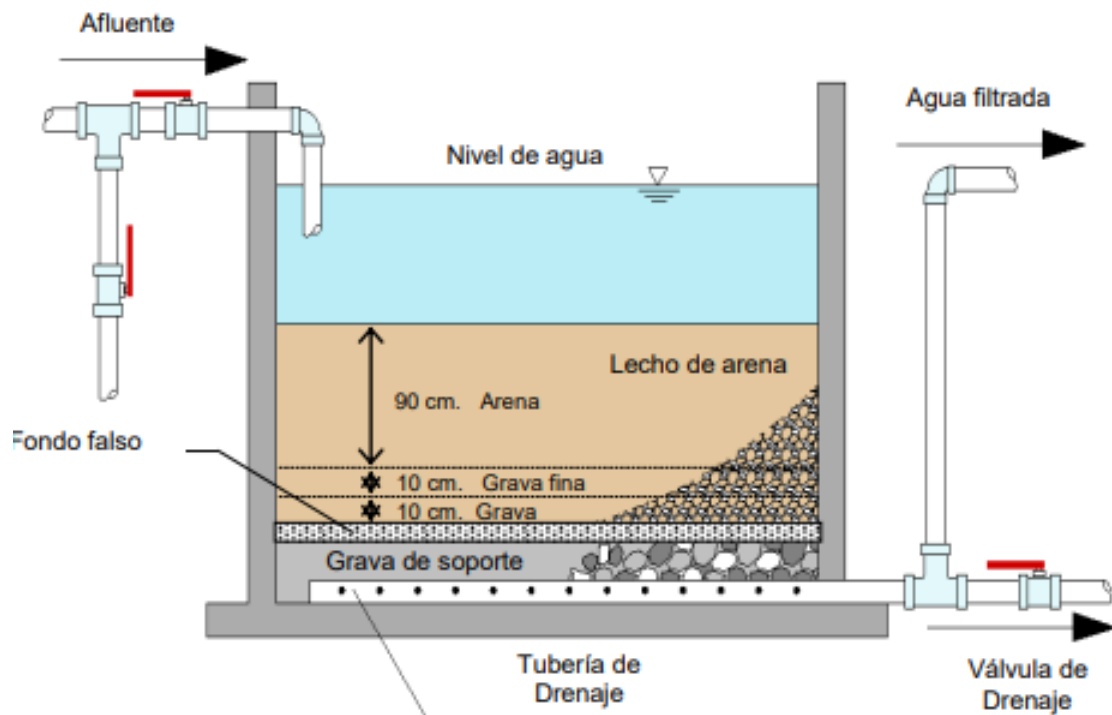
Para establecer la profundidad útil del reactor es de saber que la altura del agua sobre el lecho que estar entre 0,7 m a 1 m, entendiéndose esto en el presente filtro se decidió utilizar la altura máxima debido a la magnitud de agua que se maneja.

Además de esto, el espesor de la capa de arena que se va a suministrar es de 0,90 m, además se suministraran otras dos capas de grava una más fina que la otra generando una altura en cada uno de 0,10m (Centro de Aguas y Saneamiento Ambiental 2008).


Reuniendo toda esta información la altura para el filtro es de 2,10 m

Entendiendo esto, a continuación, se presentará un esquema modelo del filtro lento:

Fig. No 50, Filtración lenta



Fuente: Centro de aguas y almacenamiento (2008)

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	<u>IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE DEL RÍO CUJA</u>	ELABORÓ: HAROL MORENO <u>CÓDIGO: 506045</u> JULIAN ROMERO <u>CÓDIGO: 506220</u>
		DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.</u> Director trabajo de Grado

12.7.4.7 Diseño de desinfección

Para el sistema de desinfección mediante de Radiación UV es necesario diseñar un reactor que pueda tener contacto de manera directa entre los rayos con el agua, sin embargo, debido a que este proceso es una potabilización, el sistema que se debe emplear es un canal cerrado, esto con el fin de garantizar una asepsia de modo tal que no interfiera en el proceso de desinfección puesto que si existe la presencia de partículas suspendidas dentro del agua, este podría interferir en la llegada de los rayos a los microorganismos, creando así una sombra. (Wright y Cairns 2019)

Aclarando esto, los componentes del reactor son:

- Lámparas
- Balastos
- Fundas de cuarzo
- Compartimento del reactor
- Medidores de intensidad UV
- Sensores de caudal
- Mando
- Control electrónico
- Alarmas
- Válvulas de control

Por otro lado, para poder obtener la dosificación óptima del reactor, se debe tener presente el que el objetivo de eliminación es de eliminar E. Coli, es por esto que se recurre de la siguiente tabla con el fin de saber la intensidad de la energía UV necesaria ante esta operación:



Tabla 24, Intensidad de radiación UV para diferentes organismos

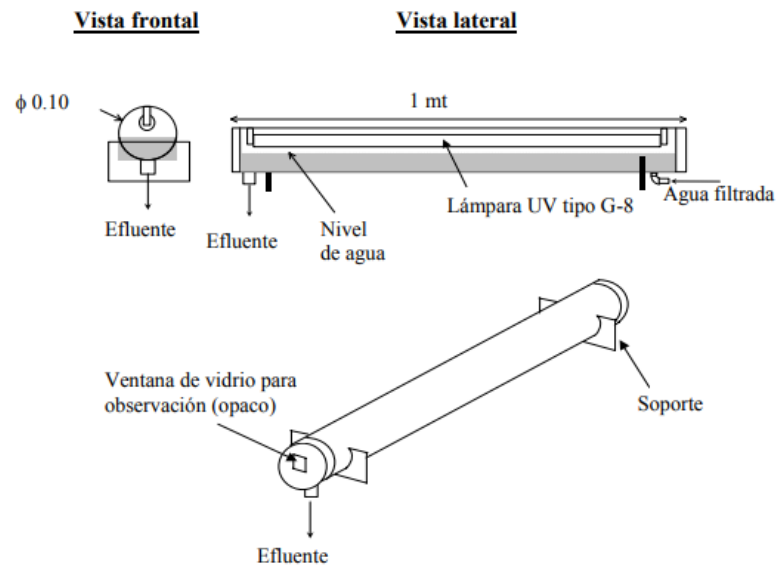
BACTERIAS	ENERGIA $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	OTROS ORGANISMOS	ENERGIA $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
Bacillus anthracis	8.700		
S. enteritidis	7.600		
B. Megatherium sp.(veg)	2.500	LEVADURA	
B. Megatherium sp.(sporas)	5.200		
B. peratyphosus	6.100	Saccharomyces ellipsoideus	13.200
B. subtilis	11.000	Saccharomyces sp.	1.600
B. subtilis spores	22.000	Saccharomyces cerevisiae	13.200
Clostridium tetani	22.000	Levadura para cerveza	660
Corynebacterium diphtheriae	6.500	Levadura para panadería	800
Eberthella typosa	4.100	Levadura para repostería	13.200
Escherichia coli	6.600		
Micrococcus candidus	12.300	ESPORAS	
Mycobacterium tuberculosis	10.000		
Neisseria catarrhalis	8.500	Penicillium roqueforti	26.400
Phytomonas tumefaciens	500	Penicillium expansum	22.000
Proteus vulgaris	6.600	Mucor racemosus A	35.200
Pseudomonas aeruginosa	10.500	Mucor racemosus B	5.200
Pseudomonas fluorescens	6.600	Oospora lactis	1.100
S. typhimurium	15.200		
Salmonella	10.000	VIRUS	
Sarcina lutea	26.400		
Serratia marcescens	6.160	Bacteriophage (E. coli)	6.600
Dysentery bacilli	4.200	Virus de la influenza	6.600
Shigella paradysenteriae	3.400	Virus de la hepatitis	8.000
Spirillum rubrum	6.160	Poliovirus(Poliomyelitis)	1.000
Staphylococcus alous	5.720	Rotavirus	24.000
Staphylococcus aureus	6.600		
Streptococcus hemolyticus	5.500	ALGAS	
Streptococcus lactis	8.800		
Streptococcus viridans	3.800	Chlorella vulgaris	2.000
Vibrio cholerae	6.500		

Fuente: (Bohórquez-Ballén y Pérez Mogollón 2007)

Según lo anterior se requiere de $6.600 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ para eliminarlo del agua, con el objeto de completar la información se requiere de el volumen de contacto de los rayos UV, esto es suministrado por el diseño del reactor, por eso se adaptó el siguiente diseño:



Fig. No 51, Prototipo de reactor UV



Fuente: (Bohórquez-Ballén y Pérez Mogollón 2007)

Conocido esto se procede a hallar el volumen de contacto es;


$$V = \left(\frac{\pi}{4}\right) (\phi^2) * (l) \quad V = \left(\frac{\pi}{4}\right) (0.10 \text{ m})^2 * (1 \text{ m})$$

$$V = \frac{0,00785 \text{ m}^3}{2} \quad 0,0039 \text{ m}^3$$

Definidas estas variables, se calcula la dosificación para el agua a tratar:


$$Dosis = I * \frac{V}{Q} = 6.600 \frac{\mu W}{\text{cm}^2} * \frac{0,0039 \text{ m}^3}{0,114 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}} = Dosis = 225,79 \frac{\mu W s}{\text{cm}^2}$$

El tiempo de residencia es: $t = \frac{0,0039 \text{ m}^3}{0,114 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}} = 0.034 \text{ s}$

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	<u>IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE DEL RÍO CUJA</u>	ELABORÓ: HAROL MORENO <u>CÓDIGO: 506045</u> JULIAN ROMERO <u>CÓDIGO: 506220</u>
		DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.</u> Director trabajo de Grado


13. CONCLUSIONES

- Se implementaron las nanopartículas de arcilla modificadas magnéticamente en procesos de adsorción con el mercurio, lo cual tuvo un efecto positivo respecto a su remoción, garantizando la eficiencia de este material creado, lo cual promueve la implementación de este compuesto en procesos de potabilización de agua.
- Es de gran importancia tener clara la dosificación de arcillas modificadas magnéticamente que se usará, puesto que, al incorporar 100 mg/l del nanomaterial, el mercurio se redujo a 0.005 mg/l. Sin embargo, no alcanzó el rango óptimo para la potabilización.
- Las características fisicoquímicas y biológicas del río Cuja se obtuvieron por medio de diferentes técnicas de laboratorio tales como titulación acido-base, utilización del multímetro y turbidímetro, además de adquirir los servicios que por medio del semillero facilitaron las lecturas de los demás parámetros.
- El nanomaterial se sintetizó aclarando la importancia de cada elemento ante la formación de las características magnéticas de una magnetita, empleando consigo la saturación magnética y difragtograma de cristalografía como modelo base de la magnetita. Asimismo, se utilizaron mecanismo de detalle para conocer la composición química de la nanoarcilla como es el caso de los ensayos DEM y EDS, donde se encontraron concentraciones de hierro, oxígeno silicio y otros elementos residuales.
- Para poder simular el tratamiento de una planta potabilizadora, se realizaron ensayos a escala laboratorio por medio de un agua sintética cuya preparación fue de acuerdo a los datos existentes del río Cuja, en ella se realizaron proceso como test de jarras en la simulación del FCS y absorción ante la unificación de las nanopartículas con el agua sintética, la utilización de una columna de acrílico, estableciendo una filtración y finalmente con la utilización de una lampara UV (desinfección), todos estos procesos se complementaron con sus respectivos diseños.
- Se realizó un proceso semejante al que se encuentra en la planta potabilizadora del municipio de Fusagasugá (EMSERFUSA), la cual es un tratamiento convencional, esto con el fin de que, a la hora de llegar al proceso terciario, es decir la aplicación de las nanopartículas de arcilla modificadas magnéticamente, la muestra del agua tratada tuviera condiciones similares a

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	<u>IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE DEL RÍO CUJA</u>	ELABORÓ: HAROL MORENO <u>CÓDIGO: 506045</u> JULIAN ROMERO <u>CÓDIGO: 506220</u>
		DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.</u> Director trabajo de Grado

la real, obteniendo una comparación más precisa de los resultados, y determinar la calidad del procedimiento elaborado.

- Se optó por realizar una desinfección a través de una lampara que genera radiación ultravioleta, debido a que, este es un proceso que no genera subproductos al entrar en contacto con las distintas sustancias que se encuentren en el agua, como lo puede hacer el cloro, el dióxido de cloro, las cloraminas y el ozono.
- La calidad del agua se verificó por medio de una comparativa de estándares de calidad de agua potable tanto nacional como internacional arrojando un cumplimiento en la mayoría de los parámetros evaluados, como se puede evidenciar en la tabla 24.
- El índice de calidad de agua (ICA), el cual hace constar que el agua preparada tenga condiciones aptas para la ingesta humana, obtuvo un resultado aceptable, lo cual es formidable con el uso que se le quiere dar.
- A la hora de realizar el análisis del ICA, se debe tener en cuenta que, no todos los parámetros de medición tienen la misma ponderación, es decir, no todos son igual de importantes, por lo que hay que darles un correcto peso de acuerdo a lo que se quiera analizar, y también a el parámetro que más pueda influir en el resultado de este modelo de calidad, para este estudio, estas variables fueron la Conductividad y el pH.
- En el momento de la aplicación de las nanopartículas de arcilla modificadas magnéticamente, hubo un gran incremento de la turbiedad en la muestra de agua que se estaba tratando, por lo que, al realizarse la filtración rápida, no alcanzo a eliminar los sólidos suspendidos disueltos en el agua, y esta es una de las razones por las que la turbiedad no cumplió con los estándares de calidad.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	<u>IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE DEL RÍO CUJA</u>	ELABORÓ: HAROL MORENO <u>CÓDIGO: 506045</u> JULIAN ROMERO <u>CÓDIGO: 506220</u>
		DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.</u> Director trabajo de Grado

14. RECOMENDACIONES

- Como se pudo evidenciar en la tabla 24, la cual compara los parámetros que cumplen de acuerdo con los estándares de calidad del agua, que la turbiedad, es una variable muy importante para el proceso de potabilización, debido a que es un factor que refleja el aspecto físico de la muestra, porque en cierta forma es la que indica que tan cristalina está el agua de acuerdo con la presencia de sólidos suspendidos, no cumplió. Es por esta razón que se indica hacer los procedimientos experimentales con el uso de filtración lenta, ya que este proceso regulara con mayor facilidad la turbiedad, puesto que compone de una la relación de vacíos (volumen de vacíos/volumen de sólidos) más bajo, es por ello por lo que tiene una mayor probabilidad de retener mayor porcentaje de partículas, y también contar con lapsos de tiempos mayores, para que el proceso cumpla efectivamente.
- De acuerdo con el incumplimiento del metal mercurio en el agua, se sugiere que para poder lograr su eliminación hasta que cumpla con los estándares, se realice una correcta dosificación de la nanoarcilla modificada magnéticamente.
- Es aconsejable plantear correctamente cada uno de los parámetros que se van a medir y por ende eliminar, desde el principio del procedimiento, esto debido a la falta de información que se presentó al momento de calcular el índice de calidad de aguas superficiales, puesto que faltaron variables que promulgarán una mejor aplicación a este modelo.
- Debido a las dimensiones de gran tamaño de las que se obtuvieron en el diseño del imán, para la aplicación a escala real, lo más recomendable es generar un campo magnético por medio de un electroimán, ya que conseguir un imán de tal magnitud es difícil y además es muy costoso.



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE
ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA
LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE
DEL RÍO CUJA

ELABORÓ:
HAROL MORENO CÓDIGO: 506045
JULIAN ROMERO CÓDIGO: 506220

DIRECTOR:
PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.
Director trabajo de Grado

15. BIBLIOGRAFÍA

- ALICANTE, 2015. Coprecipitación [Coprecipitation / Co-precipitation] (Química). *glosarios@servidor-alicante.com* [en línea], [Consulta: 10 junio 2019]. Disponible en: <https://glosarios.servidor-alicante.com/quimica/coprecipitacion>.
- ALMASRI, D.A., RHADFI, T., ATIEH, M.A., MCKAY, G. y AHZI, S., 2018. High performance hydroxyiron modified montmorillonite nanoclay adsorbent for arsenite removal. *Chemical Engineering Journal* [en línea], vol. 335, pp. 1-12. [Consulta: 24 marzo 2019]. ISSN 1385-8947. DOI 10.1016/J.CEJ.2017.10.031. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894717317370>.
- BAILEY, E.S., CASANOVA, L.M., SIMMONS, O.D. y SOBSEY, M.D., 2018. Tertiary treatment and dual disinfection to improve microbial quality of reclaimed water for potable and non-potable reuse: A case study of facilities in North Carolina. *Science of The Total Environment*, vol. 630, pp. 379-388. ISSN 00489697. DOI 10.1016/j.scitotenv.2018.02.239.
- BOHÓRQUEZ-BALLÉN, J. y PÉREZ MOGOLLÓN, J.F., 2007. Radiación ultravioleta. *Ciencia & Tecnología para la Salud Visual y Ocular*, no. 9, pp. 97. ISSN 1692-8415. DOI 10.19052/sv.1520.
- BOLIVAR, G., 2018. Coprecipitación: en qué consiste, tipos y aplicaciones - Lifeder. [en línea]. [Consulta: 21 noviembre 2019]. Disponible en: <https://www.lifeder.com/coprecipitacion/>.
- BRICEÑO, K., 2017. Azúcares Reductores: Métodos Para Determinación, Importancia - Lifeder. [en línea]. [Consulta: 26 octubre 2019]. Disponible en: <https://www.lifeder.com/azucares-reductores/>.
- CARANGUI, DIEGO, E.D.E., 2016. Cuenca – ecuador 2016. , pp. 1-162.
- CENTRO DE AGUAS Y SANEAMIENTO AMBIENTAL, 2008. Menu de Alternativas de Tratamiento a Nivel Comunitario y Domiciliario. Calidad del Agua en Sistemas de Abastecimiento en Poblaciones Rurales Dispersas. ,
- CHEN, L., ZHOU, C.H., FIORE, S., TONG, D.S., ZHANG, H., LI, C.S., JI, S.F. y YU, W.H., 2016. Functional magnetic nanoparticle/clay mineral nanocomposites: preparation, magnetism and versatile applications. *Applied Clay Science* [en línea], vol. 127-128, pp. 143-163. [Consulta: 24 marzo 2019]. ISSN 0169-1317. DOI 10.1016/J.CLAY.2016.04.009. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169131716301612>.
- Cloración. [en línea], 2017. [Consulta: 16 noviembre 2019]. Disponible en: <http://www.elaguapotable.com/cloracion1.htm>.
- CORAL, D.F. y JENNY A MERA, J.A.M., 2017. Una Guía para el estudio de nanopartículas magnéticas de óxidos de hierro con aplicaciones biomédicas. Parte II. *Ingeniería y Ciencia*, vol. 13, no. 26, pp. 207-232. ISSN 17949165. DOI



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE
ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA
LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE
DEL RÍO CUJA

ELABORÓ:
HAROL MORENO CÓDIGO: 506045
JULIAN ROMERO CÓDIGO: 506220

DIRECTOR:
PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.
Director trabajo de Grado

10.17230/ingciencia.13.26.8.

- DÍAZ DEL CASTILLO, F., 2012. Fes-Cuautitlán Departamento De Ingeniería Introducción a Los Nanomateriales. ,
- DONOSO, F.J., 2011. Meme luis depuradoras_y_potabilizadoras. [en línea]. [Consulta: 16 noviembre 2019]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/franciscojosedonosomeme-luis-depuradorasypotabilizadoras>.
- ELCACHO, J., 2017. Día Mundial del Agua 2017: El 80% de las aguas residuales se vierten sin depurar. 22 de marzo de 2017 [en línea]. [Consulta: 24 marzo 2019]. Disponible en: <https://www.lavanguardia.com/natural/20170322/421076006092/dia-mundial-agua-depuracion-recuperacion.html>.
- EPM, 2010. Preguntas frecuentes sobre la calidad del agua en los sistemas operados por aguas regionales EPM S.A. E.S.P. [en línea]. S.l.: [Consulta: 25 marzo 2019]. Disponible en: <http://www.grupo-epm.com/site/portals/23/documentos/Boletines/ABC- Calidad de Agua.pdf>.
- Filtración. [en línea], 2014. [Consulta: 16 noviembre 2019]. Disponible en: <http://www.elaguapotable.com/filtracion.htm>.
- Floculación | Teoría y experiencias. [en línea], 2019. [Consulta: 22 octubre 2019]. Disponible en: https://www.mt.com/mx/es/home/applications/L1_AutoChem_Applications/L2_ParticleProcessing/Formulation_Flocculation.html.
- GUILLERMO, 2012. Coagulación y floculación. [en línea]. [Consulta: 22 octubre 2019]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/guillermo150782/coagulacion-y-floculacion>.
- HOLLER, J., CROUCH, S.R. y SKOOG, D.A., 2015. *Fundamentos de Química Analítica*. 9na. S.l.: s.n. ISBN 9780495558286.
- HRISTOVSKI, K., BAUMGARDNER, A. y WESTERHOFF, P., 2007. Selecting metal oxide nanomaterials for arsenic removal in fixed bed columns: From nanopowders to aggregated nanoparticle media. *Journal of Hazardous Materials*, vol. 147, no. 1-2, pp. 265-274. ISSN 03043894. DOI 10.1016/j.jhazmat.2007.01.017.
- INDICADOR, I., 2012. República de Colombia Formato Común de Hoja Metodológica de Indicadores Ambientales Índice de calidad del aire (ICA) (Hoja metodológica versión 1 , 00). , no. 571, pp. 1-14.
- IRAWAN, C., NATA, I.F. y LEE, C.-K., 2019. Removal of Pb(II) and As(V) using magnetic nanoparticles coated montmorillonite via one-pot solvothermal reaction as adsorbent. *Journal of Environmental Chemical Engineering* [en línea], vol. 7, no. 2, pp. 103000. [Consulta: 24 marzo 2019]. ISSN 2213-3437. DOI 10.1016/J.JECE.2019.103000. Disponible en:



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE
ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA
LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE
DEL RÍO CUJA

ELABORÓ:
HAROL MORENO CÓDIGO: 506045
JULIAN ROMERO CÓDIGO: 506220

DIRECTOR:
PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.
Director trabajo de Grado

- <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221334371930123X>.
- JANACEK, D., KVITEK, L., KARLIKOVA, M., POSPISKOVA, K. y SAFARIK, I., 2018. Removal of silver nanoparticles with native and magnetically modified halloysite. *Applied Clay Science* [en línea], vol. 162, pp. 10-14. [Consulta: 26 marzo 2019]. ISSN 0169-1317. DOI 10.1016/J.CLAY.2018.05.024. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169131718302369>.
- KARLA, G., RIVERA-SALINAS, J., CABALLERO, H., MARTINÉZ, J. y ILINA, A., 2012. *las nanopartículas magnéticas y sus múltiples aplicaciones* [en línea]. Coahuila: s.n. [Consulta: 26 marzo 2019]. ISBN 9786075060873. Disponible en: <http://www.highbeam.com/doc/1G1-191564699.html>.
- KATRIVESIS, F.K., KARELA, A.D., PAPADAKIS, V.G. y PARASKEVA, C.A., 2019. Revisiting of coagulation-flocculation processes in the production of potable water. *Journal of Water Process Engineering*, vol. 27, pp. 193-204. ISSN 22147144. DOI 10.1016/j.jwpe.2018.12.007.
- LEE, D.C., SMITH, D.K., HEITSCH, A.T. y KORGEL, B.A., 2007. Colloidal magnetic nanocrystals: Synthesis, properties and applications. *Annual Reports on the Progress of Chemistry - Section C*, vol. 103, pp. 351-402. ISSN 02601826. DOI 10.1039/b605630j.
- LENNTECH, 2019. TDS y conductividad eléctrica - Lenntech. [en línea]. [Consulta: 22 octubre 2019]. Disponible en: <https://www.lenntech.es/calculadoras/tds/tdsyconductividad-electrica.htm>.
- LIM, J., YEAP, S.P. y LOW, S.C., 2014. Challenges associated to magnetic separation of nanomaterials at low field gradient. *Separation and Purification Technology*, vol. 123, pp. 171-174. ISSN 13835866. DOI 10.1016/j.seppur.2013.12.038.
- MANUEL SANTOS CALDERÓN, J., GABRIEL URIBE, J. y SOTO CARREÑO SUPERVISORA DE CONSULTORÍA MARCELA BONILLA MADRIÑÁN, A., 2012. Presidente de la República. [en línea]. S.l.: [Consulta: 26 marzo 2019]. Disponible en: [https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/INEC/IGUB/Diagnostico de salud Ambiental compilado.pdf](https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/INEC/IGUB/Diagnostico%20de%20salud%20Ambiental%20compilado.pdf).
- MARIMÓN-BOLÍVAR, W. y GONZÁLEZ, E.E., 2018. Green synthesis with enhanced magnetization and life cycle assessment of Fe₃O₄ nanoparticles. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management* [en línea], vol. 9, pp. 58-66. [Consulta: 26 marzo 2019]. ISSN 2215-1532. DOI 10.1016/J.ENMM.2017.12.003. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2215153217301745>.
- MASSART, R., 1981. Preparation of Aqueous Magnetic Liquids in Alkaline and Acidic Media. *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 17, no. 2, pp. 1247-1248. ISSN 19410069. DOI 10.1109/TMAG.1981.1061188.



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia


FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE
ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA
LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE
DEL RÍO CUJA

ELABORÓ:
HAROL MORENO CÓDIGO: 506045
JULIAN ROMERO CÓDIGO: 506220


DIRECTOR:
PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.
Director trabajo de Grado

- MENDOZA, G. y LOPEZ, J.L., 2006. La nanociencia y la nanotecnología: una revolución en curso. *Perfiles Latinoamericanos* [en línea], vol. 14, no. 29, pp. 161-186. ISSN 0188-7653. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-76532007000100006.
- MINISTERIO DE VIVIENDA, C. y T., 2000. C. Sistemas de potabilización. *Reglamento Técnico del Sector Agua Potable y Saneamiento* [en línea], pp. 184. ISSN 1470-2045. DOI 10.1016/S1470-2045(11)70363-1. Disponible en: http://cra.gov.co/apc-aa-files/37383832666265633962316339623934/5._Sistemas_de_potabilizacion.pdf.
- NARAYAN, R., 2010. Use of nanomaterials in water purification. *Materials Today* [en línea], vol. 13, no. 6, pp. 44-46. [Consulta: 24 marzo 2019]. ISSN 1369-7021. DOI 10.1016/S1369-7021(10)70108-5. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1369702110701085#!>.
- NUÑEZ, J.. y UDEOS, T., 2015. «Diseño, Construcción y Operación de un Reactor Batch para saponificar Acetato de Etilo&». [en línea], pp. 171. Disponible en: https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/34064/1/20151SFMAR052801_2.PDF.
- ONU-DAES, 2014. Decenio Internacional para la Acción «El agua, fuente de vida» 2005-2015. Áreas temáticas: Calidad del agua. ,
- ORDUZ, O. y PORTILLA, J., 2017. *Determinación de las curvas características de la simentación tipo II con diferentes coagulantes comerciales a nivel laboratorio*. S.l.: Universidad Católica de Colombia.
- ORELLANA, J., 2005. *Características del agua potable* [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/ing_sanitaria/Ingenieria_Sanitaria_A4_Capitulo_03_Caracteristicas_del_Agua_Potable.pdf.
- ORGANIZACIÓN DE NACIONES UNIDAS, 2019. Agua | Naciones Unidas. [en línea]. [Consulta: 28 marzo 2019]. Disponible en: <https://www.un.org/es/sections/issues-depth/water/index.html>.
- RAMALHO, R., 2009. *Tratamiento de Aguas Residuales - 2Ed Spanish*. 2009. S.l.: s.n.
- ROMERO, E.G., 2013. LAS ARCILLAS: PROPIEDADES Y USOS. . S.l.:
- SANGANYADO, E. y GWENZI, W., 2019. Antibiotic resistance in drinking water systems: Occurrence, removal, and human health risks. *Science of The Total Environment*, vol. 669, pp. 785-797. ISSN 00489697. DOI 10.1016/j.scitotenv.2019.03.162.
- TERESA LEAL ASCENCIO, M., 2005. 4 Tecnologías convencionales de tratamiento de agua y sus limitaciones. [en línea]. S.l.: [Consulta: 26 marzo 2019].

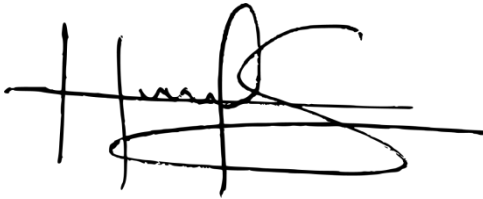
 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	<u>IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE</u> <u>ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA</u> <u>LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE</u> <u>DEL RÍO CUJA</u>	ELABORÓ: HAROL MORENO <u>CÓDIGO: 506045</u> JULIAN ROMERO <u>CÓDIGO: 506220</u>
		DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.</u> Director trabajo de Grado

Disponible en:
https://www.psa.es/es/projects/solarsafewater/documents/libro/04_Capitulo_04.pdf.

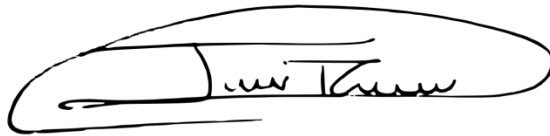
- UNICEF, 2005. III.El agua potable y el saneamiento básico en los planes de desarrollo. [en línea]. S.l.: [Consulta: 24 marzo 2019]. Disponible en: <https://www.unicef.org/colombia/pdf/Agua3.pdf>.
- UNUABONAH, E.I., UGWUJA, C.G., OMOROGIE, M.O., ADEWUYI, A. y OLADOJA, N.A., 2018. Clays for Efficient Disinfection of Bacteria in Water. *Applied Clay Science* [en línea], vol. 151, pp. 211-223. [Consulta: 22 marzo 2019]. ISSN 0169-1317. DOI 10.1016/J.CLAY.2017.10.005. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169131717304489>.
- WRIGHT, H.B. y CAIRNS, W.L., 2019. LUZ ULTRAVIOLETA. , pp. 1-28.
- YADAV, V.B., GADI, R. y KALRA, S., 2019. Clay based nanocomposites for removal of heavy metals from water: A review. *Journal of Environmental Management* [en línea], vol. 232, pp. 803-817. [Consulta: 22 marzo 2019]. ISSN 0301-4797. DOI 10.1016/J.JENVMAN.2018.11.120. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479718313859>.
- YUAN, G. y WU, L., 2007. Allophane nanoclay for the removal of phosphorus in water and wastewater. *Science and Technology of Advanced Materials* [en línea], vol. 8, no. 1-2, pp. 60-62. [Consulta: 22 marzo 2019]. ISSN 1468-6996. DOI 10.1016/J.STAM.2006.09.002. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S146869960600163X>.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL</p>	<p><u>IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE DEL RÍO CUJA</u></p>	<p>ELABORÓ: HAROL MORENO <u>CÓDIGO: 506045</u> JULIAN ROMERO <u>CÓDIGO: 506220</u></p>
		<p>DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.</u> Director trabajo de Grado</p>

16. FIRMAS



Firma del estudiante
Harol Sebastián Moreno Medina
Código: 506045



Firma del estudiante
Julián Camilo Romero Nieto
Código: 506220



Firma del director de trabajo de grado
Wilfredo Marimon Bolívar



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

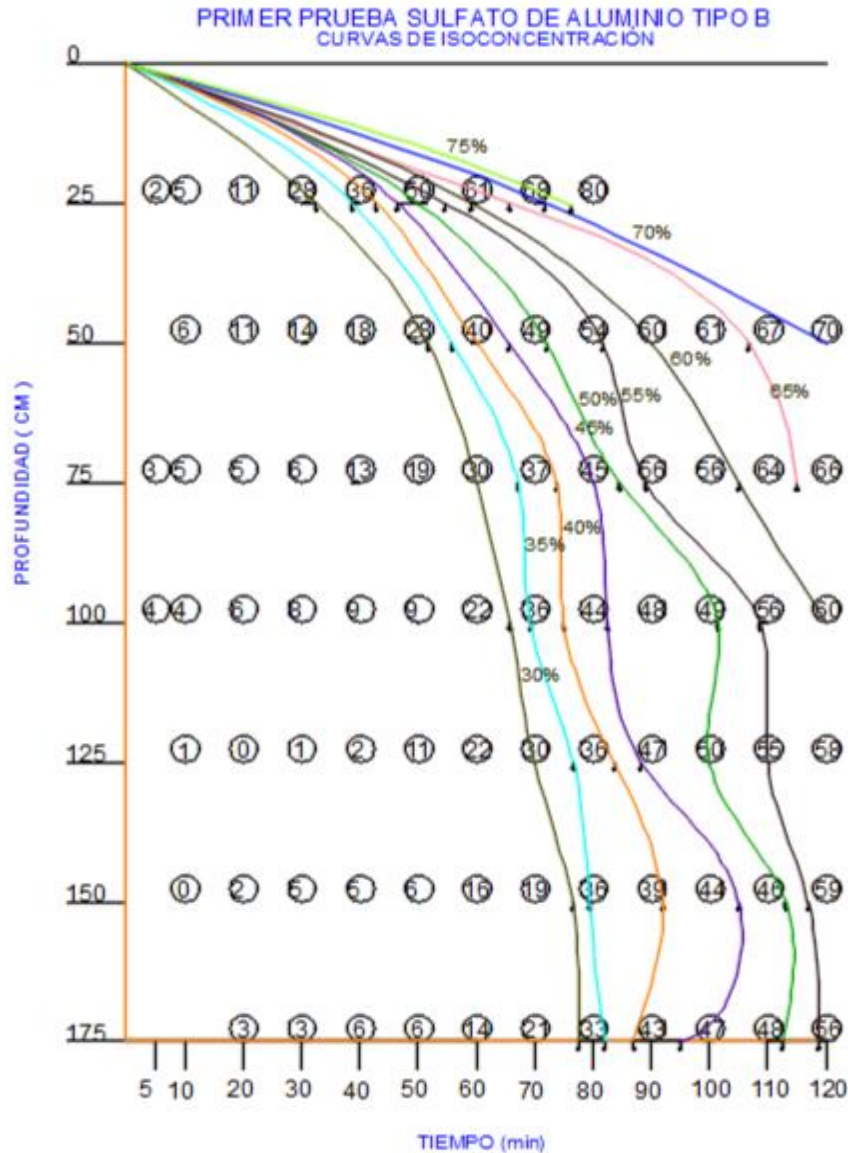
IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE
ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA
LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE
DEL RÍO CUJA

ELABORÓ:
HAROL MORENO CÓDIGO: 506045
JULIAN ROMERO CÓDIGO: 506220

DIRECTOR:
PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.
Director trabajo de Grado

ANEXOS

Anexo I, Curvas de isoconcentración



Fuente: laboratorio de Orduz Oscar, Portilla Jessica, 2017



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

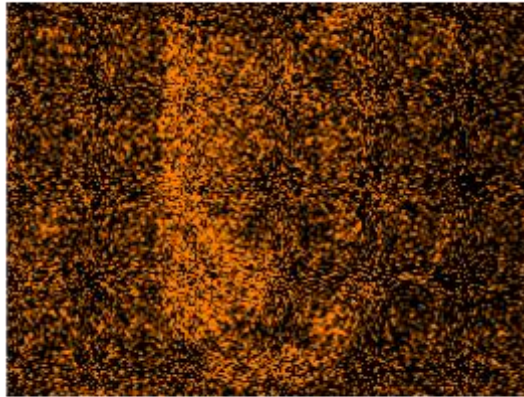
IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE
ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA
LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE
DEL RÍO CUJA

ELABORÓ:
HAROL MORENO CÓDIGO: 506045
JULIAN ROMERO CÓDIGO: 506220

DIRECTOR:
PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.
Director trabajo de Grado

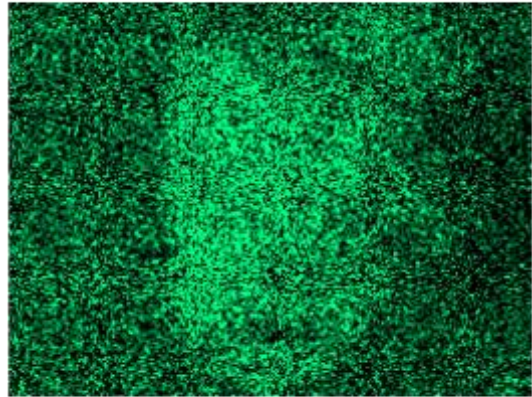
Anexo II, Imágenes con filtro EDS para cada elemento

C K α 1_2



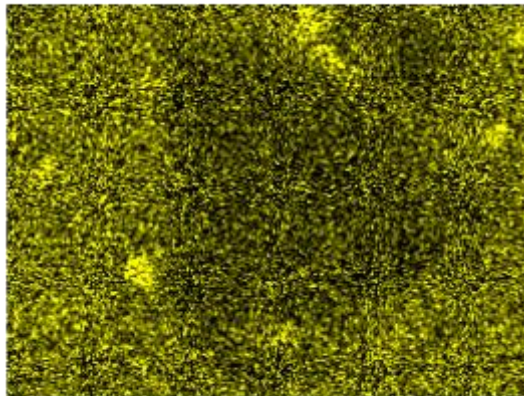
2.5μm

Cl K α 1



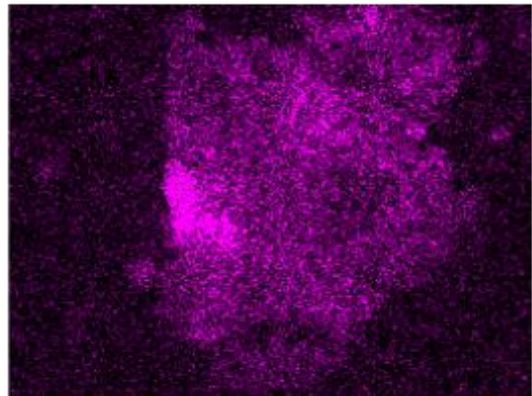
2.5μm

Cu K α 1



2.5μm

Fe K α 1



2.5μm



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

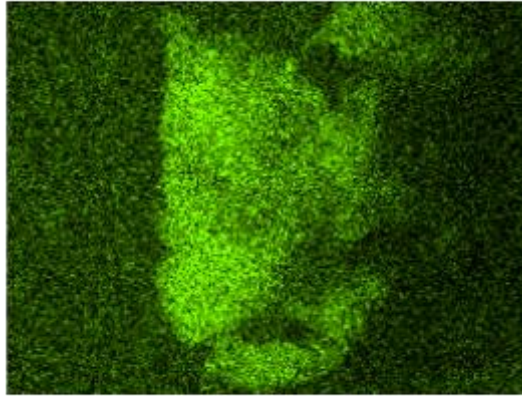
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE
ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA
LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE
DEL RÍO CUJA

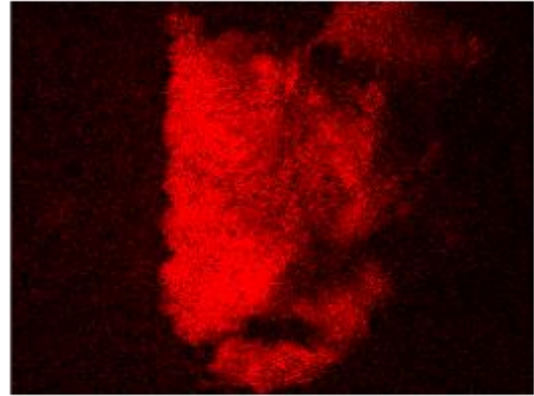
ELABORÓ:
HAROL MORENO CÓDIGO: 506045
JULIAN ROMERO CÓDIGO: 506220

DIRECTOR:
PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.
Director trabajo de Grado

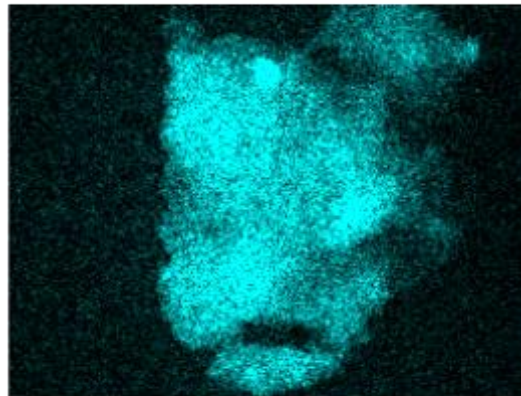
Na $K\alpha_{1,2}$



O $K\alpha_1$



Si $K\alpha_1$



Fuente: Informe laboratorio Oxford instrument



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE
ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA
LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE
DEL RÍO CUJA

ELABORÓ:
HAROL MORENO CÓDIGO: 506045
JULIAN ROMERO CÓDIGO: 506220

DIRECTOR:
PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.
Director trabajo de Grado

Anexo III, Formatos de solicitud de laboratorio

UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia		FACULTAD DE INGENIERÍA LABORATORIOS		FORMATO DE SOLICITUD Y PROGRAMACIÓN DE TIEMPO DE LABORATORIO DEDICADO A PRÁCTICA NO ASISTIDA (LIBRE)		F 053 LI 103 02		
NOMBRE DE LA ASIGNATURA/PROYECTO DE INVESTIGACIÓN/SEMILLERO DE INVESTIGACIÓN/TRABAJO DE GRADO QUE SUSTENTA LA SOLICITUD DE TIEMPO DE LABORATORIO: Proyecto de grado : Práctica de tratamiento de aguas								
IDENTIFICACIÓN DE LOS SOLICITANTES DE TIEMPO DE LABORATORIO:								
CÓDIGO	NOMBRES Y APELLIDOS			E-MAIL @ucatolica.edu.co		TELÉFONO		
506112	Julioth Alejandra Jones Castro			jatojones12@ucatolica.edu.co		3115193334		
506303	Angélica Lirith Mateus Malagon			almateo03@ucatolica.edu.co		3209169051		
506316	Nathalie Tassaint Jimenez			ntoussaint116@ucatolica.edu.co		300617803		
506045	Harol Sebastian Moreno Medina			homoreno45@ucatolica.edu.co		3139927864		
506220	Julian Camilo Romero Pioto			jciromero20@ucatolica.edu.co		3006738523		
PROGRAMACIÓN DE ACTIVIDAD(ES) POR TIEMPO DE LABORATORIO SOLICITADO:								
ID	HORARIO IDEAL			HORARIO OPCIONAL			ESPACIO SOLICITADO ⁽²⁾ (A-B-C-D-E)	ENSAYO(S) A REALIZAR EN CADA LAPSO
	FECHA (dd/mm/AA)	HORA INICIO ⁽¹⁾ (HH:MM)	HORA FIN ⁽¹⁾ (HH:MM)	FECHA (dd/mm/AA)	HORA INICIO ⁽¹⁾ (HH:MM)	HORA FIN ⁽¹⁾ (HH:MM)		
1	17/09/19	07:00	09:00	18/09/19	07:00	09:00	D	Filtración y desinfección
2	23/09/19	07:00	09:00	24/09/19	07:00	09:00	D	Filtración y desinfección
3	26/09/19	11:00	01:00	27/09/19	11:00	01:00	D	tenon.
4								
5								
⁽¹⁾ Cada lapso solicitado será máximo de 2 HORAS por día. Por favor, asistir con puntualidad para mayor optimización del tiempo. ⁽²⁾ A) Mecánica de suelos. B) Concretos. C) Mecánica de Sólidos. D) Análisis de agua. E) Hidráulica								
MATERIALES /EQUIPOS/ INSUMOS A USAR				UND	CANT	A CARGO:		OBSERVACIONES
						LAB	USU	
Beaker				4		X		
Probeta				4		X		
multímetro				2		X		
Espectrofotometro				2		X		
					0			
Entiendo que debo diligenciar completamente esta solicitud y que su aprobación me obliga a <u>cumplir a cabalidad</u> con el "Reglamento de los laboratorios" de la FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA y a acatar las órdenes que se impartan por parte del personal docente y administrativo. Los elementos de protección personal serán de mi propiedad. También me comprometo con el uso eficiente del horario asignado: asistir, informar la no asistencia (por lo menos con un día hábil de anticipación).								
FIRMAS								
SOLICITANTE 1		SOLICITANTE 2		SOLICITANTE 3				
DOCENTE / TUTOR EN CARGADO		COORDINADOR DE LABORATORIOS						
Recuerde enviar la imagen del formato totalmente diligenciado a labscivil@ucatolica.edu.co								



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE
ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA
LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE
DEL RÍO CUJA

ELABORÓ:
HAROL MORENO CÓDIGO: 506045
JULIAN ROMERO CÓDIGO: 506220

DIRECTOR:
PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.
Director trabajo de Grado

	FORMATO DE SOLICITUD Y PROGRAMACIÓN DE TIEMPO DE LABORATORIO DEDICADO A PRÁCTICA NO ASISTIDA (LIBRE)	F 053 LI 103 02
--	---	-----------------

NOMBRE DE LA ASIGNATURA/PROYECTO DE INVESTIGACIÓN/SEMILLERO DE INVESTIGACIÓN/TRABAJO DE GRADO QUE SUSTENTA LA SOLICITUD DE TIEMPO DE LABORATORIO: *Trabajo de grado: prácticas de laboratorio tratamiento de aguas.*

IDENTIFICACIÓN DE LOS SOLICITANTES DE TIEMPO DE LABORATORIO:			
CÓDIGO	NOMBRES Y APELLIDOS	E-MAIL @ucatolica.edu.co	TELÉFONO
506303	Angélica Lineth Mateus Malagón	almateus03@ucatolica.edu.co	3209169051
506112	Julieth Alejandra Torres Castro	jatorres12@ucatolica.edu.co	3115193734
506045	Harol Sebastian Moreno Medina	hsmoreno45@ucatolica.edu.co	3138927864
506220	Julian Camilo Romero Nieto	jcromero20@ucatolica.edu.co	3006738527
506316	Mathalie Toussaint Jiménez	mtoussaint16@ucatolica.edu.co	3006118703

PROGRAMACIÓN DE ACTIVIDAD(ES) POR TIEMPO DE LABORATORIO SOLICITADO:								
ID	HORARIO IDEAL			HORARIO OPCIONAL			ESPACIO SOLICITADO ⁽²⁾ (A-B-C-D-E)	ENSAYO(S) A REALIZAR EN CADA LAPSO
	FECHA (dd/mm/AA)	HORA INICIO ⁽¹⁾ (HH:MM)	HORA FIN ⁽¹⁾ (HH:MM)	FECHA (dd/mm/AA)	HORA INICIO ⁽¹⁾ (HH:MM)	HORA FIN ⁽¹⁾ (HH:MM)		
1	26/08/2019	15:00	17:00	28/08/2019	09:00	11:00	D	Coagulación - Floculación - Sedimentación
2								
3								
4								
5								

(1) Cada lapso solicitado será máximo de 2 HORAS por día. Por favor, asistir con puntualidad para mayor optimización del tiempo.
(2) A) Mecánica de suelos. B) Concretos. C) Mecánica de Sólidos. D) Análisis de agua. E) Hidráulica

MATERIALES/EQUIPOS/ INSUMOS A USAR	UND	CANT	A CARGO:	
			LAB	USU
PHmetro	2			
Sulfato de aluminio		15g		
Beaker de 50 y 100 ml	2			
Vaso de precipitado 800ml	2			
Probeta 100 ml	2			
Probeta 50 ml	2			

OBSERVACIONES
La practica a realizar es para la simulacion del proceso de coagulación, floculación y sedimentación.

Entiendo que debo diligenciar completamente esta solicitud y que su aprobación me obliga a cumplir a cabalidad con el "Reglamento de los laboratorios" de la FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA y a acatar las órdenes que se impartan por parte del personal docente y administrativo. Los elementos de protección personal serán de mi propiedad. También me comprometo con el uso eficiente del horario asignado: asistir, informar la no asistencia (por lo menos con un día hábil de anticipación).

FIRMAS

Julieth Torres

SOLICITANTE 1

Harol Moreno

SOLICITANTE 2

SOLICITANTE 3

SOLICITANTE 4

SOLICITANTE 5

DOCENTE / TUTOR ENCARGADO

COORDINADOR DE LABORATORIOS

Recuerde enviar la imagen del formato totalmente diligenciado a labscivil@ucatolica.edu.co



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE
ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA
LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE
DEL RÍO CUJA

ELABORÓ:
HAROL MORENO CÓDIGO: 506045
JULIAN ROMERO CÓDIGO: 506220

DIRECTOR:
PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.
Director trabajo de Grado

 FACULTAD DE INGENIERÍA LABORATORIOS	FORMATO DE SOLICITUD Y PROGRAMACIÓN DE TIEMPO DE LABORATORIO DEDICADO A PRÁCTICA NO ASISTIDA (LIBRE)	F 053 LI 103 02
--	---	-----------------

NOMBRE DE LA ASIGNATURA/PROYECTO DE INVESTIGACIÓN/SEMILLERO DE INVESTIGACIÓN/TRABAJO DE GRADO QUE SUSTENTA LA SOLICITUD DE TIEMPO DE LABORATORIO: **PROYECTO DE GRADO**

IDENTIFICACIÓN DE LOS SOLICITANTES DE TIEMPO DE LABORATORIO:			
CÓDIGO	NOMBRES Y APELLIDOS	E-MAIL @ucatolica.edu.co	TELÉFONO
506112	Julieth Alejandra Torres Castro	jatorres12@ucatolica.edu.co	3115193334
506303	Angélica Lineth Mateus Malagon	almateus03@ucatolica.edu.co	3209169051
506316	Nathalie Roussaint Jimenez	nrussaint16@ucatolica.edu.co	3006118703
506045	Harol Sebastian Moreno Medina	hsmoreno45@ucatolica.edu.co	3138927869
506220	Julian Camilo Romero Nieto	jrromero20@ucatolica.edu.co	3006738527

PROGRAMACIÓN DE ACTIVIDAD(ES) POR TIEMPO DE LABORATORIO SOLICITADO:								
ID	HORARIO IDEAL			HORARIO OPCIONAL			ESPACIO SOLICITADO ⁽²⁾ (A-B-C-D-E)	ENSAYO(S) A REALIZAR EN CADA LAPSO
	FECHA (dd/mm/AA)	HORA INICIO ⁽¹⁾ (HH:MM)	HORA FIN ⁽¹⁾ (HH:MM)	FECHA (dd/mm/AA)	HORA INICIO ⁽¹⁾ (HH:MM)	HORA FIN ⁽¹⁾ (HH:MM)		
1	13/09/19	11:00	01:00	14/09/19	11:00	01:00	D	Fenton y test de jomas
2	16/09/19	07:00	09:00	17/09/19	07:00	09:00	D	Filtración y desinfección
3	23/09/19	07:00	09:00	24/09/19	07:00	09:00	D	Filtración y desinfección
4								
5								

⁽¹⁾ Cada lapso solicitado será máximo de 2 HORAS por día. Por favor, asistir con puntualidad para mayor optimización del tiempo.

⁽²⁾ A) Mecánica de suelos. B) Concretos. C) Mecánica de Sólidos. D) Análisis de agua. E) Hidráulica

MATERIALES /EQUIPOS/ INSUMOS A USAR	UND	CANT	A CARGO:		OBSERVACIONES
			LAB	USU	
Beaker	4		x		Preservar muestras después de guardar los laboratorios.
Probeta	4		x		
multímetro	2		x		
espectrofotometro	2		x		
Sólido de aluminio prob. \$		8 gr.	x		

Entiendo que debo diligenciar completamente esta solicitud y que su aprobación me obliga a cumplir a cabalidad con el "Reglamento de los laboratorios" de la FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA y a acatar las órdenes que se impartan por parte del personal docente y administrativo. Los elementos de protección personal serán de mi propiedad. También me comprometo con el uso eficiente del horario asignado: asistir, informar la no asistencia (por lo menos con un día hábil de anticipación).

FIRMAS

SOLICITANTE 1

SOLICITANTE 4

SOLICITANTE 2

SOLICITANTE 5

SOLICITANTE 3

COORDINADOR DE LABORATORIOS

Recuerde enviar la imagen del formato totalmente diligenciado a labscivil@ucatolica.edu.co



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

**IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE
ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA
LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE
DEL RÍO CUJA**

ELABORÓ:
HAROL MORENO CÓDIGO: 506045
JULIAN ROMERO CÓDIGO: 506220

DIRECTOR:
PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.
Director trabajo de Grado

	UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia	FORMATO DE SOLICITUD Y PROGRAMACIÓN DE TIEMPO DE LABORATORIO DEDICADO A PRÁCTICA NO ASISTIDA (LIBRE)	F 053 LI 103 02
FACULTAD DE INGENIERÍA LABORATORIOS			

NOMBRE DE LA ASIGNATURA/PROYECTO DE INVESTIGACIÓN/SEMILLERO DE INVESTIGACIÓN/TRABAJO DE GRADO QUE SUSTENTA LA SOLICITUD DE TIEMPO DE LABORATORIO: Optimización de Potabilización mediante nanorarcillas magnéticas, planta de tratamiento para lavado de joyas

IDENTIFICACIÓN DE LOS SOLICITANTES DE TIEMPO DE LABORATORIO:			
CÓDIGO	NOMBRES Y APELLIDOS	E-MAIL @ucatolica.edu.co	TELÉFONO
506045	Harol Sebastian Moreno Medina	hsmoreno45	3138927864
506316	Nathalie Toussaint Jimenez	ntoussaint16	3006118703
506220	Julian Camilo Romero Nieto	jcromero20	3006738527
506503	Angelica Lineth Mateus Malagon	almateus03	3209169051
506112	Julieith Alexandra Torres	jatorres12	3115193734

PROGRAMACIÓN DE ACTIVIDAD(ES) POR TIEMPO DE LABORATORIO SOLICITADO:								
ID	HORARIO IDEAL			HORARIO OPCIONAL			ESPACIO SOLICITADO ⁽¹⁾ (A-B-C-D-E)	ENSAYO(S) A REALIZAR EN CADA LAPSO
	FECHA (dd/mm/AA)	HORA INICIO ⁽¹⁾ (HH:MM)	HORA FIN ⁽¹⁾ (HH:MM)	FECHA (dd/mm/AA)	HORA INICIO ⁽¹⁾ (HH:MM)	HORA FIN ⁽¹⁾ (HH:MM)		
1	1/10/2019	01:00pm	3:00pm	1/10/2019	3:00	5:00	D	Filtración
2	4/10/2019	11:00am	01:00pm	4/10/2019	1:00	3:00	D	Desinfección
3								
4								
5								

⁽¹⁾ Cada lapso solicitado será máximo de 2 HORAS por día. Por favor, asistir con puntualidad para mayor optimización del tiempo.
⁽²⁾ A) Mecánica de suelos. B) Concretos. C) Mecánica de Sólidos. D) Análisis de agua E) Hidráulica

MATERIALES /EQUIPOS/ INSUMOS A USAR	UND	CANT	A CARGO:	
			LAB	USU
Beaker		2	X	
Helmeyer		2	X	
Turbidímetro		1	X	
Multiparamétrico		1	X	
Antracita	mg	50.000	X	

OBSERVACIONES

Entiendo que debo diligenciar completamente esta solicitud y que su aprobación me obliga a cumplir a cabalidad con el "Reglamento de los laboratorios" de la FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA y a acatar las órdenes que se impartan por parte del personal docente y administrativo. Los elementos de protección personal serán de mi propiedad. También me comprometo con el uso eficiente del horario asignado: asistir, informar la no asistencia (por lo menos con un día hábil de anticipación).

FIRMAS

SOLICITANTE 1:

SOLICITANTE 2:

SOLICITANTE 3:

SOLICITANTE 4:

SOLICITANTE 5:

COORDINADOR DE LABORATORIOS:



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE
ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA
LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE
DEL RÍO CUJA

ELABORÓ:
HAROL MORENO CÓDIGO: 506045
JULIAN ROMERO CÓDIGO: 506220

DIRECTOR:
PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.
Director trabajo de Grado

UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia
FACULTAD DE INGENIERÍA LABORATORIOS

FORMATO DE SOLICITUD Y PROGRAMACIÓN DE TIEMPO DE LABORATORIO DEDICADO A PRÁCTICA NO ASISTIDA (LIBRE)

F 053 LI 103 02

NOMBRE DE LA ASIGNATURA/PROYECTO DE INVESTIGACIÓN/SEMILLERO DE INVESTIGACIÓN/TRABAJO DE GRADO QUE SUSTENTA LA SOLICITUD DE TIEMPO DE LABORATORIO: **PROYECTO DE GRADO: PRACTICA DE TRATAMIENTO DE AGUAS**

IDENTIFICACIÓN DE LOS SOLICITANTES DE TIEMPO DE LABORATORIO:			
CÓDIGO	NOMBRES Y APELLIDOS	E-MAIL @ucatolica.edu.co	TELÉFONO
506112	Julieth Alejandra Torres Castro	jatorres12@ucatolica.edu.co	3115193734
506303	Angélica Lineth Mateos Malagón	almateos03@ucatolica.edu.co	3209169051
506316	Nathalie Toussaint Jimenez	ntoussaint16@ucatolica.edu.co	3006118903
506045	Harol Sebastian Moreno Medina	hsmoreno45@ucatolica.edu.co	3138927864
506220	Julian Camilo Romero Nieto	jcromero20@ucatolica.edu.co	3006738527

PROGRAMACIÓN DE ACTIVIDAD(ES) POR TIEMPO DE LABORATORIO SOLICITADO:								
ID	HORARIO IDEAL			HORARIO OPCIONAL			ESPACIO SOLICITADO ⁽²⁾ (A-B-C-D-E)	ENSAYO(S) A REALIZAR EN CADA LAPSO
	FECHA (dd/mm/AA)	HORA INICIO ⁽¹⁾ (HH:MM)	HORA FIN ⁽¹⁾ (HH:MM)	FECHA (dd/mm/AA)	HORA INICIO ⁽¹⁾ (HH:MM)	HORA FIN ⁽¹⁾ (HH:MM)		
1	13/09/19	11:00	01:00	14/09/19	11:00	01:00	D	Fenton y test de jarcas
2	16/09/19	07:00	09:00	17/09/19	07:00	09:00	D	Filtración y desinfección
3	23/09/19	07:00	09:00	24/09/19	07:00	09:00	D	Filtración y desinfección
4								
5								

(1) Cada lapso solicitado será máximo de 2 HORAS por día. Por favor, asistir con puntualidad para mayor optimización del tiempo.

(2) A) Mecánica de suelos. B) Concretos. C) Mecánica de Sólidos. D) Análisis de agua. E) Hidráulica

MATERIALES/EQUIPOS/ INSUMOS A USAR	UND	CANT	A CARGO:	
			LAB	USU
Beaker	4		X	
Probeta	4		X	
multímetro	2		X	
espectrofotometro	2		X	
Soluto de aluminio prob. B		8 gr.	X	

OBSERVACIONES
Preservar muestras despues de guardar los laboratorios.

Entiendo que debo diligenciar completamente esta solicitud y que su aprobación me obliga a cumplir a cabalidad con el "Reglamento de los laboratorios" de la FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA y a acatar las órdenes que se impartan por parte de personal docente y administrativo. Los elementos de protección personal serán de mi propiedad. También me comprometo con el uso eficiente de horario asignado: asistir, informar la no asistencia (por lo menos con un día hábil de anticipación).

FIRMAS

SOLICITANTE 1

SOLICITANTE 2

DIRECTOR

SOLICITANTE 4

SOLICITANTE 5

COORDINADOR DE LABORATORIOS

Recuerde enviar la imagen del formato totalmente diligenciado a labscivil@ucatolica.edu.co



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

IMPLEMENTACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE
ARCILLA MODIFICADA MAGNÉTICAMENTE PARA
LA POTABILIZACIÓN DE AGUA PROVENIENTE
DEL RÍO CUJA

ELABORÓ:
HAROL MORENO CÓDIGO: 506045
JULIAN ROMERO CÓDIGO: 506220

DIRECTOR:
PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR.
Director trabajo de Grado

UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia
FACULTAD DE INGENIERÍA LABORATORIOS

FORMATO DE SOLICITUD Y PROGRAMACIÓN DE TIEMPO DE LABORATORIO DEDICADO A PRÁCTICA NO ASISTIDA (LIBRE)

F 053 LI 103 02

NOMBRE DE LA ASIGNATURA/PROYECTO DE INVESTIGACIÓN/SEMILLERO DE INVESTIGACIÓN/TRABAJO DE GRADO QUE SUSTENTA LA SOLICITUD DE TIEMPO DE LABORATORIO: *proyecto de grado: tratamiento de aguas.*

IDENTIFICACIÓN DE LOS SOLICITANTES DE TIEMPO DE LABORATORIO:

CÓDIGO	NOMBRES Y APELLIDOS	E-MAIL @ucatolica.edu.co	TELÉFONO
506303	Angélica Lineth Mateos Malagón	almateos03@ucatolica.edu.co	3209169051
506112	Julieith Alejandria Torres Castro	atorras12@ucatolica.edu.co	3115193334
506095	Harol Sebastian Moreno Medina	hsmoreno45@ucatolica.edu.co	3138923864
506316	Valhale Tassaint Jimenez	vtassaint16@ucatolica.edu.co	3006118705
506220	Julian Camilo Romero Nieto	jcro10220@ucatolica.edu.co	3006338523

PROGRAMACIÓN DE ACTIVIDAD(ES) POR TIEMPO DE LABORATORIO SOLICITADO:

ID	HORARIO IDEAL			HORARIO OPCIONAL			ESPACIO SOLICITADO ⁽²⁾ (A-B-C-D-E)	ENSAYO(S) A REALIZAR EN CADA LAPSO
	FECHA (dd/mm/AA)	HORA INICIO ⁽¹⁾ (HH:MM)	HORA FIN ⁽¹⁾ (HH:MM)	FECHA (dd/mm/AA)	HORA INICIO ⁽¹⁾ (HH:MM)	HORA FIN ⁽¹⁾ (HH:MM)		
1	07/10/19	7:00	9:00	08/10/19	8:00	10:00	D	Desinfección
2	07/10/19	14:00	16:00	09/10/19	09:00	11:00	D	Medición de parámetros
3								
4								
5								

(1) Cada lapso solicitado será máximo de 2 HORAS por día. Por favor, asistir con puntualidad para mayor optimización del tiempo.
(2) A) Mecánica de suelos. B) Concretos. C) Mecánica de Sólidos. D) Análisis de agua. E) Hidráulica

MATERIALES/EQUIPOS/ INSUMOS A USAR	UND	CANT	A CARGO:	
			LAB	USU
Beaker		2	X	
Helimetro		2	X	
Turbidímetro		2	X	
Multiparamétrico		1	X	
Anticida	mg	50000	X	

OBSERVACIONES

Entiendo que debo diligenciar completamente esta solicitud y que su aprobación me obliga a cumplir a cabalidad con el "Reglamento de los laboratorios" de la FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA y a acatar las órdenes que se impartan por parte del personal docente y administrativo. Los elementos de protección personal serán de mi propiedad. También me comprometo con el uso eficiente del horario asignado: asistir, informar la no asistencia (por lo menos con un día hábil de anticipación).

FIRMAS

[Handwritten signatures]

SOLICITANTE 1

SOLICITANTE 2

SOLICITANTE 3

SOLICITANTE 4

COORDINADOR DE LABORATORIOS