

**REMOCIÓN DE AZUL DE METILENO DE CUERPOS DE AGUA UTILIZANDO
NANOPARTICULAS MAGNÉTICAS Fe_3O_4 Y CARBON ACTIVADO**



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

ELABORADO POR:

JOHAN SEBASTIAN HERRERA GUTIERREZ CÓDIGO: 506028

YINNETH MARCELA CARRILLO PACHECO CÓDIGO: 505190

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

**REMOCIÓN DE AZUL DE METILENO DE CUERPOS DE AGUA UTILIZANDO
NANOPARTICULAS MAGNÉTICAS Fe_3O_4 Y CARBON ACTIVADO**

ELABORADO POR:

**JOHAN SEBASTIAN HERRERA GUTIERREZ CÓDIGO: 506028
YINNETH MARCELA CARRILLO PACHECO CÓDIGO: 505190**

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

**DIRECTOR
PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR**

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

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer en primer lugar a Dios porque gracias a él hemos podido llegar a esta etapa final de nuestra carrera, ya que nos fortaleció y nos llenó de paciencia siempre que lo necesitamos, a nuestros familiares quienes día a día estuvieron mostrándonos su apoyo y comprensión durante toda la carrera en todos los aspectos que requerimos, a los docentes quienes con su experiencia y pasión hicieron que cada día amáramos más nuestra profesión y de manera especial a nuestro tutor el PhD. Wilfredo Marimon Bolívar por su acompañamiento, guía y asesoría durante todo el desarrollo de este proyecto de investigación.

"Ninguno puede ser grande en una profesión sin amarla. Amad la vuestra y hacedla amar de vuestros conciudadanos por una conducta noble, dulce y virtuosa"

Francisco José de Caldas



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.

Nota de Aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá D.C. octubre 28 de 2019

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	12
1. INTRODUCCION	14
2. ANTECEDENTES	15
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
4. OBJETIVOS	20
4.1. OBJETIVO GENERAL.....	20
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
5. JUSTIFICACION	21
6. DELIMITACIÓN.....	23
6.1. ALCANCES	23
6.2. LIMITACIONES	23
7. MARCO DE REFERENCIA.....	24
7.1. MARCO TEÓRICO	24
7.1.1. Azul de metileno.....	24
7.1.2. Contaminación del agua por azul de metileno	26
7.1.3. Técnicas Convencionales De Remoción De Azul De Metileno	27
7.1.4. Nanopartículas y nanomateriales.....	29
7.2. MARCO CONCEPTUAL.....	31
8. ESTADO DEL ARTE	32
9. METODOLOGÍA.....	34
9.1. SÍNTESIS DEL MATERIAL.....	35
9.2. CARACTERIZACIÓN.....	35
9.3. ENSAYOS DE REMOCIÓN DE AZUL DE METILENO.....	36

9.4.	CINÉTICA DE ADSORCIÓN	36
9.5.	ISOTERMAS DE ADSORCIÓN	36
10.	RESULTADOS.....	38
10.1.	CARACTERIZACIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO.....	38
10.1.1.	Procedimiento	38
10.1.2.	Características	41
10.2.	CURVA DE CALIBRACIÓN.....	43
10.2.1.	Informe de curva de calibración	43
10.3.	ENSAYOS	45
10.4.	ISOTERMAS DE ADSORCIÓN.....	54
10.5.	DISEÑO DE LA COLUMNA DE CARBÓN ACTIVADO	57
11.	CONCLUSIONES	62
12.	RECOMENDACIONES	63
13.	BIBLIOGRAFÍA	64

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Azul de metileno en estado sólido	24
Ilustración 2. Estructura molecular del azul de metileno	25
Ilustración 3. Propiedades del azul de metileno.....	25
Ilustración 4. Spectro UV-VIS	26
Ilustración 5. Spectro ultravioleta-visible.....	26
Ilustración 6. Ventajas y desventajas de las técnicas de remoción.....	28
Ilustración 7. Régimen de los nanométriales	30
Ilustración 8. Esquema de la metodología	34
Ilustración 9. Difractograma del compuesto Fe_3O_4	38
Ilustración 10. Imagen microscópica carbón activado.....	39
Ilustración 11. Nanopartículas magnéticas en la superficie del carbón activado ..	39
Ilustración 12. Concentración de hierro de las partículas magnéticas	40
Ilustración 13. Resultados obtenidos del ensayo espectrómetro	40
Ilustración 14. Análisis de Brunauer- Emmett- Taler (BET) de MNPs	41
Ilustración 15. Magnetización de las MPs sintetizadas	42
Ilustración 16. Grupos funcionales de la muestra de carbón activado con Nanopartículas.....	43
Ilustración 17. Test de jarras.....	46
Ilustración 18. Muestra para el espectrofotómetro	47
Ilustración 19. Test de jarras.....	49
Ilustración 20. Test de jarras.....	50
Ilustración 21. Ensayo con carbón activado modificado	51
Ilustración 22. Sedimentación de azul de metileno	52

Ilustración 23. Muestra final de agua	53
Ilustración 24. Modelo conceptual de la columna	58
Ilustración 25. Concepto de profundidad crítica del lecho D0	59

TABLA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Curva de calibración.....	45
Gráfica 2. Relación absorbancia-concentración.....	48
Gráfica 3. Relación final de absorbancia-concentración	53
Gráfica 4. Isotherma de adsorción final	54
Gráfica 5. Ajuste lineal por método de Langmuir	55
Gráfica 6. Ajuste lineal por método de Frenluich	55
Gráfica 7. Ajuste lineal por método de Tenkim	56
Gráfica 8. Ajuste lineal por método de Sips	56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Modelos de isotermas de adsorción a utilizar	37
Tabla 2. Datos del ensayo de la curva.....	44
Tabla 3. Datos primer ensayo	47
Tabla 4. Concentración de azul de metileno.....	48
Tabla 5. Datos de segundo ensayo	49
Tabla 6. Datos de tercer ensayo.....	51
Tabla 7. Concentración final de azul de metileno	52
Tabla 8. Determinación valor q	54
Tabla 9. Parámetros de las constantes de los modelos.....	57

RESUMEN

Esta investigación busca dar solución a una problemática la cual no es muy conocida en el país, pero tiene un gran impacto principalmente en las fuentes hídricas que pasan cerca a las industrias textiles, de ingredientes para alimentos artificiales, de cosméticos y aquellas que usen colorantes cuya disposición final sea el vertimiento de estos sin un debido pretratamiento para su evacuación de la fábrica. El azul de metileno es de los principales colorantes y que más contaminación y daños genera a un entorno natural debido a su composición química lo hacen difícil de remover y que puede estar por bastante tiempo en el agua. Las técnicas convencionales de remoción de este colorante, aquellas de bajo costo son poco efectivas y las que lo remueven se vuelven costosas y poco aplicables en cantidades grandes de agua contaminada.

Nuestra investigación plantea una solución de tratamiento al agua contaminada antes de salir de la fábrica! Ya que se trabaja con agua que este estancada y el azul de metilo se remueve estando este en un estado de suspensión.

Lograr esta exitosa remoción se hace empleando carbón activado, que de por sí solo ya ha sido usado para este proceso y aunque es bueno no hace una completa extracción del colorante. Debido a eso al carbón se le hizo una mejora con nanopartículas magnéticas, impregnando estas al elemento. Hecho esto se procedió a preparar una solución madre de agua lluvia a la cual se le agrego un volumen de azul de metileno en estado líquido, solución a la cual se le realizaron varios ensayos antes del colorante, con el colorante y después de removido este.

Los análisis mostraron una exitosa y completa remoción del azul de metileno después de haber empleado el carbón activado modificado con las nanopartículas, cabe aclarar que este proceso no hace una eliminación de los compuestos químicos del colorante como tal, sino que lo sedimenta y mantiene precipitado para que el agua limpia sea removida, y posteriormente en azul de metileno sea sacado del recipiente o tanque donde se encuentre y eliminado adecuadamente.

El carbón activado modificado puede ser usado en varias remociones posteriores, respetando las condiciones dadas en esta investigación, lo cual lo hace útil como técnica de remoción en industrias que generen este contaminante, aportando así a una adecuada agua residual la cual puede ser vertida a una fuente hídrica o reutilizada sí la fábrica así lo determina.

Adicionalmente se propone un diseño de una columna que usa el mismo carbón activado modificado, solo que este se hace en distintas condiciones, es para un flujo pequeño, es decir, hay un flujo de agua contaminada. Funciona a baja velocidad, aunque con la misma efectividad de remoción.

1. INTRODUCCION

En la actualidad la preocupación por el medio ambiente y su calidad ha venido tomando gran importancia ya que se han creado varias políticas de sostenibilidad, cuidado y protección de los recursos naturales. Colombia se caracteriza por tener gran diversidad de estos ya que por su ubicación geográfica y su variedad de climas lo hacen rico, la preocupación por el cuidado y protección de los recursos en este país cobra aun mayor importancia debido a que muy poco se tiene por parte de las comunidades y que por el contrario son muchos los factores que han llevado a un detrimento de los recursos. Un claro ejemplo es la contaminación de cuerpos de agua generalmente cuencas hidrográficas con colorantes como el azul de metileno, contaminación derivada de actividades como la industria textilera, de cosméticos practicada desde la ilegalidad por manejos indebidos de sus desechos y que no cumple ninguna normativa de impacto ambiental. Muchas veces por desconocimiento por parte de la gente no tienen en cuenta las consecuencias de estas actividades y que ha futuro pueden poner en peligro su calidad de vida por la pérdida del acceso al agua potable. («REMOCIÓN DE COLORANTES SINTÉTICOS» [sin fecha])

Ya que Colombia carece de una cobertura adecuada en cuanto a saneamiento de agua en el territorio, muchas comunidades están expuestas a contraer enfermedades y problemas médicos por ingerir agua y alimentos que provienen de la misma fuente contaminada por colorantes en ella como el azul de metileno. Este problema sumado a que la extracción del azul de metileno en las plantas de tratamiento de agua el proceso es deficiente porque es obsoleto y muchas veces donde hay grandes concentraciones de azul de metileno gran parte de él continua en el agua. (Torres Lozada, Cruz Vélez y Patiño 2009)

El nuevo campo de investigación que ha tenido auge y grandes avances en los últimos años es la nanotecnología que ha permitido la mejora y optimización de productos y materiales en diversos campos como la medicina, electrónica, ingeniería aeroespacial, entre otros campos. Dando paso a la posibilidad de mejorar la eficiencia de productos en el cumplimiento de tareas específicas. El carbón activado es un material muy conocido en la adsorción del azul de metileno en cuerpos de agua, aunque su efectividad no es la mejor, por esto se busca la manera de optimizar el carbón activado con la inclusión de nanopartículas magnéticas y medir su alcance mediante ensayos a varias muestras que contienen concentraciones de azul de metileno. Y dar la efectividad y factibilidad de su uso. (Dali Youcef, Belaroui y López-Galindo 2019)

2. ANTECEDENTES

La necesidad de satisfacer la demanda de agua que las personas requieren en todo el mundo ha generado la búsqueda de diferentes medios de potabilización, uno de estos y el más usado, son las plantas de tratamiento de agua potable, compuesta por procesos como: predecantación, mezcla rápida, coagulación, floculadores, decantación, filtración y cloración (Reynolds y Ph 2010), esto, para garantizar eficiencias de los índices de calidad del agua. Con el fin de estudiar y evaluar el comportamiento de estos procesos, se han generado diferentes investigaciones sobre cada uno, uno de ellos es el proceso de filtración.

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

La filtración es el primer sistema conocido de tratamiento de agua, el primer uso de la filtración para la potabilización, fue en el año 1804 en Escocia, cuando John Gibb (Ingeniero civil) propietario de una instalación industrial decidió vender el excedente de agua al público, llevándolo a instalar un filtro experimental. En París, se inauguró una planta de tratamiento de agua en el año 1806. Utilizaba sedimentación seguida de filtración por medio de una serie de filtros que contenían arena gruesa de río, arena limpia, carbón vegetal y más arena limpia (Fluence 2017).

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

En el año 2016, en la Universidad Libre, los Ingenieros Iván Ricardo Ávila Bareño y Mario Arturo Moreno Figueroa, como trabajo de grado para su especialización, realizaron el diseño de un filtro para tratamiento de aguas de uso doméstico en tanques de reserva del casco urbano de la Inspección de San Antonio de Anapoima,

en el cual plantearon y evaluaron tres (03) opciones de filtros con diferentes materiales, para así, escoger el adecuado. En este procedimiento sus tres opciones consistieron en un filtro arena y grava de seis capas, un filtro de arena y grava de 3 capas y filtro de arena de dos capas, una capa de carbón, una capa de zeolita y de grava, seleccionando como opción optima del filtro la opción 3 (filtro de arena de dos capas, una capa de carbón, una capa de zeolita y de grava), ya que, los diferentes componentes bioquímicos permitían la remoción de la turbiedad, dureza y calcio, en este calcio como mayor aportante a esto, se encuentra la Zeolita y el Carbón Activado pues brindan la calidad de agua y condiciones requeridas llegar al nivel de uso doméstico. (Bareño y Figueroa 2016)

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

En el año 2012, en la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México, los señores María Eugenia Noriega-Treviño, Claudia Cristina Quintero-González, Jesús María Guajardo-Pacheco, José Elpidio Morales-Sánchez, y Martha Eugenia Compeán-Jasso, pertenecientes al Centro de Investigación en Materiales Avanzados de México, realizaron un trabajo de investigación relacionado a la Desinfección y purificación de agua mediante nanopartículas metálicas y membranas compósitas. En este trabajo se presenta un estudio comparativo de la efectividad antibacterial de nanopartículas metálicas y de aguas de diferente composición química contra dos microorganismos: E E coli y E faecalis para ello sintetizaron cinco tipos de partículas metálicas caracterizándolas mediante las técnicas de microscopia electrónica de transmisión (MET), dispersión dinámica de luz (DDL) y espectroscopia UV-Visible. Como resultado obtuvieron que entre menos tamaño tengas las nanopartículas, mayor será la actividad bacteriana. (Suárez-Medina, María de los Ángeles; Patiño-Gómez, Carlos; Velázquez-Álvarez, Jaime; Rivera-Benites, Jaime; Aguilar-Garduño, Ernesto; Bautista, Guillermo; Astudillo-Enríquez 2015)

En el año 2013, en la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, la Estudiante de maestría Maricelly Martínez Aguilar, el Estudiante de Doctorado, Camilo Andrés Franco Ariza y el Director del Grupo de investigación en Yacimientos de Hidrocarburo, Facultad de Minas, Farid Bernardo cortés, elaboraron un trabajo de investigación basado en estudios para determinar la eficiencia de las nanopartículas de sílice con residuos de refinería 2 y al 4% wt, de igual manera utilizaron nanopartículas de zeolita

y zeolita modificada al 2 y 4% wt , esto con el fin de para reducir la cantidad de crudo en las emulsiones crudo/agua, para obtener dicho propósito utilizaron un rango de concentración de crudo inicial de 200 hasta 2000 mg/l. El cambio en la concentración después de la adsorción lo determinaron utilizando un espectrofotómetro UV visible utilizando los modelos de Langmuir y Freundlich para ajustar las isothermas de adsorción a los datos experimentales. Como resultado obtuvieron que las nanopartículas que tuvieron mayor reducción fueron las de sílice modificada al 4% para una concentración de 200 mg/g, puesto que tuvo un 100% de eliminación del crudo a comparación que las de zeolita. (Martínez Aguilar, Cortés y Franco Ariza 2013)

En el año 2004 Investigadores del Instituto Politécnico Rensselaer y la Universidad Hindú Banaras implementaron un método para la producción de filtros de nanotubos de carbono con el fin de eliminar eficientemente los contaminantes o gérmenes de nanoescala que se encuentran en el agua y los hidrocarburos pesados del petróleo, para lograr lo anterior fabricaron nanotubos pulverizando benceno en un molde de cuarzo en forma de tubo, esta composición permiten que los filtros sean fuertes, reutilizables y resistentes al calor. Los experimentos realizados demostraron la eliminación del virus de polio del agua el cual tiene un tamaño de 25 nms, asimismo, eliminación de los patógenos de mayor escala, la bacteria E. Coli. (Martínez Aguilar, Cortés y Franco Ariza 2013)

En el primer semestre del año actual en la Universidad Católica de Colombia se realizó un trabajo de investigación como trabajo de grado en el cual se potencializaba la efectividad de filtración para purificación de agua residual utilizando carbón activado modificado con nanopartículas magnéticas verdes. Investigación que arrojó resultados positivos respecto a los objetivos planteados por los investigadores. (LINAREZ GARCÍA CRISTIAN y GONZÁLEZ ESCOBAR ANYI CAROLINA 2019)

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Uno de los problemas ambientales más graves de la actualidad, es la contaminación en el recurso hídrico, ya que esta contaminación compromete la calidad de vida de las personas, pero también la de los diferentes ecosistemas en la que se encuentra en sus diferentes formas. La presencia de colorantes derivados de la industria en el agua ha sido uno de los problemas que presentan mayor dificultad de remoción por el tamaño de las moléculas de colorantes como el azul de metileno. En el país en los últimos años un problema de ilegalidad en los vertimientos de los procesos industriales ha venido creciendo debido a diferentes condiciones socioeconómicas de lugares donde se presentan estos inconvenientes. las principales consecuencias de la actividad de la industria es el alto impacto ambiental al terreno y lugares adyacentes a él, como lo son la deforestación, desplazamiento de fauna local y la contaminación a cuerpos de agua. Éste último es lo que más preocupa debido la escalada de problemas que trae. En esta actividad, uno de los contaminantes del agua es el azul de metileno, el cual es usado en actividades de la industria, la textilera es la más implicada.

Debido a la cantidad de azul de metileno utilizado se crea una contaminación a largo plazo en la zona, lo que más preocupa son las incidencias que tienen en las personas que en muchas ocasiones se benefician de los cuerpos de agua contaminados. Además de esto, el azul de metileno lo cual genera especies químicas más tóxicas para el ambiente, así como para la salud humana (Español Cano 2012). Según estudios la presencia de azul de metileno en el cuerpo trae enfermedades como deficiencia en sistemas nervioso e inmunológico, aparato digestivo, pulmones riñones y ojos.

Esta contaminación no solo afecta a la población que está en la zona donde se vierte el azul de metileno, sino aguas abajo de los cuerpos de agua ya que este contaminante puede viajar grandes distancias, además que puede estar presente en especies animales que habitan y beben de los cuerpos de agua. Las poblaciones humanas que se alimenten de estos animales que están contaminados también pueden contraer las enfermedades mencionadas anteriormente. En los lugares donde pueden hacer limpiezas de colorantes, ésta resulta difícil ya que no se cuenta con adecuados sistemas para la remoción y que además es costoso.

Las técnicas convencionales de remoción de colorantes de cuerpos de agua por mencionar las más populares son neutralización, precipitación química, absorción por carbón activado, osmosis inversa, técnicas de flotación de espuma, evaporación, cementación, intercambio iónico y la recuperación electrolítica de este compuesto.

De las mencionadas en su mayoría resultan de alto costo por los equipos que se deben usar además que no son muy utilizadas por lo que no se tienen estudios de su efectividad exacta. Las técnicas de menor costo resultan ser la neutralización y el intercambio iónico pero su disposición final resulta ser un problema debido a que se generan grandes volúmenes de lodos y que no disminuyen efectivamente la presencia de los colorantes (Universidad Autónoma del Estado de México. Coordinación General de Investigación y Estudios Avanzados., Campos y Teresa Olgún 2000).

Debido a lo anterior ¿Es factible la remoción efectiva de iones de azul de metileno de cuerpos de agua a partir de la utilización de carbón activado con nanopartículas magnéticas?

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Investigar la eficiencia de remoción de azul de metileno de cuerpos de agua utilizando carbón activado granular modificado con nanopartículas magnéticas verdes.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Sintetizar y caracterizar el carbón activado modificado con nanopartículas magnéticas verdes
- Establecer la eficiencia de remoción del colorante con el material sintetizado en función de condiciones de operación (pH, dosis de material, tiempo, iones de interferencia).
- Realizar el diseño conceptual de una columna de adsorción para la remoción de azul de metileno a escala.

5. JUSTIFICACION

El agua es uno de los recursos naturales más importantes y a su vez más escasos del planeta tierra. Debido al incremento exponencial de la población mundial, el aumento del sector industrial, las actividades agrícolas entre otros han reducido en gran parte la calidad del agua contaminándola y volviéndola menos potable. Es por eso que hay una necesidad urgente de crear técnicas de remoción de colorantes del agua, puesto que son estos los que más generan contaminación y los más complejos de eliminar con los procesos convencionales. Los colorantes en el agua, generan números daños y enfermedades no solo en los seres humanos, sino también en los animales (Talat et al. 2018).

En la actualidad, se producen anualmente aproximadamente 700.000 toneladas de tintes industriales en el mundo, y los desechos generados por actividades industriales, agrícolas y domésticas se tratan en centros de tratamiento especializados o se descargan directamente en el medio ambiente, generalmente en las cercanías. fuentes de agua como ríos, lagos y mares, causando un efecto nocivo en sus organismos vivos. El tratamiento de aguas residuales puede ser simple o complejo, incluyendo una combinación de métodos de purificación física, química y biológica en un intento por recuperar la calidad del agua y, en consecuencia, las propiedades físicas y ecológicas del medio ambiente (Londoño Franco, Londoño Muñoz y Muñoz Garcia 2016).

La contaminación por colorantes es una de las más peligrosas para los ecosistemas acuáticos y para las especies que hay en ellos. Los peces, en comparación con los demás componentes de estos, posee mayor capacidad de absorción y almacenamiento es sus organismos de estos compuestos; por lo que son gran indicador de la contaminación existente. Esta problemática no solo perjudica las especies de peces presentes en los ríos expuestos a las actividades industriales principalmente, sino que su consumo es altamente peligroso debido a que gran parte de la población cercana a los ríos se alimenta de peces. En Colombia, uno de los ríos más perjudicados por la contaminación por colorantes, es el rio magdalena debido a la gran actividad industrial cercana a este, principalmente la minería de oro y la petroquímica (Mancera y Álvarez 2006).

La eliminación de azul de metileno por precipitación es una técnica que puede resultar eficiente y económica, sin embargo, esta técnica incorpora azufre en sus reactivos que no resulta bueno para la calidad del agua y esto puede generar también la perdida de vida de las especies animales principalmente de los peces. También se evidencia

que, por este método, si los precipitados no son retirados oportunamente, el azul de metileno vuelve a aparecer. En 1999, aproximadamente 117 toneladas de peces murieron por causa de la liberación de reactivos utilizados para la eliminación de azul de metileno por este método, lo que no lo hace optimo en opciones de remoción (Atwood y Zaman 2006).

6. DELIMITACIÓN

6.1. ALCANCES

Según lo estipulado por el reglamento de la universidad se cuenta con un periodo académico para el desarrollo del trabajo de grado, en base a un anteproyecto aprobado previamente. Se realizó inicialmente la fabricación del carbón activado modificado con las nanopartículas magnéticas el cual se puso a prueba a partir de mediciones de calidad del agua, de muestra antes y después de su uso. Con esos datos se realizó un análisis y se dieron unas conclusiones que determinaron la eficiencia del uso del carbón activado con nanopartículas magnéticas en la remoción de azul de metileno en el agua. Además, se dio un balance y factibilidad de su uso en grandes cuerpos de agua ya sea en plantas de tratamiento o directamente en la fuente.

6.2. LIMITACIONES

El tiempo establecido para el desarrollo del trabajo fue de alrededor de cuatro meses el cual se pensaba que no era el óptimo para realizar todos los ensayos y mediciones a las muestras de una manera muy profunda pero que si fue suficiente. Los ensayos a las muestras se hicieron en el laboratorio de plantas de tratamiento de la universidad católica que lastimosamente no cuenta con todos los equipos necesarios para examinar todas las propiedades físicas y químicas y así haber tenido mejores herramientas para haber realizado una evaluación detallada de la eficacia del carbón activado a utilizar, no se cuenta con los suficientes recursos económicos por parte de los estudiantes para llevar las muestras a laboratorios especializados.

7. MARCO DE REFERENCIA

7.1. MARCO TEÓRICO

7.1.1. Azul de metileno

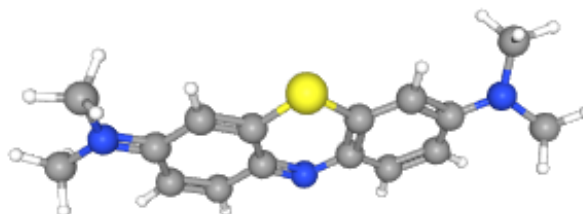
El azul de metileno es compuesto químico, una sal de cloruro orgánico, un colorante básico sintético. Que fue creado por industrias del textil a finales del siglo XIX. Aunque adoptado por el mundo científico debido a su gran potencial como herramienta para hacer procesos de la medicina y microbiología. (Information et al. 2015) Al día de hoy tiene diversos usos en la medicina ya que por sus componentes posee propiedades antioxidantes, antipalúdicas, antidepresivas y cardioprotectores. Usado también como inhibidor de (monoamino oxidasa). Su forma molecular es $C_{16}H_{18}ClN_3S$, (Sills y Zinkham 1994) posee un forma y color en condiciones normales de cristales verdes oscuro o polvo de cloroformo-éter etílico; sus soluciones tienen un color azul profundo y también los tintes sin zinc presentan esta concentración, con un olor ligero, así mismo su punto de fusión esta entre 100-110 °C en descomposición. (He et al. 2015) Es soluble en agua a de 0.14 M o 43,600 mg/L a 25 °C; soluble en etanol y cloroformo, ligeramente soluble en piridina e insoluble en éter etílico. Su presión de vapor 7×10^{-7} mm Hg a una temperatura de 25 °C. su espectro UV: 6-688, datos espectrales orgánicos. (Boylston y Beer 2002)

Ilustración 1. Azul de metileno en estado sólido



Fuente: Artículos de belleza («Color Azul Ácido 324 | Dymaqui» 2012)

Ilustración 2. Estructura molecular del azul de metileno



Fuente:Revista ncbi.(Information et al. 2015)

Ilustración 3. Propiedades del azul de metileno

Nombre de la propiedad	El valor de la propiedad
Peso molecular	319,9 g / mol
Recuento de donantes de enlace de hidrógeno	0 0
Recuento de aceptadores de enlace de hidrógeno	4 4
Conteo de bonos rotativo	1
Masa exacta	319.090997 g / mol
Masa monoisotópica	319.090997 g / mol
Área de superficie polar topológica	43,9 A ^ 2
Gran cantidad de átomos	21
Cargo formal	0 0
Complejidad	483
Recuento de átomos de isótopos	0 0

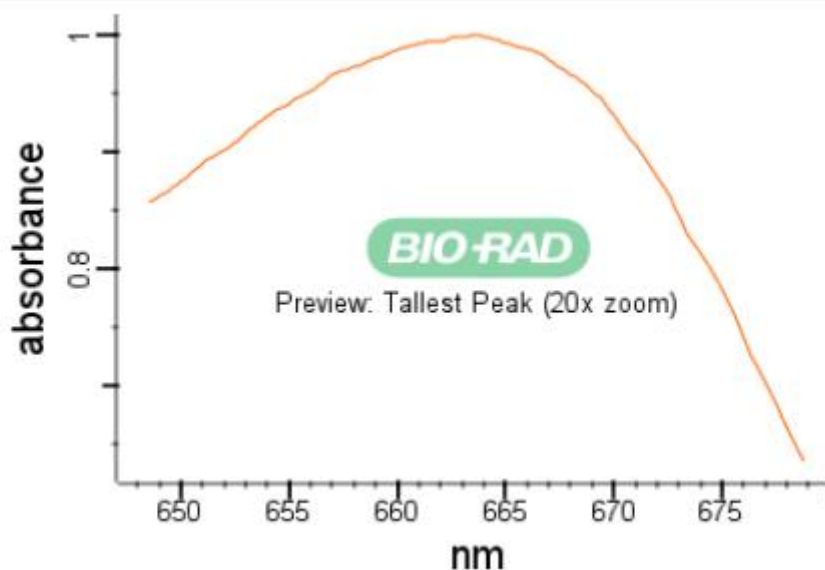
Fuente:Revista ncbi.(Bountogo et al. 2010)

Ilustración 4. Spectro UV-VIS

Identificación del compuesto SpectraBase	FNTSDUMCIVI
InChI	InChI = 1S / C16H18N3S.ClH / c1-18 (2) 11-5-7-13-15 (9-11) 20-16-10-12 (19 (3) 4) 6-8-14 (16) 17-13; / h5-10H, 1-4H3; 1H / q + 1; / p-1
InChIKey	CXKWCBOMKCUKX-UHFFFAOYSA-M
	Búsqueda de Google
Peso molecular	319,85 g / mol
Fórmula molecular	C16H18N3S
Masa exacta	319.090997 g / mol

Fuente:Revista ncbi.(«Methylene Blue - UV-VIS Spectrum - SpectraBase» [sin fecha])

Ilustración 5. Spectro ultravioleta-visible



Fuente:Revista ncbi.(«Methylene Blue - UV-VIS Spectrum - SpectraBase» [sin fecha])

7.1.2. Contaminación del agua por azul de metileno

En los ambientes naturales donde los cuerpos de agua son la columna vertebral, si ésta se encuentra contaminada por colorantes producto de vertimientos de actividades de la industria disueltos se afecta a todos debido a todos los seres

presentes en él se ven afectados como por ejemplo el suelo ya que puede perder parte de sus nutrientes a la pérdida paulatina de ellos. La otra parte de los ecosistemas acuíferos afectada por este colorante es la flora y el suelo de la zona afectada ya que el azul de metileno, todas estas formas químicas contaminantes para cualquier ambiente ya que se interrelacionan con medios terrestres, acuáticos y atmosféricos.

La manera cómo afecta al entorno ambiental aun sea en pequeñas concentraciones es actuar como una barrera pesada, difícil de diluirse en el agua y que obstruye procesos fotosintéticos lo cual genera pérdida de la calidad del agua

7.1.3. Técnicas Convencionales De Remoción De Azul De Metileno

La práctica de vertimientos ilegales por parte de la industria textilera junto con industrias de pintura por ejemplo son los mayores responsables del vertimiento azul de metileno a las cuencas hídricas en el país. Convencionalmente las técnicas utilizadas para la remoción del azul de metileno son precipitación química, intercambio iónico, evaporación concentración, osmosis inversa, electrolisis, filtración y procesos de adsorción.

Este último hace referencia a un proceso en el cual hay una separación en el cual los componentes a remover que se encuentran en una fase fluida se transfieren a un sustrato sólido, quedando entrelazados ya sea física o químicamente a la superficie de adsorción. El elemento predilecto en este proceso es el carbón activado ya que posee gran área superficial, alta capacidad de adsorción, estructura porosa y eficiencia. Se emplea de una manera fija mediante una columna donde el adsorbente se coloca en su interior y el líquido atraviesa la columna en sentido horizontal, ascendente o descendente. Si se emplea para tratamiento de aguas residuales donde el líquido fluye en sentido horizontal y los contaminantes se van separando de manera gradual. Este movimiento progresivo en la zona de adsorción se ha caracterizado mediante curvas de ruptura donde se determinan parámetros como la velocidad de flujo, tiempo de contacto y tamaño del sistema. Se obtiene un punto de ruptura cuando la concentración absorbible alcanza un punto típico del 10% de la concentración inicial lo que ocasiona que se detenga la operación.

Diversos estudios empíricos han tratado de modelar la adsorción dinámica en sustancias gaseosas y en disolución. Uno de estos estudios es el modelado de Bohart y Adams que la velocidad de adsorción es proporcional a la capacidad de adsorción del carbón activado. Para describir el comportamiento gráficamente hasta alcanzar el punto de ruptura se modelo la siguiente ecuación:

$$\ln\left[\left(\frac{C_o}{C_e}\right) - 1\right] = \ln\left(e^{\frac{kN_oZ}{u}} - 1\right) - kC_o t$$

Donde:

K: constante de velocidad de adsorción

N_o: capacidad de adsorción

Z: altura del lecho fijo del adsorbible

U: velocidad del flujo lineal

t: tiempo de servicio de la columna

C y C_o: son respectivamente la concentración del adsorbible a la entrada del lecho y a la salida de la columna a un tiempo t. (Rojas et al. 2012)

Ilustración 6. Ventajas y desventajas de las técnicas de remoción

Tipo de método	Método	Ventajas	Desventajas	Referencias
Físico	Adsorción	Remueve eficientemente varios colorantes. Como alternativas se han usado sílica y recientemente materiales celulósicos obtenidos de residuos agroindustriales (maíz cebada, etc.). Además de su eficiencia, es una tecnología económicamente atractiva.	Algunos de los materiales utilizados, como el carbón activado, tienen costos elevados y pérdidas en la regeneración. Por otro lado, los materiales menos costosos como las virutas de madera, requieren más tiempo de contacto y generan residuos.	Raghavacharya 1997; Nigam et al. 2000; Chandran et al. 2002.
	Filtración por membrana	Se utiliza para remover colorantes que se encuentran en bajas concentraciones. Es un sistema resistente a temperatura y ataques microbianos.	Tiene altos costos. Es ineficiente para la remoción de sólidos disueltos, por lo que son necesarios los tratamientos adicionales.	Xu et al. 1999; Fersi y Dhahbi 2008.
	Intercambio iónico	Es un método muy efectivo para remover colorantes catiónicos y aniónicos. No hay mucha pérdida en la regeneración de los solventes.	Los solventes orgánicos utilizados son caros. Sólo tiene aplicaciones específicas.	Slokar y Le Marchal 1998.
Químico	Electroquímico	Es un proceso relativamente nuevo que tiene una eficiente remoción de colorantes y la degradación de contaminantes sin generar subproductos tóxicos o lodos.	Los costos de la electricidad son altos.	Pelegrini et al. 1999.
	Oxidación	Es uno de los métodos más usados. Involucra el rompimiento de los anillos aromáticos. La oxidación con el reactivo de Fenton es un método adecuado para el tratamiento de aguas residuales resistentes a un tratamiento biológico, sin embargo se forman lodos. El hipoclorito de sodio (NaOCl) al igual que el ozono, son efectivos en el rompimiento de enlaces azo.	El reactivo de Fenton tiene como desventaja la formación de lodos. El uso de hipoclorito de sodio (NaOCl) genera subproductos tóxicos y carcinógenos. El ozono no resulta tan eficiente en oxidación de colorantes dispersos.	Raghavacharya 1997; Pak y Chang 1999.
	Fotoquímico	Se puede utilizar para degradar moléculas orgánicas en CO ₂ y agua, ya sea en lote o en un sistema continuo con cortos tiempos de exposición. No se generan lodos.	Se pueden generar subproductos como halogenuros, metales, ácidos y aldehídos. Sólo es efectivo si las concentraciones de colorantes son bajas. Presenta altos costos.	Yang et al. 1998; Kositzki et al. 2007.
	Coagulación	Presenta buena eficiencia de remoción, se realiza en un periodo corto de tiempo y tiene bajos costos de inversión.	Se obtienen resultados pobres con colorantes ácidos y hay un alto costo de disposición por los volúmenes de lodos que resultan de este método.	Slokar y Le Marchal 1998.

Continuación ilustración 6

Biológico	Bio absorción	La biomasa microbiana puede usarse para absorber y remover colorantes de las aguas residuales. El proceso de absorción puede ir acompañado de una biodegradación.	Este método aún está en etapa de investigación, por lo que no se ha utilizado para tratar grandes volúmenes de agua. También ocasiona problemas en cuanto a la disposición de la biomasa con los colorantes adsorbidos.	Knapp <i>et al.</i> 1997; Chen <i>et al.</i> 1999.
	Bio degradación	Se han aislado microorganismos con la capacidad de degradar diversos colorantes. Se han utilizado consorcios mixtos en sistemas combinados aeróbicos/anaeróbicos para remover colorantes, así como sistemas con células inmovilizadas.	Es necesaria más información fisiológica y genética. Se requiere una larga fase de aclimatación y se presenta resistencia a compuestos recalcitrantes.	Nigam <i>et al.</i> 1996; Supaka <i>et al.</i> 2004; Dafale <i>et al.</i> 2008.
	Enzimático	Las preparaciones de lacasas y peroxidasas ofrecen un método para la decoloración de aguas residuales. Requiere tiempos cortos de contacto. Es muy eficiente para ciertos compuestos.	Es necesario un mayor análisis sobre los subproductos que se generan, estudios de escalamiento y una evaluación económica para poder aplicarse comercialmente. El aislamiento y purificación de las enzimas es difícil. Las enzimas se ven afectadas por un gran número de variables presentes en el agua residual.	Shaffique <i>et al.</i> 2002; Chhabra <i>et al.</i> 2008; Cristóvão <i>et al.</i> 2008.

Fuente: Libro calidad de agua (Cortazar-Martínez et al. 2012)

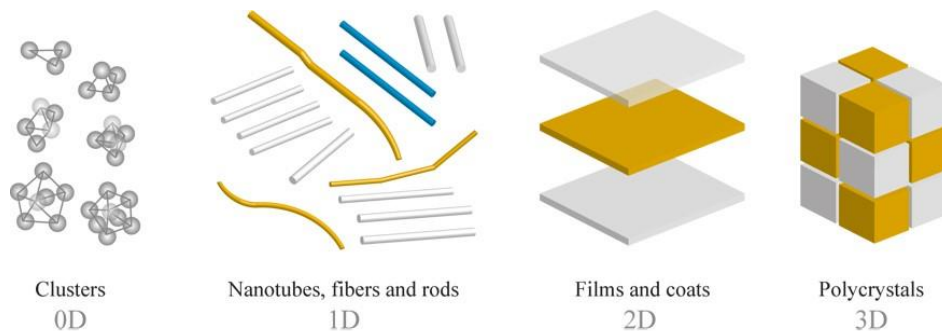
7.1.4. Nanopartículas y nanomateriales

En los últimos años ha venido creciendo un campo de investigación en el mundo científico cuya área de desarrollo es la investigación de fenómenos que ocurren a nano escala.

Que dan origen a la nanotecnología y la nanociencia en la cual se buscan el desarrollo del diseño, fabricación y aplicación de nanoestructuras que abren la puerta al entendimiento y apropiación de las diferentes propiedades de los materiales. A partir de este desarrollo del campo de la ciencia surgen los nanomateriales y las nanopartículas.

Los nanomateriales son de tipo cerámicos, metales, semiconductores, polímeros y combinaciones de los mencionados. Son denominados de tipo nano debido a que una de sus dimensiones se encuentra entre 1 nanómetro y 100 nanómetros por poseer estos tamaños existen unas consideraciones de sus estructuras atómicas y por ende sus propiedades físicas. Los nanomateriales en función a su tamaño de partículas se pueden clasificar dentro de un régimen manométrico referido a sus dimensiones

Ilustración 7. Régimen de los nanometrales



Fuente: Nuevas tecnologías y materiales («Clasificación nano materiales» [sin fecha])

Aunque parezca extraño desde siglos atrás los nanomateriales ya eran usados por el hombre, las civilizaciones de la historia los han usado para acabados a sus objetos religiosos y su joyería.

Las nanopartículas que últimamente han venido ganando importancia en el mundo de la nanociencia son las de tipo metálicas ya que tienen facilidad de síntesis física y química lo que abre la puerta a hacerle modificaciones a sus dimensiones, forma, modificadores de superficie logrando así tener control sobre su comportamiento frente a estímulos como la radiación electromagnética. Así mismo se ha podido avanzar en el conocimiento de su estructura electrónica respecto de su número de átomos.

Lo anterior cobra importancia debido a que cuando las dimensiones de las partículas se encuentran en un intervalo entre los 1nm a 10nm sus tamaños de superficie adquieren características como el confinamiento de electrones, que dan cabida a modificación de propiedades magnéticas, termodinámicas que las relaciona con efectos cuánticos por ello a las nanopartículas magnéticas también son conocidas como puntos cuánticos.

Su otra característica es su superficie que por su tamaño tiene incremento en áreas superficiales por una unidad de volumen y energías superficiales respecto a sólidos volumétricos. Sus átomos en la superficie tienen uniones débiles lo cual incrementa su energía libre superficial lo que modifica sus propiedades como su punto de fusión, reactividad química, entre otras. También aparecen fenómenos por su superficie como la absorción óptica en la que sus propiedades como composición y tamaño se pueden variar. (Claudia Gutiérrez Wing [sin fecha])

7.2. MARCO CONCEPTUAL

- Nano: prefijo del sistema internacional de unidades (10^{-9}). En unidad de medida se refiere a la mil millonésima parte de un metro (nm), es decir un nanómetro.
- Nanotecnología: ciencia en la que se estudian todos aquellos sistemas en una escala nanométrica, se analiza toda la materia desde estas dimensiones entre 1 nm-100 nm, en esta escala se evidencian propiedades y fenómenos que se rigen bajo leyes de la mecánica cuántica. («Que es Nanotecnología? | Avances en Nanotecnología» [sin fecha])
- Nanopartículas magnéticas: nanopartículas que pueden ser manipuladas por un campo magnético, sus principales componentes son elementos como el hierro, níquel, cobalto y sus compuestos. Su tamaño esta comúnmente entre los 1nm- 100 nm.
- Carbón activado: carbón poroso que se usa para la absorción de contaminantes, gases y toxinas, purificación de agua. Se caracteriza por tener grandes cantidades de microporos del orden de 2nm de radio. Es conocido como el adsorbente estándar del azul de metileno, aunque débil si el azul de metileno se encuentra en estado acuoso.(Morsen y Rehm 1990)
- Calidad del agua: son un conjunto de datos cuantitativos y cualitativos a partir de mediciones a una muestra de agua ya sea que esta sea cruda, tratada o residual. Este conjunto de datos consta de variables físicas (turbiedad, color, sabor, olor, temperatura, solidos), químicas (PH, conductividad, acides, alcalinidad, dureza, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, sustancias químicas), o biológicas e índices estipulados en las reglamentaciones vigentes.(Torres Lozada, Cruz Vélez y Patiño 2009)

8. ESTADO DEL ARTE

La remoción del azul de metileno del agua ha sido un tema llamativo en la investigación de nuevas tecnologías en las últimas décadas. Según una estimación reciente, el aporte global anual total de colorantes al medio ambiente proveniente de fuentes naturales, antropogénicas y naturales son de aproximadamente 5500 toneladas.(Atwood y Zaman 2006)

Si hablamos de absorbentes del azul de metileno, uno de los principales y de mejor rendimiento es el carbón activado. Por las numerosas pruebas realizadas con este método, se ha encontrado que es bastante eficaz para purificar corrientes de aguas que lo contienen. Jyotsna indicó en uno de sus más recientes informes que el azul de metileno es fácilmente removible del agua utilizando carbón activado a base de cáscara de coco. Según Jyotsna, la facilidad de eliminación de este era dependiendo de la cantidad de solvente, pH y concentración del azul de metileno. Según su informe, en las pruebas realizadas también encontraron que la absorción de azul de metileno aumentó su porcentaje cuando el pH del mismo aumentaba, lo que indica una relación directamente proporcional entre estos.(Atwood y Zaman 2006)

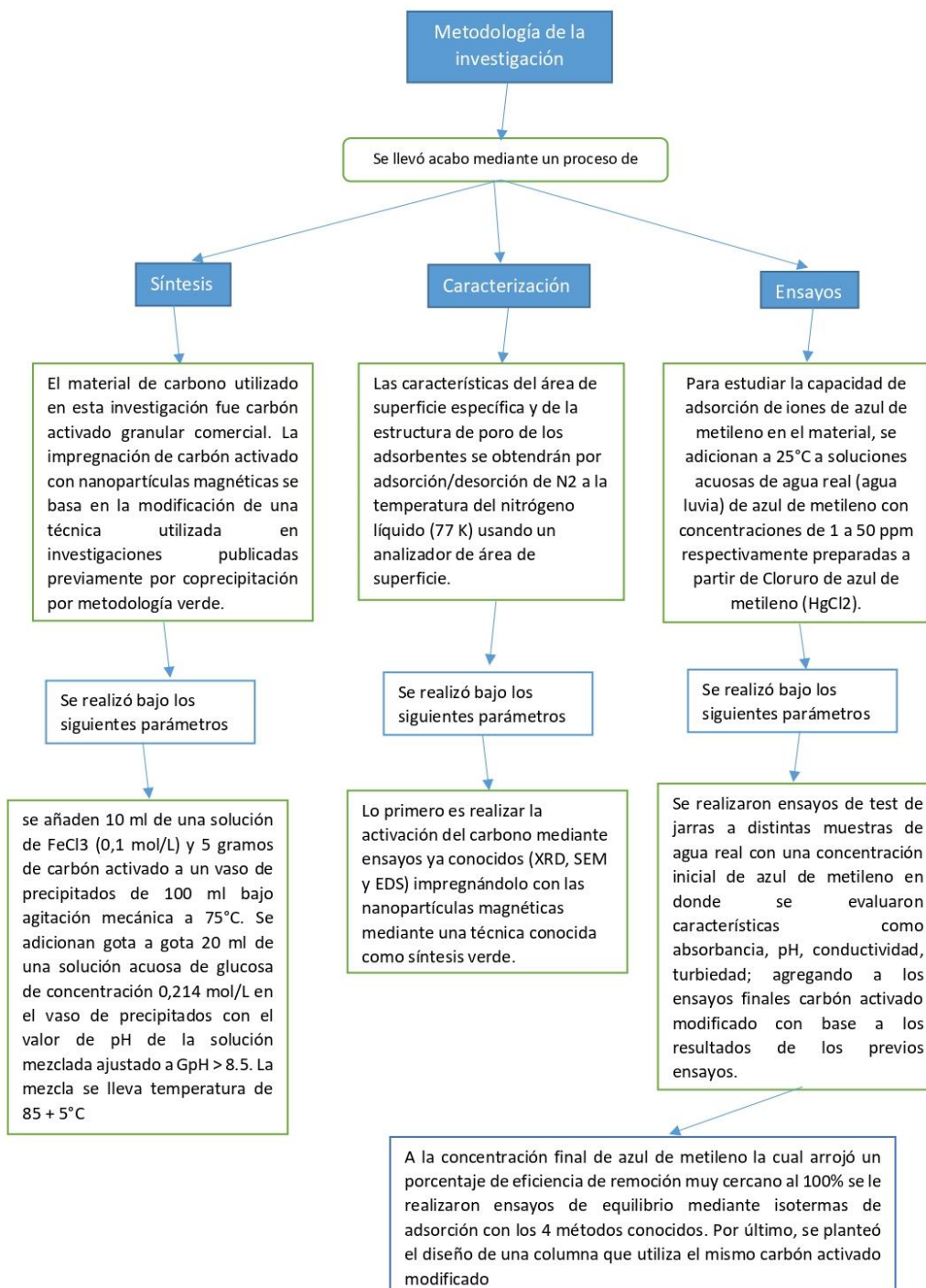
Varios investigadores han desarrollado nuevos tipos de materiales nanoporosos, más eficaces que los filtros convencionales. Como ejemplo podemos hablar de un estudio que se realizó en Sudáfrica, que demostró que se puede generar agua potable a partir de unas membranas de nanofiltración. También un equipo de investigadores de los EE.UU. y de la India desarrollaron filtros que contenían nanotubos de carbón activado que tienen la capacidad de eliminar virus y bacterias de manera eficaz y más eficiente que los filtros convencionales.(«Filtros eficientes producidos a partir de nanotubos de carbono | Noticias y Eventos» [sin fecha])

A parte del carbón activado, también hay materiales de origen natural como las arcillas de atapulguita y zeolitas que son también utilizados en los nanofiltros. Estos materiales se pueden encontrar en muchos lugares del mundo y por su naturalidad de poros nanométricos, no es necesario ser modificados. En Argelia, una central lechera realizó un estudio con el uso de membranas de arcilla de atapulguita para la filtración de aguas residuales donde demostró que esos materiales son capaces de reducir materiales orgánicos presentes en estas aguas de manera económica y eficaz, brindando así la posibilidad de potabilizar el agua.(«Nanotecnología para obtener agua limpia: hechos y cifras - SciDev.Net América Latina y el Caribe» [sin fecha])

Según estudio realizado en el año 2012 por estudiantes de la Universidad Central, Universidad Nacional y la Universidad Pedagógica y Tecnología de Colombia, donde se realizó pruebas a muestras de agua que estaban contaminadas a causa de vertimientos indiscriminados por parte de industrias del textil, usando la técnica de remoción por absorción con carbón activado; determinaron que el carbón activado granular procedente de la carbonización y activación de cuesco de coco; es un sólido adecuado para los procesos de remoción de iones Hg^{2+} presentes en aguas de drenaje de minería de carbón de la región de Guachetá. La capacidad de remoción y la vida útil de las columnas dependen de las características del sólido (Área superficial, tamaño de poro, grupos superficiales y capacidad de intercambio iónico), como también de la geometría de la columna, de la concentración absorbible, de la velocidad de flujo, de la altura del lecho absorbente, y de la naturaleza misma del drenaje (Rojas et al. 2012).

9. METODOLOGÍA

Ilustración 8. Esquema de la metodología



Fuente propia

9.1. SÍNTESIS DEL MATERIAL

El material de carbono utilizado en esta investigación fue carbón activado granular comercial. La impregnación de carbón activado con nanopartículas magnéticas se basa en la modificación de una técnica utilizada en investigaciones publicadas previamente por coprecipitación por metodología verde. De manera general, se añaden 10 ml de una solución de FeCl_3 (0,1 mol/L) y 5 gramos de carbón activado a un vaso de precipitados de 100 ml bajo agitación mecánica a 75°C . Al alcanzar esta temperatura, se adicionan gota a gota 20 ml de una solución acuosa de glucosa de concentración 0,214 mol/L en el vaso de precipitados con el valor de pH de la solución mezclada ajustado a $\text{pH} > 8.5$. La mezcla se lleva temperatura de $85 \pm 5^\circ\text{C}$ y se mantiene la reacción durante otra hora. Al final de este período, las nanopartículas se separan por aplicación de campo magnético y después se lavan varias veces con agua desionizada y alcohol, para posterior secado a 60°C durante 12 horas.

9.2. CARACTERIZACIÓN

Las características del área de superficie específica y de la estructura de poro de los adsorbentes se obtendrán por adsorción/desorción de N_2 a la temperatura del nitrógeno líquido (77 K) usando un analizador de área de superficie. Las propiedades magnéticas del material fueron estudiadas mediante medidas de magnetómetro de muestra vibratoria (VSM Lakeshore, Modelo 665) a una temperatura de 300K y con mediciones de magnetización en función del campo aplicado en un rango entre -30 kOe a 30 kOe. Los grupos funcionales expuestos en la superficie del material y que serán responsables de la remoción de contaminantes, se determinará mediante espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier en un equipo *SHIMADZU IR Prestige21 FTIR Spectrometer*, donde la muestra se diluye en KBr y se hacen 150 barridos leídos por un detector de nitrógeno líquido en el método de transmitancia. El tamaño físico de las partículas se medirá a través de microscopia electrónica de barrido SEM en un *CARL ZEISS MODELO EVO-HD-MA-15* donde. La caracterización cristalográfica se realizará a través de un análisis de difracción de rayos x en un *PROYECTO X'PERT PRO MPD PANalytical*, donde el material obtenido es sometido 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 es determinado por mediciones de potencial Zeta en un Nano Zvernizador Malvern (ZS90), los valores reportados serán el promedio de 5 mediciones las cuales cada una serán realizadas en medio acoso y bajo un potencial a diferentes valores de pH.

9.3. ENSAYOS DE REMOCIÓN DE AZUL DE METILENO

Para estudiar la capacidad de adsorción de iones de azul de metileno en el material, se adicionan a 25°C a soluciones acuosas de agua real (agua lluvia) de azul de metileno con concentraciones de 1 a 50 ppm respectivamente preparadas a partir de Cloruro de azul de metileno (HgCl_2). El potencial de adsorción fue medido a diferentes valores de pH (4-10) ajustados con soluciones de (0.1M) de NaOH o HCl a una concentración de material magnético de 100g/L una velocidad de agitación de 180 rpm por un tiempo estándar de 2 horas.

La concentración de los iones de azul de metileno azul de metileno (II) fue medida por espectroscopia UV mediante la formación del complejo $\text{Hg}(\text{CNS})_4^{-2}$ que puede ser medido en la región ultravioleta en una longitud de onda de 281nm (Vieira y Beppu 2006, 2005) así como la aplicación del equipo HM3000. La capacidad de adsorción se calcula sobre la diferencia de concentraciones al inicio y final del proceso por medio de (Ortiz-Martínez et al. 2016, 2015):

$$q = \frac{(C_0 - C_f)V}{m}$$

Donde q_e es el equilibrio de adsorción de la capacidad (mg/g), C_0 y C_f son las concentraciones iniciales y el equilibrio (mg/l) del ion en la solución, V es el volumen (l) de solución tomada y m es la masa (g) de adsorbente usado. Teniendo en cuenta las condiciones favorables arrojadas por los ensayos para la adsorción, se estudió la cinética y las isotermas de adsorción.

9.4. CINÉTICA DE ADSORCIÓN

La cinética de la adsorción describe la velocidad de captura del adsorbato y su conocimiento permite predecir la velocidad a la cual el contaminante se remueve del efluente tratado. Por tal razón se requiere el conocimiento de las leyes de velocidad que describen el sistema de adsorción. La capacidad de adsorción de iones de Hg (II) se estudia como función del tiempo y así se establece un tiempo de contacto óptimo de adsorción de Hg (II) sobre el nanomaterial.

9.5. ISOTERMAS DE ADSORCIÓN

Aquí se buscará determinar la capacidad máxima de adsorción del material, adicionando diferentes cantidades de adsorbente manteniendo constante la concentración inicial del azul de metileno, la temperatura y el pH inicial. A partir de

estos resultados, se aplican los modelos típicos de adsorción por lotes para determinar la capacidad máxima de adsorción (Tabla 1).

Tabla 1. Modelos de isothermas de adsorción a utilizar

Isoterma	Expresión matemática
Langmuir	$\frac{C_e}{q_e} = \frac{C_e}{q_m} + \frac{1}{K_L q_m}$
Freundlich	$q_e = K_F C_e^{1/n}$
Temkin	$q_e = B \ln(A) + B \ln(C_e)$
Sips	$q_e = \frac{q_m (K_F C_e)^{1/n}}{1 + (K_F C_e)^{1/n}}$

Fuente propia

10. RESULTADOS

10.1. CARACTERIZACIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO

El carbono a utilizar en esta investigación es el granular de tipo comercial, este pasara por dos procesos que se describen a continuación:

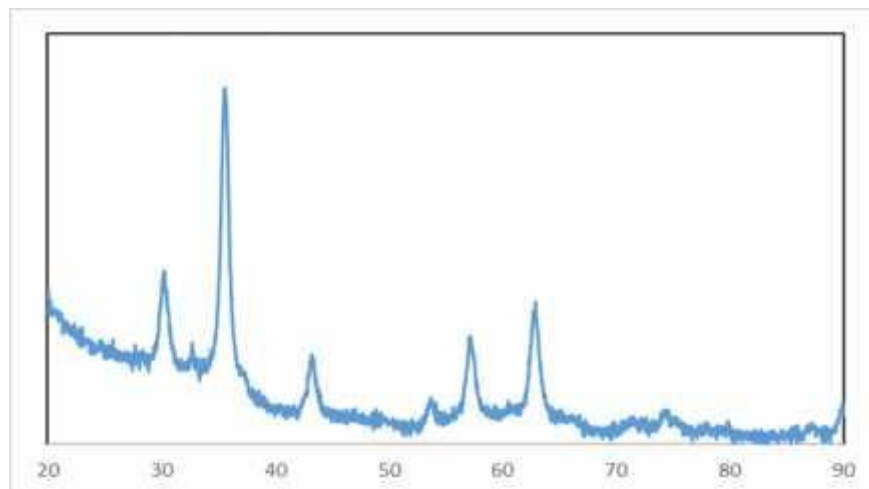
10.1.1. Procedimiento

Lo primero es realizar la activación del carbono mediante ensayos ya conocidos (XRD, SEM y EDS) impregnándolo con las nanopartículas magnéticas mediante una técnica conocida como síntesis verde.

10.1.1.1. Ensayo XRD

Sus siglas hacen referencia al ensayo de difracción de rayos X, en este procedimiento se realiza la caracterización cristalográfica de las nanopartículas utilizadas (Fe_3O_4) y mediante el difragtograma comprobar si corresponde con el diagrama estándar para este tipo de material magnético, a continuación, se presenta los datos obtenidos.

Ilustración 9. Difragtograma del compuesto Fe_3O_4



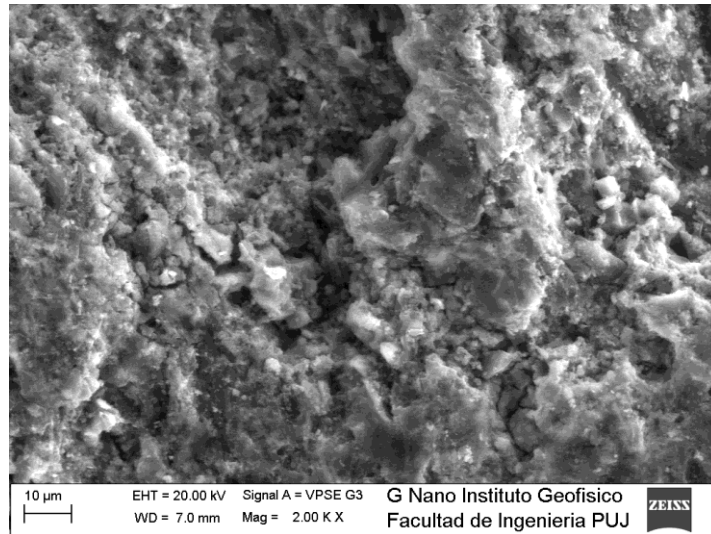
Fuente propia

10.1.1.2. Ensayo SEM

Se conoce como microscopia electrónica de barrido, para encontrar el tamaño de las nanopartículas se realiza una detección y emisión de electrones, a su vez se encuentra también el correspondiente porcentaje de hierro, Oxígeno y carbón

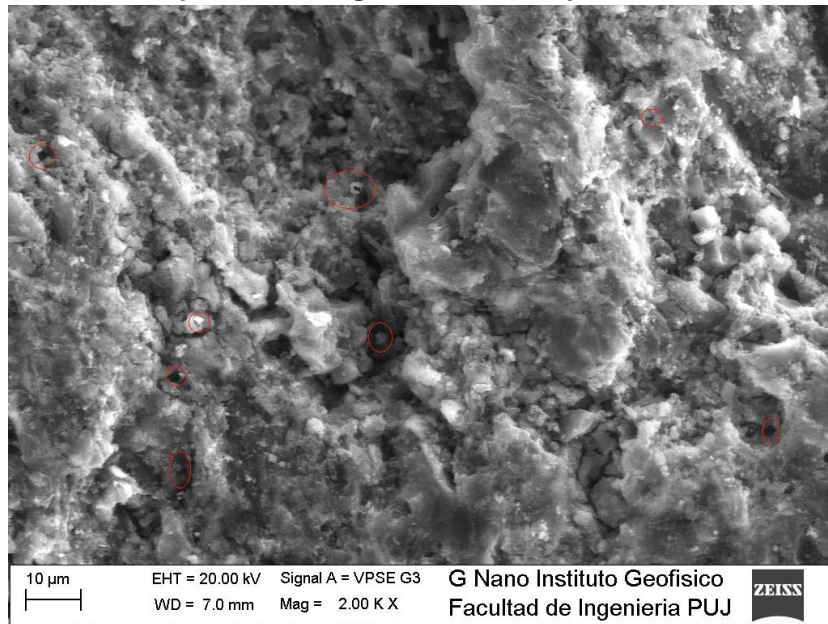
además de otras posibles partículas que se convierten en impurezas, datos que se sintetizan en una imagen, la cual se muestra a continuación.

Ilustración 10. Imagen microscópica carbón activado



Fuente propia

Ilustración 11. Nanopartículas magnéticas en la superficie del carbón activado

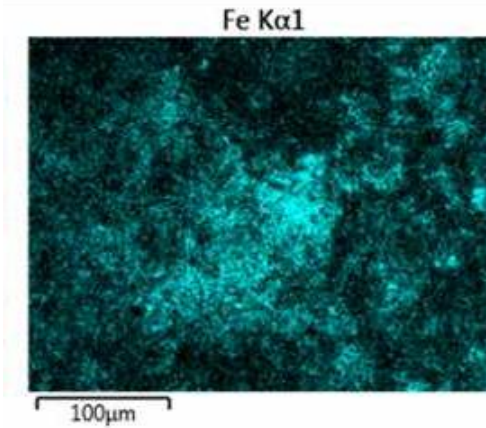


Fuente propia

Las imágenes anteriores detallan la superficie del carbón activado donde se puede evidenciar el tamaño menor a 10 μ m de las nanopartículas que se impregnaron en el carbón activado, además también en la siguiente imagen se puede apreciar el

contenido de hierro en una visión microscópica de las partículas magnéticas impregnadas en el carbón activado.

Ilustración 12. Concentración de hierro de las partículas magnéticas

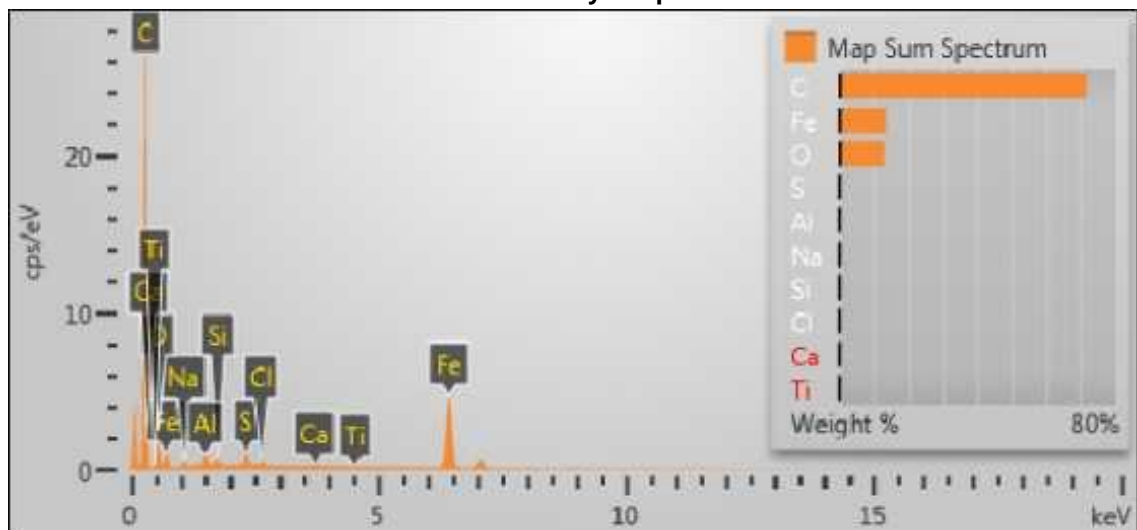


Fuente propia

10.1.1.3. Ensayo EDS

Sus siglas traducen espectrometría de dispersión de rayos X, este ensayo es usado para determinar el porcentaje aproximado de los elementos químicos que contiene la muestra analizada, los cuales se muestran en la tabla a continuación.

Ilustración 13. Resultados obtenidos del ensayo espectrómetro



Fuente propia

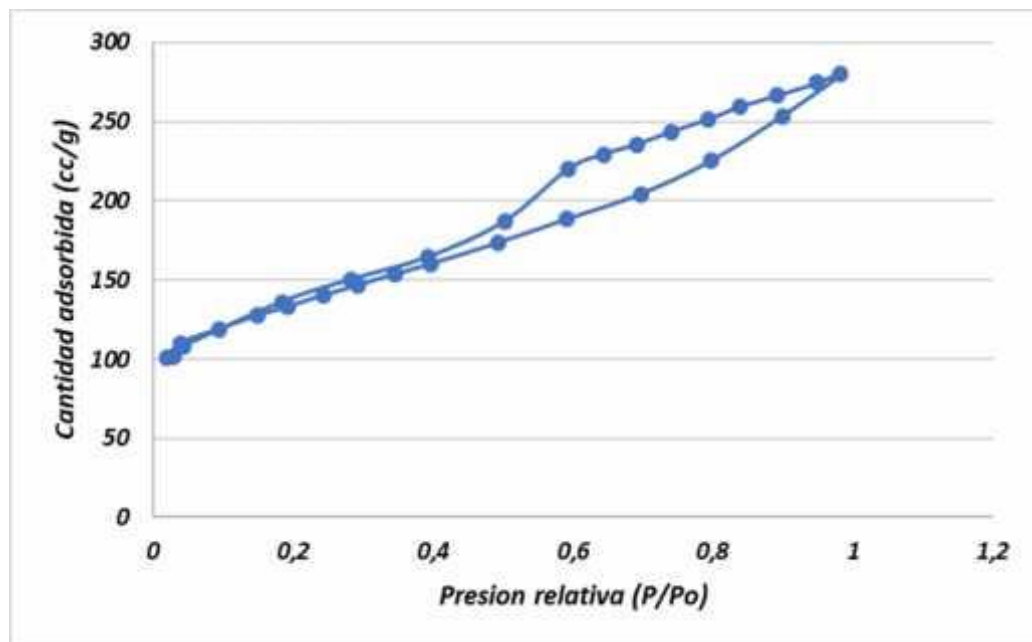
10.1.2. Características

Sintetizado el carbono se le trabajara para conocer características físicas como tamaño de las nanopartículas, área superficial, propiedades magnéticas y los grupos funcionales.

10.1.2.1. Área superficial

Para obtener este dato se utilizó el método por el cual mediante la adsorción de nitrógeno a baja temperatura (77 k) usando un micromerítico (ASAP 2010 M), a su vez también se empleó la técnica de Brunauer Emmett and Teller (BET), que resulta ser la más efectiva para la distribución y determinar el volumen de los microporos y mesoporos presentes en la muestra de carbón activado, los datos se muestran a continuación.

Ilustración 14. Análisis de Brunauer- Emmett- Taller (BET) de MNPs



Fuente propia

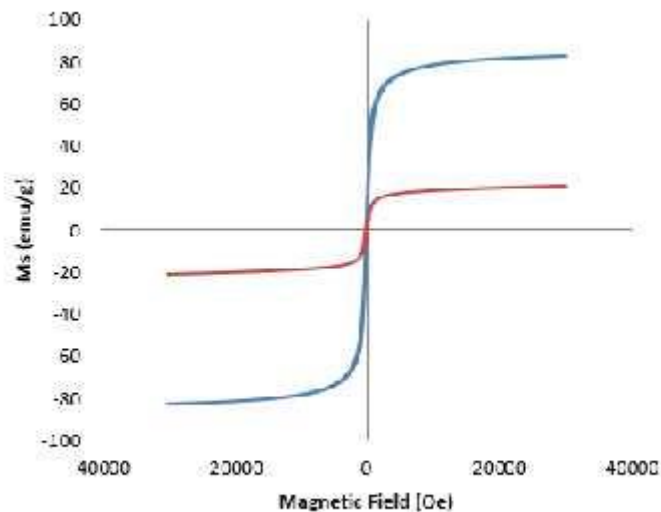
En la gráfica se evidencia la cantidad absorbida de nitrógeno en estado gaseoso que fue adsorbida- des adsorbida por la muestra lo que muestra el comportamiento típico para una estructura mesoporosa. Para este caso, la muestra posee un diámetro medio de poro de 70 nm y un área superficial de PV-M-AC fue de 286 m²/g. por ser

mesoporosa tendrá una mayor área superficial con material activo lo que a su vez contribuye a una mejor remoción de material cuando sea empleado.

10.1.2.2. Propiedades magnéticas

Para la determinación de esta característica se realiza por medio la curva de saturación magnética de las nanopartículas sintetizadas se presenta en la siguiente gráfica. En ella se evidencia que la línea roja corresponde a la magnetización del carbón activado con nanopartículas magnéticas, la magnetización de esta muestra alcanza un valor de 20 emu/g, lo que da como resultado aproximadamente un 22% al valor teórico de magnetización. la línea azul corresponde a la magnetización que tienen las nanopartículas magnéticas la cual alcanza un valor de 82.4 emu/g, valor aproximado al teórico de ~ 90 emu/g. A su vez, se observa de la gráfica que material no muestra bucles de histéresis magnéticos y su remanencia es cero por lo que el nanomaterial tiene un comportamiento superparamagnético.

Ilustración 15. Magnetización de las MPs sintetizadas

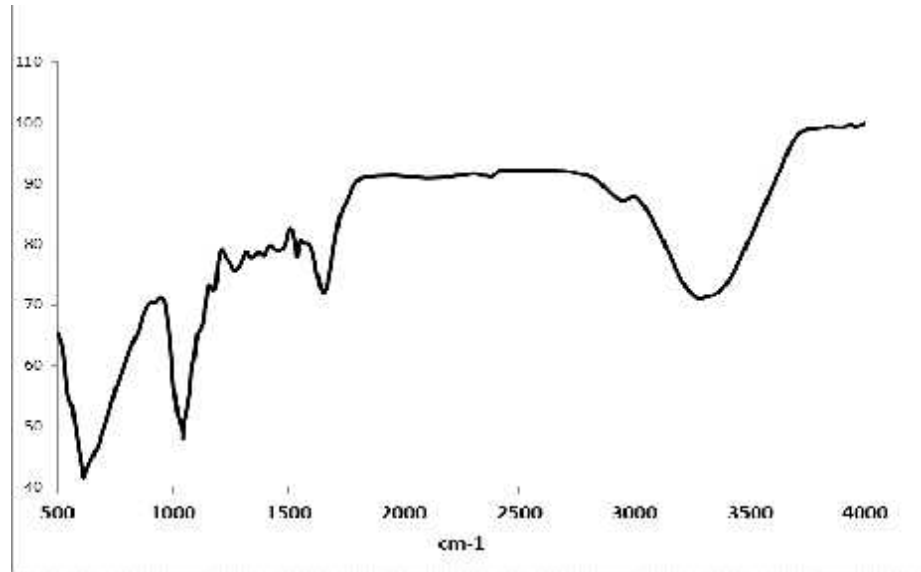


Fuente propia

10.1.2.3. Grupos funcionales

Este ensayo se realizó mediante una espectrometría infrarroja, la cual arrojó todos los grupos presentes en la muestra de carbón activado, los resultados se muestran a continuación.

Ilustración 16. Grupos funcionales de la muestra de carbón activado con Nanopartículas



Fuente propia

Se deduce la distribución de los grupos funcionales actuantes de la siguiente manera en función a una longitud de onda (655 μm).

hierro (Fe), carboxilos (-COOH), Carbón (C) e hidroxilos (OH). Los picos son ~ 500 , ~ 1000 , ~ 1400 y ~ 3000 respectivamente. (Jiang et al. 2019)

10.2. CURVA DE CALIBRACIÓN

Es necesario tener una curva de ajuste para realizar las equivalencias de los datos de absorbancia que se medirán a una concentración teórica de azul de metileno en las distintas etapas de los ensayos de laboratorio para una correcta remoción de colorante.

10.2.1. Informe de curva de calibración

Datos de entrada

- Agua lluvia
- Azul de metileno en estado líquido a una concentración de 0.1 molar

- Probeta
- Biker de 250ml y 500ml
- 2 pipetas de 10ml
- Espectrómetro

Se tomó como referencia concentraciones usadas en anteriores investigaciones que son 100g/ml. Se prepara una solución inicial de 0,93ml de azul de metileno en 300ml de agua lluvia.(Othman et al. 2018)

A partir de esa solución madre se varían las concentraciones de azul de metileno y de agua lluvia en un Biker de 10ml el cual es colocado en el espectrómetro, con una longitud de onda de **655mn**, en el cual se mide la absorbancia. Los datos obtenidos se muestran a continuación:

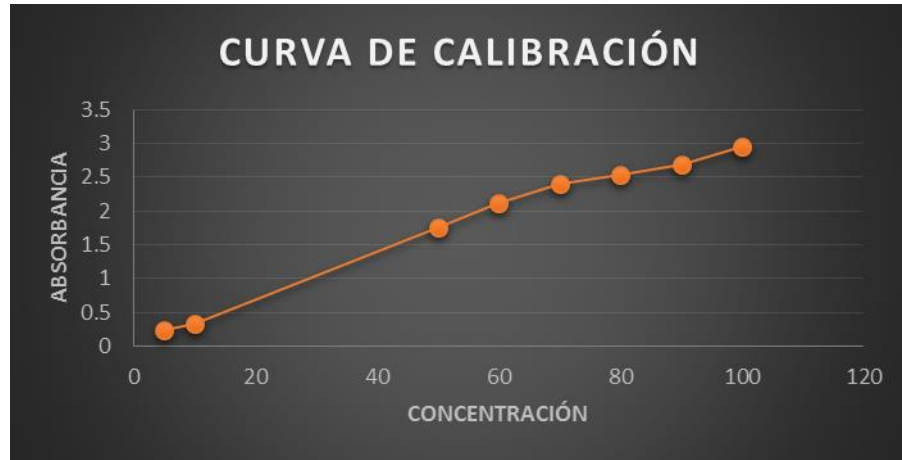
Tabla 2. Datos del ensayo de la curva

Concentración (g/ml)	Absorbancia
5	0,242
10	0,324
50	1,758
60	2,114
70	2,399
80	25,278
90	2,679
100	2,948

Fuente propia

A partir de los datos anteriores se obtiene la siguiente grafica

Gráfica 1. Curva de calibración



Fuente propia

Su respectiva ecuación:

$$y = 0.0295X + 0.1576$$

10.3. ENSAYOS

A partir de observaciones con distintos ensayos se logró determinar la concentración adecuada de azul de metileno para trabajar, la cual debe tener un color azul rey. Se trabaja con azul de metileno en estado líquido al 0.1% molar, de la cual se extraen 18.6ml que se agregan a una muestra de 6000ml de agua lluvia. Con esta concentración de azul de metileno se desarrollarán los ensayos de laboratorio necesarios para determinar la eficiencia de remoción de los iones de metilo que están en el agua de muestra.

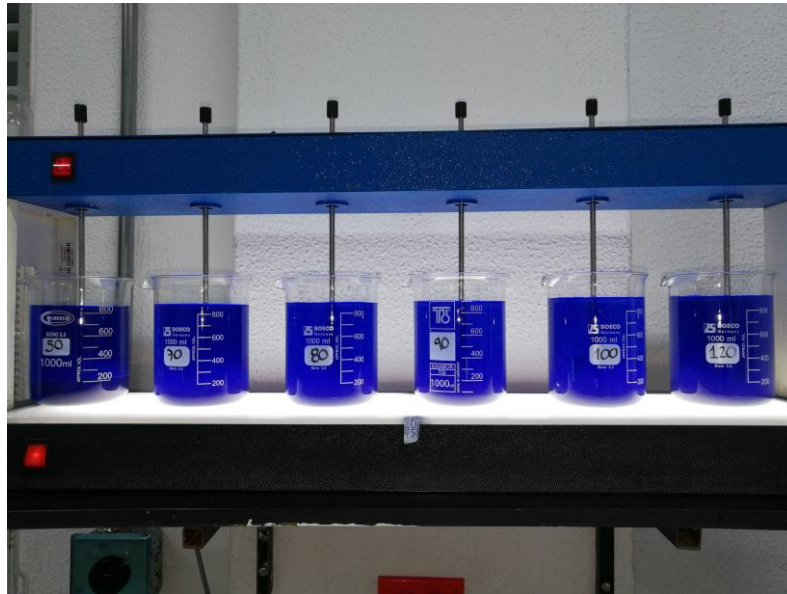
Debido a que el agua a tratar se quiere emplear para fines agrícolas no es necesario medir todos los parámetros de calidad de agua que la norma colombiana exige como lo es la demanda química de oxígeno (DBO), metales pesados, sólidos suspendidos totales, etc.

Los parámetros que si se midieron fueron la absorbancia, el pH, la conductividad, la turbiedad y la temperatura.

- El primer ensayo que se realizó fue el test de jarras utilizando el sulfato de aluminio tipo B como coagulante y bentonita como químico adicional para

optimizar la coagulación. En este laboratorio se usaron 0.6g de bentonita los cuales se adicionaron a la solución inicial de 6 L de agua, en otra probeta se preparó la solución en 1L de agua destilada y se adicionaron 0.1g del coagulante.

Ilustración 17. Test de jarras



Fuente propia

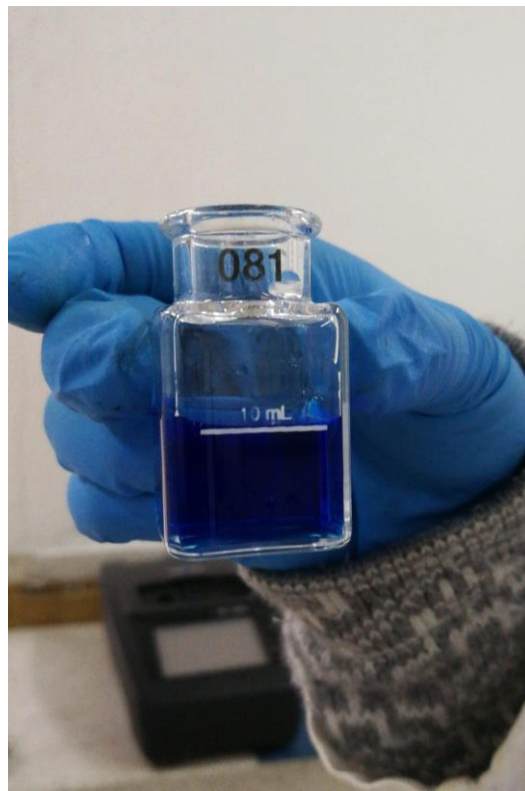
En el experimento se llenan 6 Biker de 1000ml de capacidad, cada uno con 800ml de la muestra inicial, a la cual se le agrega la solución del coagulante en distintas cantidades en cada uno de los Biker, inicialmente con la máquina para el test de jarras se hace una mezcla rápida inicial de 20 revoluciones en 1 minuto, posteriormente se coloca a 20 revoluciones en 20 minutos, transcurrido este tiempo se toma una pequeña muestra de 10 ml la cual es colocada en un espectrofotómetro y se mide la absorbancia. Los datos obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 3. Datos primer ensayo

Concentración de coagulante (g/ml)	Absorbancia (655) μm
0.50%	0,024
0.70%	0,016
0.80%	0,017
0.90%	0,017
1.00%	0,014
1.20%	0,016

Fuente propia

Ilustración 18. Muestra para el espectrofotómetro



Fuente propia

Utilizando la ecuación obtenida en la curva de calibración se obtiene la respectiva concentración del azul metileno para las distintas concentraciones de coagulante que se muestra en la siguiente tabla:

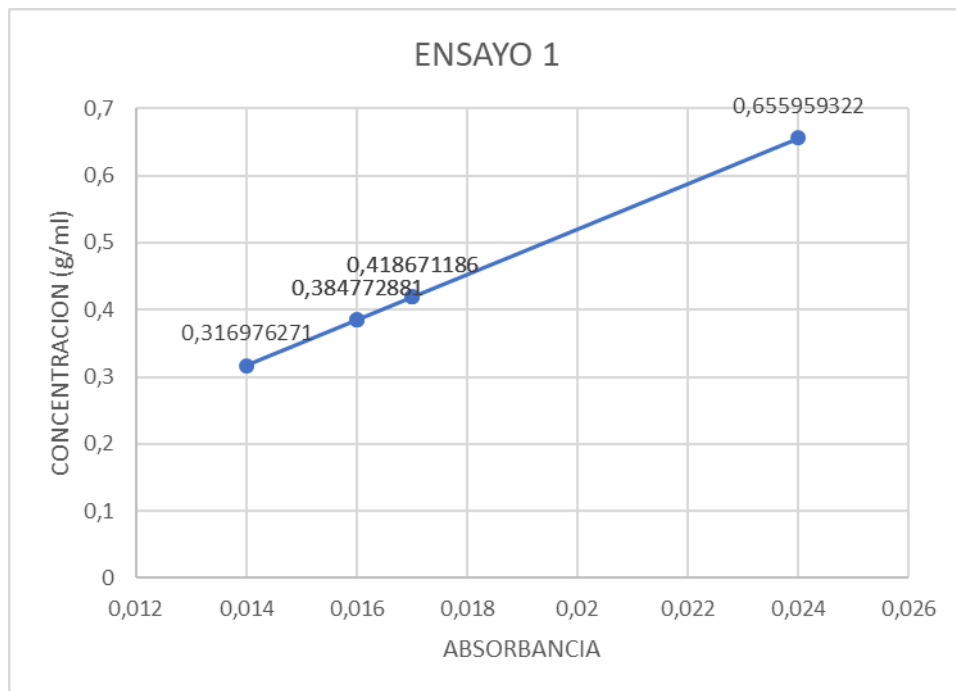
Tabla 4. Concentración de azul de metileno

Concentración (g/ml)
0,655959322
0,384772881
0,418671186
0,418671186
0,316976271
0,384772881

Fuente propia

Se pudo determinar que el comportamiento grafico de los resultados tiende a ser el de una parábola cóncava hacia arriba, por lo cual ni la mayor concentración de coagulante ni la menor dará el mejor resultado de absorción, es decir que según los datos obtenidos la cantidad optima de coagulante a usar en los siguientes ensayos será de 70ml.

Gráfica 2. Relación absorbancia-concentración



Fuente propia

- El siguiente ensayo que se realizó consistió en modificar el pH de la solución adicionando pequeños volúmenes de ácidos y bases, realizando previamente en mismo test de jarras que se hizo en el ensayo anterior. Una vez terminado

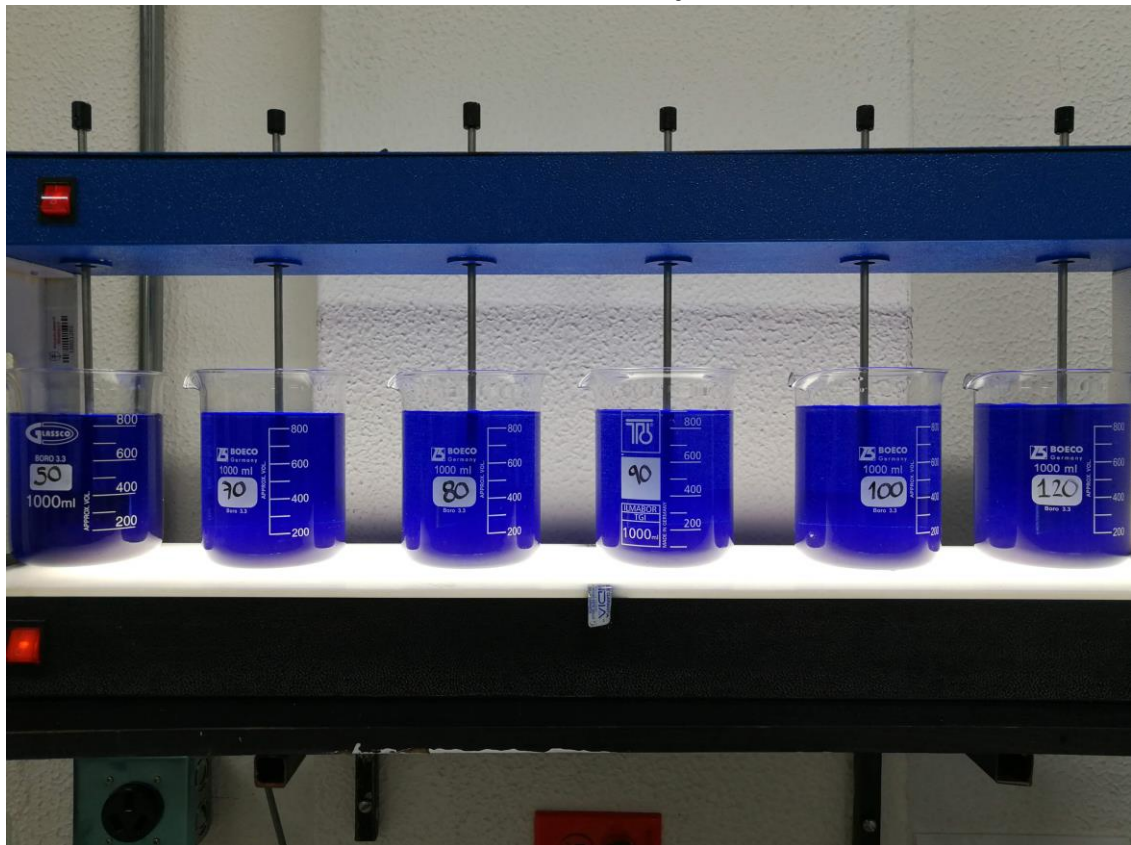
el test de jarras se mide la absorbancia y el pH. Los datos obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 5. Datos de segundo ensayo

Muestra	Absorbancia	Absorbancia	pH
sin nada	-0,02	-0,05	6,158
0.1ml de base	-0,06	-0,05	6,504
0.2ml de base	-0,01	-0,02	6,578
0.05ml de acido	-0,01	-0,06	6,664
0.1ml de acido	-0,05	-0,03	6,707
0.2ml de acido	-0,07	-0,03	6,748

Fuente propia

Ilustración 19. Test de jarras



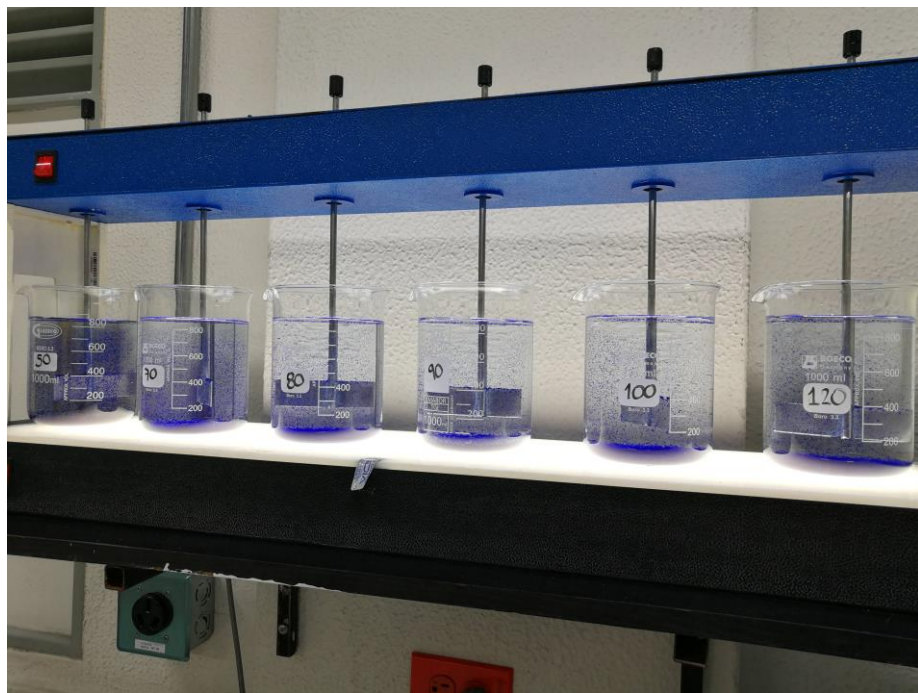
Fuente propia

Como la absorbancia de todas las muestras ensayadas son negativas, se determina que la concentración de azul de metileno en cada una de estas es 0.

Según la resolución 2115 de 2007 de la normativa colombiana en la cual se encuentran los valores máximos de las características físicas de la calidad del agua, explícitamente para el pH exige que este se encuentre en un rango de 6.5 – 9.

De los datos obtenidos se evidencia que el agua de la muestra conserva su pH, algo ácido por estar por debajo de 7 y que sube un poco luego del ensayo hasta casi acercarse a 7, todos los valores obtenidos cumplen con los valores que la norma establece.

Ilustración 20. Test de jarras



Fuente propia

También se puede evidenciar que la concentración de azul de metileno es menor respecto a la inicial.

- Con el carbón activado modificado sintetizado previamente se quiere conocer la cantidad óptima que se le debe colocar dentro de los Biker para optimizar la remoción de azul de metileno, por ende se realiza el mismo test de jarras realizado anteriormente solo que a este, una vez finalice el ensayo se extraen del Biker de 800ml una muestra de 250ml a la cual se le agrega el carbón

activado modificado y posteriormente se le miden todos los parámetros mencionados. Los datos obtenidos en el ensayo se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 6. Datos de tercer ensayo

Contenido carbono (g)	Absorbancia	pH	Conductividad (microsiemens/cm)	Turbiedad (UNT)
0,5	0,15	7,31	125,2	1,5
1	0,1	7,92	126,9	1,5
1,5	0,08	7,6	130,9	1,19
2	0,015	7,1	130,1	1,4
2,5	0,06	6,951	135,9	1,3

Fuente propia

Ilustración 21. Ensayo con carbón activado modificado



Fuente propia

Utilizando la ecuación obtenida en la curva de calibración se obtiene la respectiva concentración del azul metileno para las distintas cantidades de carbón activado utilizado y se muestran en la siguiente tabla:

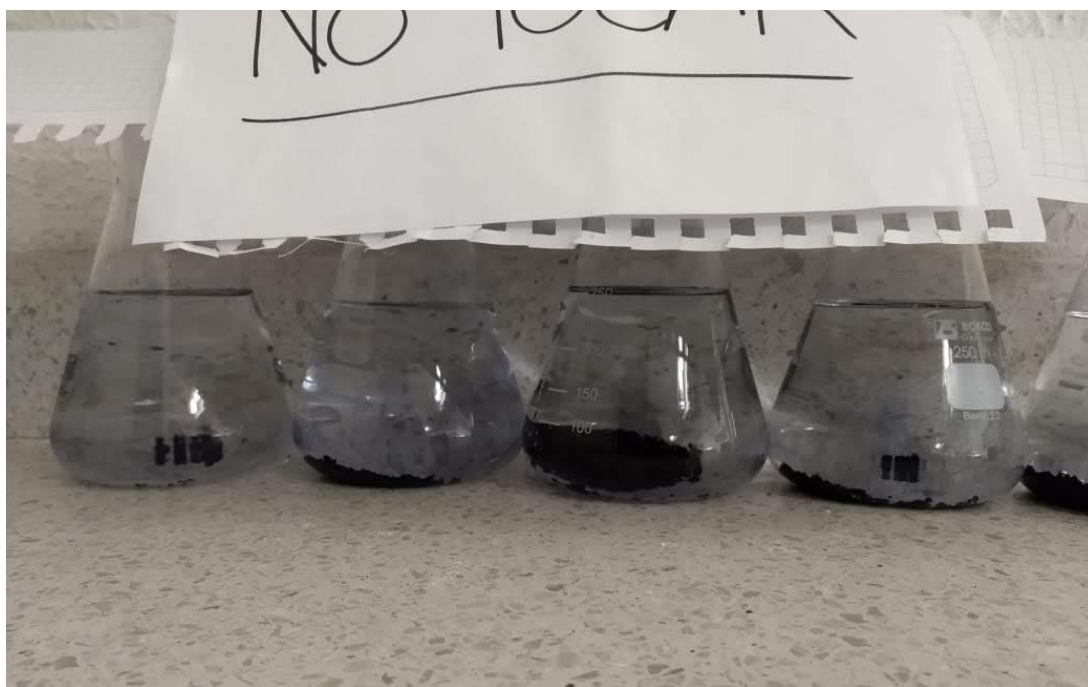
Tabla 7. Concentración final de azul de metileno

Concentración (g/ml)
0.350874576
0.181383051
0.113586441
0.350874576
1.876298305

Fuente propia

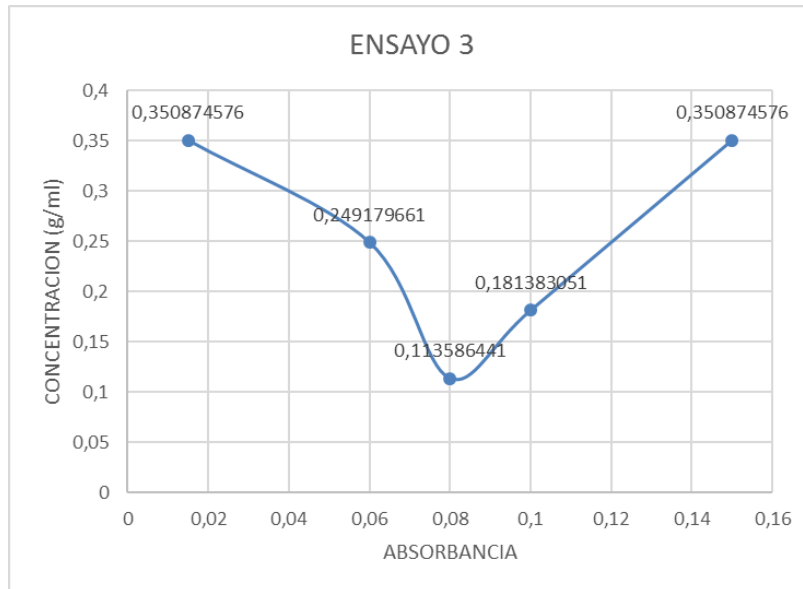
En la resolución 2115 de 2007 también se mencionan los valores máximos para las características físicas de la calidad del agua de turbiedad cuyo valor máximo es 2 UNT, para la conductividad su valor máximo es 1000 microsiemens/cm y el rango de 6.5-9 para el pH. Los valores encontrados en el ensayo para las distintas cantidades de carbón activado modificado cumplen a cabalidad con los parámetros que la norma exige, aunque la cantidad de 2g del carbón es la que da como resultado una menor concentración de azul de metileno respecto de las otras.

Ilustración 22. Sedimentación de azul de metileno



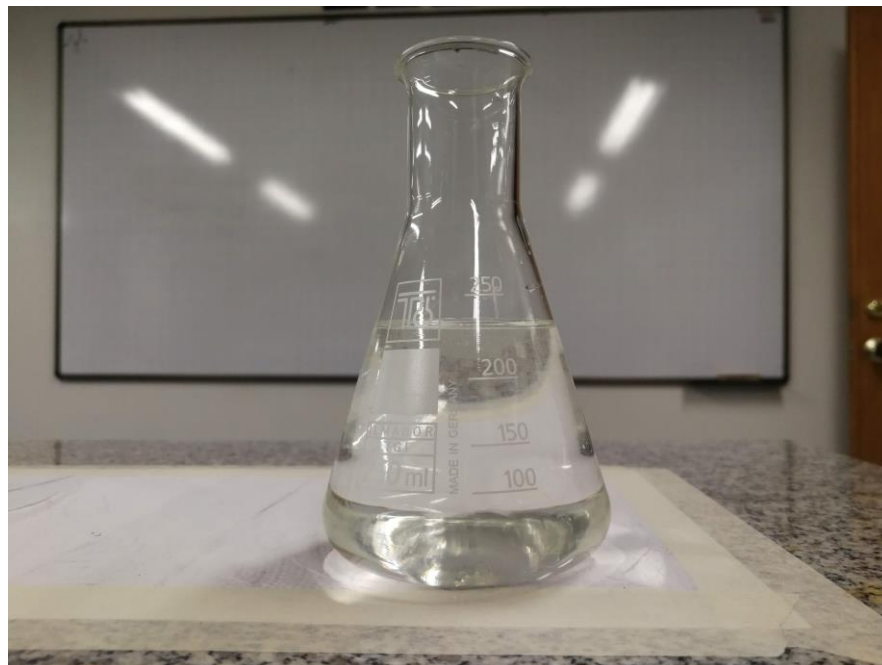
Fuente propia

Gráfica 3. Relación final de absorbancia-concentración



Fuente propia

Ilustración 23. Muestra final de agua



Fuente propia

Finalmente hallamos el valor de q cuya ecuación se mencionó en el numeral 9.3, se determinó su valor con los datos obtenidos durante los ensayos realizados.

Tabla 8. Determinación valor q

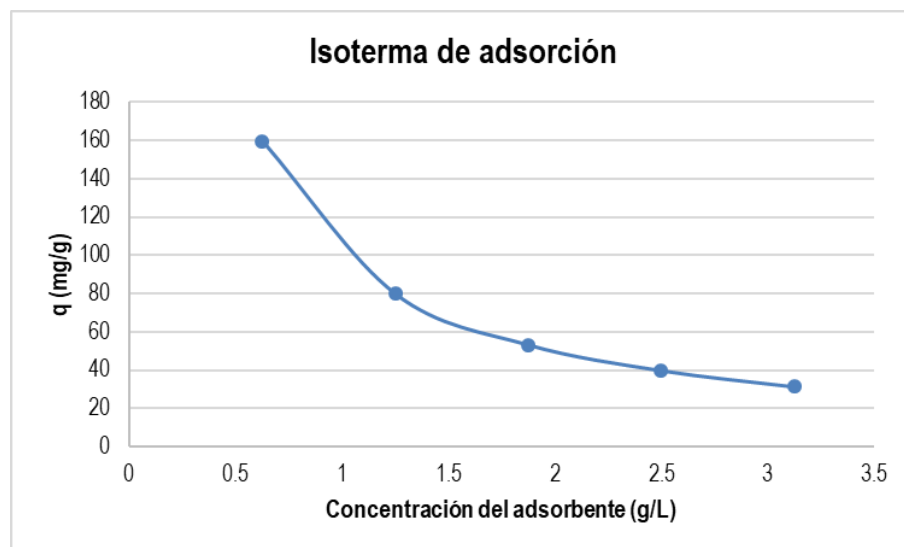
Concentración Final	Concentración Inicial	Masa	Volumen ml	C adsorbente	q
0,350874576	100	0,5	0,8	0,625	159,438601
0,181383051	100	1	0,8	1,25	79,8548936
0,113586441	100	1,5	0,8	1,875	53,2727539
0,350874576	100	2	0,8	2,5	39,8596502
1,876298305	100	2,5	0,8	3,125	31,3995845

Fuente propia

10.4. ISOTERMAS DE ADSORCIÓN

La isoterma de adsorción representa la proporción de la adhesión de un material en una superficie a temperatura invariable, constituyendo la cantidad de material unido a la superficie como una función del material presente en la disolución. A relaciones superiores de concentración del azul de metileno con respecto al nanomaterial, el gradiente de concentración sirve como fuerza de dirección para superar la resistencia a la transferencia de masa que propicia un favorecimiento a la adsorción.

Gráfica 4. Isotherma de adsorción final

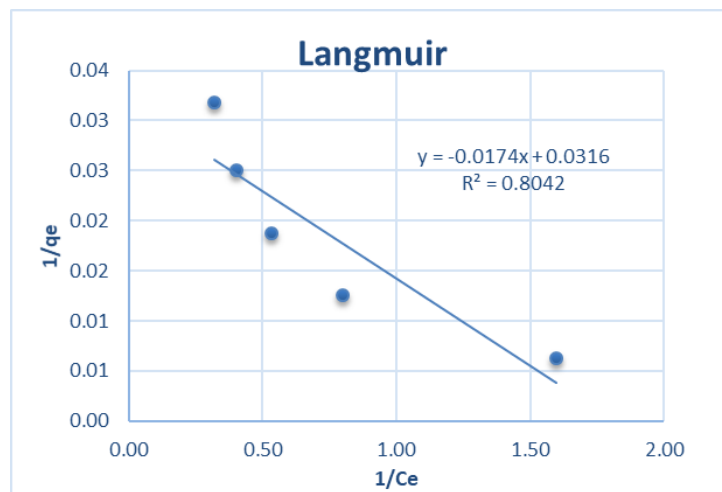


Fuente propia

Como se pudo notar, la capacidad de la adsorción del material disminuye con el aumento en la dosis de dicho material. Esto sucede ya que, por la alta concentración inicial de azul de metileno utilizado, a menor cantidad de nanopartículas magnéticas hay una mayor disponibilidad de los sitios activos hacia los iones de azul de metileno.

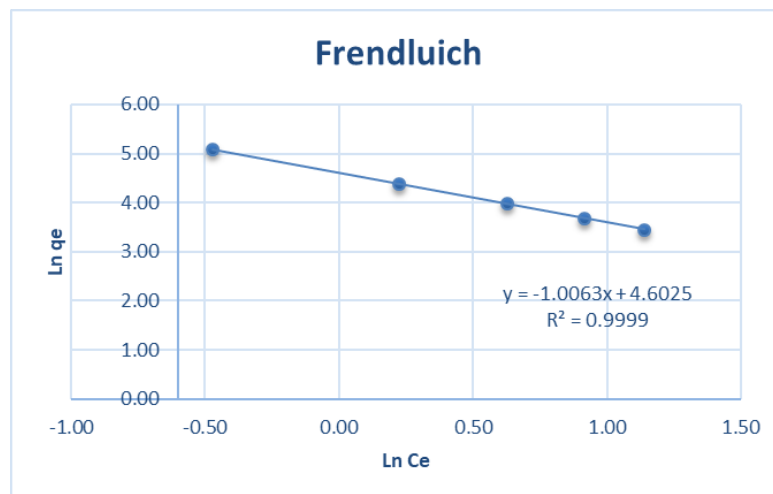
Para determinar el mecanismo de adsorción y la capacidad máxima de adsorción, se realizaron los ajustes lineales de los modelos isotérmicos.

Gráfica 5. Ajuste lineal por método de Langmuir



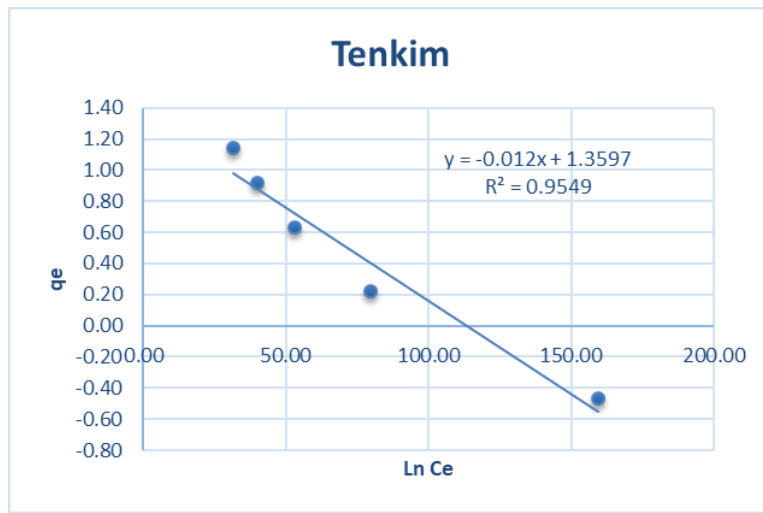
Fuente propia

Gráfica 6. Ajuste lineal por método de Freundlich



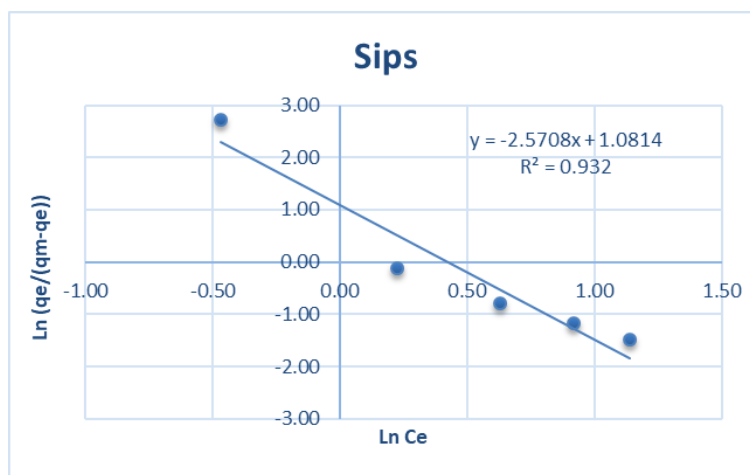
Fuente propia

Gráfica 7. Ajuste lineal por método de Tenkim



Fuente propia

Gráfica 8. Ajuste lineal por método de Sips



Fuente propia

Se pudo observar que, para la adsorción de azul de metileno, el modelo que mejor se ajusta es el de Freundlich. Esto es debido a que en la interacción adsorbato/adsorbente, la energía de adsorción disminuye linealmente a medida que aumenta la deposición de iones metálicos sobre los sitios activos

Se evidencia visualmente que la que posee un mejor R^2 es la del modelo Freundlich, ya que su valor es muy cercano a 1 y que todos sus puntos están sobre la recta, sin

embargo, se observa que en las demás graficas su respectivo R^2 no está distanciado de 1, por lo que la adsorción se realizó exitosamente.

A continuación, se muestra en la siguiente tabla los valores que corresponden a las constantes de las respectivas fórmulas que se emplearon para cada modelo.

Tabla 9. Parámetros de las constantes de los modelos

Ensayo	Constantes	Valor
Lagmuir	qm	57,47126437
	Kl	1,482112436
Frendluich	Kf	99,73333758
	n	0,993739442
Temkin	A	1,008864536
	B	1,3597
Sips	qm	57,47126437
	Kf	10,77564721
	n	0,924727205

Fuente propia

Fue necesario linealizar las ecuaciones para poder determinar las constantes a partir de las ecuaciones de las gráficas respectivas de cada modelo. Se muestran los modelos con las respectivas ecuaciones teóricas que se usan para el equilibrio de adsorción. (Marimon Bolivar [sin fecha])

10.5. DISEÑO DE LA COLUMNA DE CARBÓN ACTIVADO

Teniendo como base lo expuesto en libro “tratamiento de agua residuales de R.S. Ramalho” y la tesis de grado “OPTIMIZACIÓN DE UN SISTEMA DE FILTRACIÓN CON NANOMATERIALES PARA LA MEJORA DE LOS INDICES DE CALIDAD DEL AGUA” de la Universidad Católica de Colombia presentada en el primer semestre del año vigente, a juicio nuestro se adopta y propone un diseño de columna expuesto por estos autores, el cual es el más adecuado para usarlo en la remoción de azul de metileno y teniendo en cuenta los valores de q obtenidos como resultados de los

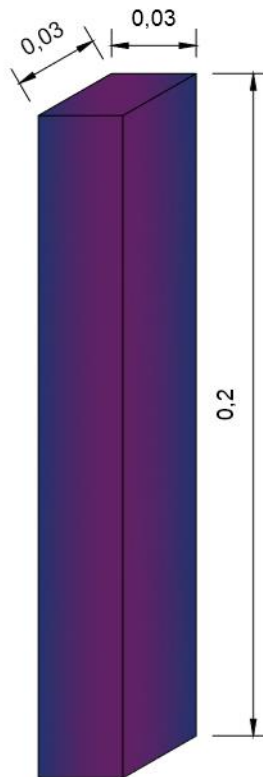
ensayos. Se debe priorizar el área de la columna y la altura útil de carbón activado modificado con las nanopartículas.

Se adopta una columna cuadrada de lado 25.4 mm del cual se obtiene:

- Área de la columna: 0.000645 m^2 .
- El caudal a trabajar debe estar en el orden de $1 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$.
- La velocidad de filtrado debe estar entre los 0.1 a 0.01 m/s.

La razón por la que los valores físicos del agua con el azul de metileno son tan bajos es debido a que para garantizar una eficiente remoción de los iones de metilo la interacción entre ellos y el carbón modificado debe ser lenta y constante, además el uso de imanes en las paredes de la columna optimizará la remoción de los colorantes en el agua y podrá permitir el reúso de la columna para unas cuantas filtraciones más, respetando siempre los parámetros mencionados anteriormente.

Ilustración 24. Modelo conceptual de la columna



Fuente propia

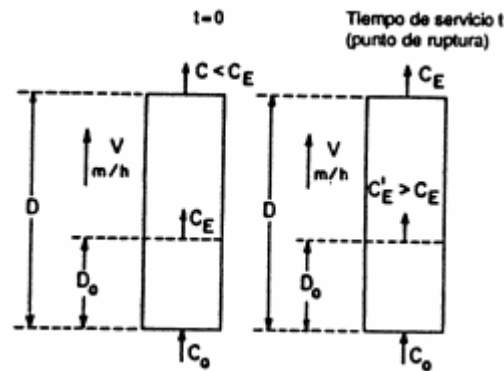
- La altura útil del carbón activado modificado con las nanopartículas debe estar en el intervalo de 0.1m a 0.3m.

Para el diseño de la columna se parte de la ecuación de Bohart y Adams, ecuación que establece condiciones de equilibrio y parámetros como durabilidad del carbón, altura de este y su respectiva curva de ruptura.

La ecuación parte de una concentración de soluto inicial C_0 (mg/l) que se quiere llevar hasta una concentración menor C_E (mg/l). El diseño tiene en cuenta que al principio la columna parte con una calidad inicial que con el pasar de un tiempo (t), llegara a un punto de ruptura.

La profundidad crítica (D_0) de la columna se describe como la altura mínima para que la concentración del soluto no exceda el valor C_E .

Ilustración 25. Concepto de profundidad crítica del lecho D_0



Fuente propia

La altura crítica de la columna también es llamada altura de transferencia de masa siendo designada como HMTZ, la velocidad de desplazamiento de esta zona UMTZ es

$$u_{MTZ} = (D - D_0)/t$$

La capacidad de adsorción N_0 , que es la concentración máxima de soluto que el carbón puede absorber ($\text{kg soluto}/\text{m}^3$).

$$N_0 = \frac{86,4Q}{v} \int_{t=0}^{t=t_c} (C_0 - C_t) dt \quad \text{kg de soluto}/\text{m}^3 \text{ de carbón}$$

Donde v es el volumen de carbón activado y Q el caudal, las concentraciones del efluente y el afluente C_0 y C_E , esta ecuación también puede escribirse como

$$\left[\begin{array}{l} \text{DQO total} \\ \text{eliminada} \\ \text{hasta la} \\ \text{ruptura} \end{array} \right] = 86,4Q \int_{t=0}^t (C_0 - C_e) dt \quad \text{kg DQO}$$

La DQO total alimentada a la columna es

$$r = KC,$$

$$\left[\begin{array}{l} \text{DQO total} \\ \text{perdida en el} \\ \text{efluente hasta} \\ \text{la ruptura} \end{array} \right] = 86,4Q \int_{t=0}^t C_e dt \quad \text{kg DQO}$$

En la que el producto $C_0 t$ es el área del rectángulo de la ecuación anterior en el cual la base descansa sobre las abscisas y la altura es C_0 , la DQO de la total que se pierde en el efluente, que es la que no se trata la adsorción:

$$\left[\begin{array}{l} \text{DQO total} \\ \text{perdida en el} \\ \text{efluente hasta} \\ \text{la ruptura} \end{array} \right] = 86,4Q \int_{t=0}^t C_e dt \quad \text{kg DQO}$$

Otro de los parámetros de la ecuación principal es la constante de velocidad K , que supone una velocidad de adsorción de primer orden, en otras palabras, esto es.

Cuyas unidades de son (l de solución) / (g de carbón) (h).

De los procesos anteriores Bohart y Adams plantean como ecuación principal de diseño:

$$\ln[(C_0/C_E) - 1] = \ln(e^{KN_0 D/V} - 1) - KC_0 t$$

Con esta ecuación se determinan las dimensiones de la columna y el tiempo óptimo de servicio de esta. Ramalho contempla el uso de esta ecuación proponiendo para un mismo diámetro varias alturas, haciendo ensayos variando velocidad y caudal midiendo las concentraciones finales, determinado así las condiciones ideales de la columna ajustadas con la ecuación para usar en la columna real. («R. S. Ramalho-

Tratamiento de Aguas Residuales - 2Ed Spanish (2009)» [sin fecha])(LINAREZ GARCÍA CRISTIAN y GONZÁLEZ ESCOBAR ANYI CAROLINA 2019)

11. CONCLUSIONES

- El uso de las nanopartículas en este método de remoción demostró ser eficaz, ya que permitió una coagulación más rápida e hizo que los Flock de azul de metileno se sedimentaran a una velocidad mayor a raíz del uso de imanes en las paredes de los recipientes que además los mantuvo en el fondo del recipiente.
- El tamaño de las nanopartículas sintetizadas fue menor a los 100um, valor que cumple con la medida para poder catalogarlas en el orden de un nanómetro (1um).
- En el proceso de caracterización de las nanopartículas, más específicamente en el ensayo XRD sus resultados son congruentes con los ya estandarizados.
- En el ensayo de las propiedades magnéticas del compuesto sintetizado su porcentaje de magnetización fue inferior y cercano al estándar que es de 90%, además que el valor correspondiente es de 20 emu/g.
- A pesar de que el agua con la que se trabajó fue agua lluvia, sus características fisicoquímicas no se alejan de las del agua que se utiliza en los procesos industriales en los cuales se usan colorantes y que posteriormente termina siendo contaminada con estos. Los datos trabajados y propuestos funcionan de similar manera con esta agua.
- Este método de remoción, aunque es un poco lento, proporciona buenos resultados además de generar bajos volúmenes de contaminantes. Hay que tener en cuenta que el azul de metileno que se ha sedimentado continua con sus características contaminantes por lo cual es de suma importancia realizar una buena disposición evitando que este, vaya a parar de nuevo en algún cuerpo de agua.
- Para la reutilización del carbón activado modificado utilizado en la columna, es necesario dejar el material con agua destilada por al menos 36 horas para tener una eficiente limpieza de sus partículas y que puedan ser usadas nuevamente sin pérdida de la eficiencia de remoción de los colorantes.
- Para cuerpos de agua que estén en movimiento es recomendable usar la columna propuesta, aunque como se mencionó, la columna trabaja con bajos caudales y velocidades, es decir, que para caudales grandes de agua que estén contaminados con colorantes, no tiene efectividad el uso de este método de remoción del azul de metileno.

12. RECOMENDACIONES

- Se realizaron varios experimentos antes de determinar la cantidad optima de azul de metileno a usar en los 6000ml de agua lluvia, debido a que se pudo comprobar que para altas concentraciones de colorante no es posible realizar un proceso de coagulación ni de remoción y que sería un desperdicio de tiempo y material el aplicar altos volúmenes de carbón modificado y de anticoagulante.
- El método de remoción del azul de metileno propuesto es recomendable para agua contaminada con partículas en estado de suspensión, proceso aplicable al agua residual antes de que esta sea evacuada de una fábrica o de proceso que aplique.
- En el caso que se quiera usar esta técnica en una fábrica, es necesario realizar un sistema donde el agua sea transportada en diferentes celdas donde en cada una se le apliquen los diferentes procesos hasta llegar a aquella celda donde el agua se encuentre limpia y esta se vierta o se reutilice. Realizándolo en este método, permite la extracción de las partículas de los colorantes y además de la limpieza del carbón para su reutilización.
- Es importante dar a conocer las consecuencias de la contaminación de azul de metileno de los cuerpos de agua en especial cuando se produce en cuencas hídricas que abastezcan de agua potable a la población, ya que muchos creen que solo da un pigmento momentáneo al agua y que no representa un riesgo para la salud humana.
- Es significativo reforzar el control por parte de las autoridades ambientales a las industrias que generan estos tipos de residuos, debido a que solo en los últimos años se le ha dado la importancia que se necesita. Evidentemente también dar a conocer a la comunidad los riesgos que este colorante puede traer a la salud y la afectación que genera al ecosistema que llega.
- No se recomienda tener en la columna una altura útil mayor al valor máximo establecido, ya que una eficiente remoción se produce con estos valores y el uso de mayor cantidad de carbón no necesariamente garantiza mayor eficiencia de la remoción de colorantes, además que se estaría desperdiciando material que puede ser usado en más filtraciones.

13. BIBLIOGRAFÍA

- ATWOOD, D.A. y ZAMAN, M.K., 2006. Mercury removal from water. *Structure and Bonding*, vol. 120, no. November 2005, pp. 163–182. ISSN 00815993. DOI 10.1007/430_013.
- BAREÑO, I.R.A. y FIGUEROA, M.A.M., 2016. *Diseño, Propuesta e Implementación de un Filtro para Tratamiento de Aguas de Uso Doméstico en Tanques de Reserva en la Población del Casco Urbano de la Inspección de San Antonio de Anapoima*. S.l.: s.n.
- BOUNTOGO, M., ZOUNGRANA, A., COULIBALY, B., KLOSE, C., MANSMANN, U., MOCKENHAUPT, F.P., BURHENNE, J., MIKUS, G., WALTER-SACK, I., HEINER SCHIRMER, R., SIÉ, A., MEISSNER, P. y MÜLLER, O., 2010. Efficacy of methylene blue monotherapy in semi-immune adults with uncomplicated falciparum malaria: A controlled trial in Burkina Faso. *Tropical Medicine and International Health*, vol. 15, no. 6, pp. 713–717. ISSN 13602276. DOI 10.1111/j.1365-3156.2010.02526.x.
- BOYLSTON, M. y BEER, D., 2002. Methemoglobinemia: a case study. *Critical care nurse*, vol. 22, no. 4, pp. 50–55. ISSN 02795442.
- Clasificación nano materiales. , [sin fecha].
- CLAUDIA GUTIÉRREZ WING, P.E., [sin fecha]. *Las NANOPARTÍCULAS: pequeñas estructuras con gran potencial ¿Por qué el interés en estos materiales? ¿Qué aplicaciones tienen? . S.l.:*
- Color Azul Ácido 324 | Dymaqui. , 2012.
- CORTAZAR-MARTÍNEZ, A., GONZÁLEZ-RAMÍREZ, C.A., CORONEL-OLIVARES, C., ESCALANTE-LOZADA, J.A., CASTRO-ROSAS, J. y VILLAGÓMEZ-IBARRA, J.R., 2012. *BIOTECNOLOGÍA APLICADA A LA DEGRADACIÓN DE COLORANTES DE LA INDUSTRIA TEXTIL* Biotechnology applied to the degradation of textile industry dyes. . S.l.:
- DALI YOUCEF, L., BELAROU, L.S. y LÓPEZ-GALINDO, A., 2019. Adsorption of a cationic methylene blue dye on an Algerian palygorskite. *Applied Clay Science*, vol. 179, no. May, pp. 105145. ISSN 01691317. DOI 10.1016/j.clay.2019.105145.
- DIAZ, KELLY Y NIÑO, Y., 2018. *Evaluación del comportamiento de materiales alternativos para lechos filtrantes en proceso de potabilización de agua*. S.l.: Universidad Católica de Colombia, 2018.
- ESPAÑOL CANO, S., 2012. Mercury contamination due to mining activities. *Biomédica*, vol. 32, no. 3, pp. 309. ISSN 0120-4157. DOI

10.7705/biomedica.v32i3.1437.

Filtros eficientes producidos a partir de nanotubos de carbono | Noticias y Eventos. , [sin fecha].

FLUENCE, 2017. *El Papel de la Filtración en el Tratamiento de Agua*. 2017. S.l.: s.n.

HE, L.L., WANG, X., WU, X.X., WANG, Y.X., KONG, Y.M., WANG, X., LIU, B.M. y LIU, B., 2015. Protein damage and reactive oxygen species generation induced by the synergistic effects of ultrasound and methylene blue. *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, vol. 134, pp. 361–366. ISSN 13861425. DOI 10.1016/j.saa.2014.06.121.

INFORMATION, N.C. for B., MEDICINE, U.S.N.L. of, PIKE, 8600 Rockville, BETHESDA, MD20894 y USA, 2015. methylene blue | C16H18ClN3S - PubChem. .

JIANG, Y., XIE, Q., ZHANG, Y., GENG, C., YU, B. y CHI, J., 2019. Preparation of magnetically separable mesoporous activated carbons from brown coal with Fe₃O₄. *International Journal of Mining Science and Technology*, vol. 29, no. 3, pp. 513–519. ISSN 20952686. DOI 10.1016/j.ijmst.2019.01.002.

LINAREZ GARCÍA CRISTIAN y GONZÁLEZ ESCOBAR ANYI CAROLINA, 2019. *OPTIMIZACIÓN DE UN SISTEMA DE FILTRACIÓN CON NANOMATERIALES PARA LA MEJORA DE LOS INDICES DE CALIDAD DEL AGUA*. S.l.: UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA.

LONDOÑO FRANCO, L.F., LONDOÑO MUÑOZ, P.T. y MUÑOZ GARCIA, F.G., 2016. LOS RIESGOS DE LOS METALES PESADOS EN LA SALUD HUMANA Y ANIMAL. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, vol. 14, no. 2, pp. 145. ISSN 1909-9959. DOI 10.18684/bsaa(14)145-153.

MANCERA, N. y ÁLVAREZ, R., 2006. Current State of Knowledge of the Concentration of Mercury and Other Heavy Metals in Fresh Water Fish in Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, vol. 11, no. 1, pp. 21. ISSN 1980993X. DOI doi.org/toc/1900-1649/11/0.

MARIMON BOLIVAR, W., [sin fecha]. Ingeniería de Nanopartículas Magnéticas para la remoción de metales pesados en aguas. . S.l.:

MARTÍNEZ AGUILAR, M., CORTÉS, F.B. y FRANCO ARIZA, C.A., 2013. Tratamiento de agua basado en la adsorción de crudo en nanopartículas polares y no polares. *Informador Técnico*, vol. 77, no. 1, pp. 59. ISSN 0122-056X. DOI 10.23850/22565035.45.

Methylene Blue - UV-VIS Spectrum - SpectraBase. , [sin fecha].

MORSEN, A. y REHM, H.-J., 1990. Degradation of phenol by a defined mixed culture

immobilized by adsorption on activated carbon and sintered glass. *Applied Microbiology and Biotechnology* [en línea], vol. 33, no. 2, pp. 206–212. [Consulta: 31 marzo 2019]. ISSN 0175-7598. DOI 10.1007/BF00176526. Disponible en: <http://link.springer.com/10.1007/BF00176526>.

Nanotecnología para obtener agua limpia: hechos y cifras - SciDev.Net América Latina y el Caribe. , [sin fecha].

ORTIZ-MARTÍNEZ, K., GUERRERO-MEDINA, K.J., ROMÁN, F.R. y HERNÁNDEZ-MALDONADO, A.J., 2015. Transition metal modified mesoporous silica adsorbents with zero microporosity for the adsorption of contaminants of emerging concern (CECs) from aqueous solutions. *Chemical Engineering Journal*, vol. 264, pp. 152–164. ISSN 13858947. DOI 10.1016/j.cej.2014.11.068.

ORTIZ-MARTÍNEZ, K., REDDY, P., CABRERA-LAFAURIE, W.A., ROMÁN, F.R. y HERNÁNDEZ-MALDONADO, A.J., 2016. Single and multi-component adsorptive removal of bisphenol A and 2,4-dichlorophenol from aqueous solutions with transition metal modified inorganic-organic pillared clay composites: Effect of pH and presence of humic acid. *Journal of hazardous materials*, vol. 312, pp. 262–271. ISSN 1873-3336. DOI 10.1016/j.jhazmat.2016.03.073.

OTHMAN, N.H., ALIAS, N.H., SHAHRUDDIN, M.Z., ABU BAKAR, N.F., NIK HIM, N.R. y LAU, W.J., 2018. Adsorption kinetics of methylene blue dyes onto magnetic graphene oxide. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 6, no. 2, pp. 2803–2811. ISSN 22133437. DOI 10.1016/j.jece.2018.04.024.

Que es Nanotecnología? | Avances en Nanotecnología. , [sin fecha].

R. S. Ramalho-Tratamiento de Aguas Residuales - 2Ed Spanish (2009), [sin fecha]. S.l.: s.n.

REMOCIÓN DE COLORANTES SINTÉTICOS. , [sin fecha].

REYNOLDS, K.A. y PH, D., 2010. Tratamiento de agua en latinoamerica. , pp. 1–4.

ROJAS, H.A., GUERRERO, D.C., VÁSQUEZ, O.Y. y VALENCIA, J.S., 2012. Aplicación del Modelo de Bohart y Adams en la Remoción de Mercurio de Drenajes de Minería por Adsorción con Carbón Activado. *Información tecnológica*, vol. 23, no. 3, pp. 21–32. ISSN 0718-0764. DOI 10.4067/S0718-07642012000300004.


SILLS, M.R. y ZINKHAM, W.H., 1994. Methylene Blue–Induced Heinz Body Hemolytic Anemia. *Archives of Pediatrics & Adolescent Medicine*, vol. 148, no. 3, pp. 306–310. ISSN 15383628. DOI 10.1001/archpedi.1994.02170030076017.

SUÁREZ-MEDINA, MARÍA DE LOS ÁNGELES; PATIÑO-GÓMEZ, CARLOS; VELÁZQUEZ-ÁLVAREZ, JAIME; RIVERA-BENITES, JAIME; AGUILAR-GARDUÑO, ERNESTO; BAUTISTA, GUILLERMO; ASTUDILLO-ENRÍQUEZ, C.,

2015. *Tecnología y ciencias del agua*. S.l.: s.n.

- TALAT, M., MOHAN, S., DIXIT, V., SINGH, D.K., HASAN, S.H. y SRIVASTAVA, O.N., 2018. Effective removal of fluoride from water by coconut husk activated carbon in fixed bed column: Experimental and breakthrough curves analysis. *Groundwater for Sustainable Development*, vol. 7, no. June 2017, pp. 48–55. ISSN 2352801X. DOI 10.1016/j.gsd.2018.03.001.
- TORRES LOZADA, P., CRUZ VÉLEZ, C.H. y PATIÑO, P., 2009. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*. [en línea]. S.l.: Universidad de Medellín. [Consulta: 31 marzo 2019]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4845739>.
- UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO. COORDINACIÓN GENERAL DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS AVANZADOS., T.B., CAMPOS, E. y TERESA OLGUÍN, M., 2000. *Ciencia ergo sum: revista de ciencia, tecnología y humanismo de la Universidad Autónoma del Estado de México*. S.l.: UAEM, Coordinación General de Investigación y Estudios Avanzados.
- VIEIRA, R.S. y BEPPU, M.M., 2005. Mercury Ion Recovery Using Natural and Crosslinked Chitosan Membranes. *Adsorption*, vol. 11, no. S1, pp. 731–736. ISSN 0929-5607. DOI 10.1007/s10450-005-6015-3.
- VIEIRA, R.S. y BEPPU, M.M., 2006. Dynamic and static adsorption and desorption of Hg(II) ions on chitosan membranes and spheres. *Water Research*, vol. 40, no. 8, pp. 1726–1734. ISSN 00431354. DOI 10.1016/j.watres.2006.02.027.
- WALTER J. JR WEBER, 2003. *Control de la calidad del agua. Procesos fisicoquímicos*. S.l.: s.n.

ANEXOS

 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: <p style="text-align: center; font-size: 1.2em;">Trabajo de grado: Remoción de Azul de metileno con nanopartículas magnéticas</p>								
IDENTIFICACIÓN DE LOS SOLICITANTES DE TIEMPO DE LABORATORIO:								
CÓDIGO	NOMBRES Y APELLIDOS	E-MAIL @ucatolica.edu.co	TELÉFONO					
505190	Yanneth Marcela Carrillo Pacheco	ymcarrillo90@ucato...	3183975659					
506028	Johan Sebastian Herrera Gutierrez	js Herrera28@ucabi...	3003955362					
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 ⁽²⁾ (HH:MM)	HORA FIN ⁽²⁾ (HH:MM)		
1	22/08/19	18:00	20:00					Test de jarra
2	26/08/19	18:00	20:00					ensayos de absorción
3	28/08/19	18:00	20:00					" "
4	29/08/19	18:00	20:00					" "
5	2/09/19	18:00	2:00					" "

⁽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	
Espectrofotómetro		1			
Balanza		1			
Matraz		6			
Multímetro		1			
Test de jarra		1			

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

Marcela Carrillo

Sebastian Herrera

[Firma]

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

PARÁGRAFO 1. El control y la vigilancia sobre los valores de fluoruros y COT se harán por un período de dos (2) años contados a partir de su implementación. Si se sobrepasan los valores máximos aceptables de estas características, se deberán incorporar al mapa de riesgo.

ARTÍCULO 35°.- SEGUIMIENTO A LA IMPLEMENTACIÓN DE LA CARACTERÍSTICA DE TURBIEDAD EN LOS SISTEMAS DE SUMINISTRO DE AGUA. La Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios en coordinación con el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial elaborará y publicará cada año el informe de avance de la implementación de que trata el artículo 33° de la presente Resolución, con base en la información suministrada al Sistema Único de Información - SUI por las personas prestadoras.

ARTÍCULO 36°.- SEGUIMIENTO A LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS DE ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS DE CARBONO ORGÁNICO TOTAL – COT, RESIDUAL DEL COAGULANTE UTILIZADO, NITRITOS, FLUORUROS, GIARDIA Y CRYPTOSPORIDIUM. El Instituto Nacional de Salud, en coordinación con el Ministerio de la Protección Social y la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios elaborará y publicará cada año el Informe de avance de la implementación de las metodologías de análisis de las características y de los plazos de que trata el artículo 34° de la presente Resolución, teniendo en cuenta la información reportada a través del Sistema Único de Información – SUI, el subsistema de Vigilancia de la Calidad del agua Potable – SIVICAP y la que se reciba por parte de otras entidades.

ARTÍCULO 37°.- VIGENCIA. La presente Resolución rige a partir de la fecha de su publicación.

PUBLÍQUESE Y CÚMPLASE

Dado en Bogotá, D. C., a los **22 JUN 2007**

DIEGO PALACIO BETANCOURT
Ministro de la Protección Social

JUAN LOZANO RAMÍREZ
Ministro de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial

Cuadro N°.15 Plazos para adecuar los sistemas de suministro de agua con el fin de dar cumplimiento al valor máximo aceptable de turbiedad

Característica	Plazos	Población atendida por persona prestadora por Municipio(habitantes)
Turbiedad Valor objetivo: 2UNT	Cinco (5) años a partir de la fecha de publicación de la presente Resolución	Hasta 100.000
	Tres (3) años a partir de la fecha de publicación de la presente Resolución	100.001 – 4.000.000
	Un (1) año a partir de la fecha de publicación de la presente Resolución	Más de 4.000.000

PARÁGRAFO. Durante el plazo dado para el cumplimiento del valor admisible de la característica de turbiedad, se deberá cumplir con el valor de ≤ 5 UNT

ARTÍCULO 34°.- PLAZOS PARA REALIZAR LA VIGILANCIA Y EL CONTROL DE LAS CARACTERÍSTICAS DE CARBONO ORGÁNICO TOTAL – COT, RESIDUAL DEL COAGULANTE UTILIZADO, NITRITOS, FLUORUROS, GIARDIA Y CRYPTOSPORIDIUM. Las autoridades sanitarias y las personas prestadoras realizarán la vigilancia y el control de las características relacionadas en el cuadro N°.16, dentro de los plazos allí establecidos.

El control y la vigilancia sobre las características en el cuadro N°.16 estará sujeto a la calificación dentro del índice de riesgo de calidad de agua - IRCA. Si se encuentra presencia de ellas se deberán incorporar al mapa de riesgo.

Cuadro N°.16 Plazos dados para que las autoridades sanitarias y las personas prestadoras realicen la vigilancia y el control de las características de COT, residual del coagulante utilizado, nitritos, fluoruros, Giardia y Cryptosporidium.

Características	Plazos	Población atendida por Municipio (habitantes)
COT, residual del coagulante utilizado, nitritos y fluoruros	Cuatro (4) años a partir de la fecha de publicación de la presente Resolución	Hasta 100.000
	Dos (2) años a partir de la fecha de publicación de la presente Resolución	100.001 – 4.000.000
	Un (1) año a partir de la fecha de publicación de la presente Resolución	Más de 4.000.000
Giardia y Cryptosporidium	Ocho (8) años a partir de la fecha de publicación de la presente Resolución	Hasta 10.000
	Seis (6) años a partir de la fecha de publicación de la presente Resolución	10.001 – 20.000
	Cinco (5) años a partir de la fecha de publicación de la presente Resolución	20.001 – 100.000
	Cuatro (4) años a partir de la fecha de publicación de la presente Resolución	1000.001 – 500.000
	Tres (3) años a partir de la fecha de publicación de la presente Resolución	De 500.001 en adelante

es necesario realizar la vigilancia en el agua para consumo humano. Si se determina que es necesaria la vigilancia, el mapa de riesgo deberá determinar la frecuencia mínima y el número mínimo de muestras a analizar por cada frecuencia.

ARTÍCULO 28°.- VISITAS DE INSPECCIÓN SANITARIA. Para dar cumplimiento a lo establecido principalmente en los numerales 3, 4, 5, 7 del artículo 8° del Decreto 1575 de 2007 en aquellas poblaciones hasta 100.000 habitantes, las autoridades sanitarias realizarán anualmente una visita de inspección sanitaria a la infraestructura del sistema de suministro de agua de las personas prestadoras. Para las poblaciones de 100.001 habitantes en adelante, la autoridad sanitaria deberá realizar mínimo dos (2) visitas de inspección sanitaria al año.

ARTÍCULO 29°.- INCREMENTO DEL NÚMERO DE MUESTRAS Y DE LAS FRECUENCIAS. La autoridad sanitaria podrá aumentar el número de muestras y las frecuencias establecidas en la presente Resolución para la vigilancia, de acuerdo con el resultado obtenido en el mapa de riesgo y aplicará las medidas sanitarias que corresponda.

ARTÍCULO 30°.- SUMINISTRO DE AGUA CRUDA. Cuando en un municipio se suministre agua cruda por red de distribución o cuando se suministre por otros medios, la autoridad sanitaria realizará los análisis físicos, químicos y microbiológicos al agua que suministran estos sistemas, teniendo en cuenta el número de habitantes que se abastecen de ellos, tal como se considera en los cuadros N°.13a, N°.13b, N°.14a y N°.14b de la presente Resolución.

ARTÍCULO 31°.- REPORTES DE VIGILANCIA. El libro o registro sistematizado de vigilancia de la calidad de agua para consumo humano debe mantenerse actualizado y contener como mínimo, la siguiente información:

1. Resultado de los análisis microbiológicos, físicos y químicos del agua, de acuerdo con los requerimientos mínimos señalados en la presente Resolución.
2. Resultado de los análisis físicos, químicos y microbiológicos adicionales definidos en el mapa de riesgo.
3. Resultados de las inspecciones realizadas a los sistemas.

ARTÍCULO 32°.- CALIDADES Y REQUISITOS DEL RECURSO HUMANO. Las calidades y requisitos para los funcionarios responsables de la inspección, vigilancia y control sanitario de la calidad del agua para consumo humano, serán definidos por el Ministerio de la Protección Social.

CAPÍTULO VII

PLAZOS

ARTÍCULO 33°.- PLAZOS PARA ADECUAR LOS SISTEMAS DE SUMINISTRO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO A LA CARACTERÍSTICA DE TURBIEDAD. Las personas prestadoras, de conformidad con los niveles de vigilancia y control, tendrán plazos para adecuar sus sistemas de suministro de agua para consumo humano para el cumplimiento del valor máximo aceptable de la característica de turbiedad establecido en el artículo 2° de la presente Resolución de acuerdo con el siguiente cuadro:

Cuadro N°.14a Frecuencia mínima y número mínimo de muestras para los análisis microbiológicos de Coliformes Totales y E. Coli de la calidad del agua para consumo humano que debe ejercer la autoridad sanitaria en la red de distribución para poblaciones hasta 100.000 habitantes.

Población atendida por persona prestadora por municipio (habitantes)	Frecuencia mínima	Número mínimo de muestras a analizar por cada frecuencia mínima
Menor o igual a 2.500	Bimestral	1
2.501 – 10.000	Mensual	1
10.001 - 20.000		2
20.001 – 100.000		5

PARÁGRAFO. Dentro del mapa de riesgo se deberá estudiar la presencia de Giardia y Cryptosporidium, así como otros microorganismos en la fuente con el fin de determinar si es necesario realizar la vigilancia en el agua para consumo humano. Si se determina que es necesaria la vigilancia, el mapa de riesgo deberá determinar la frecuencia mínima y el número mínimo de muestras a analizar por cada frecuencia.

ARTÍCULO 27°.- FRECUENCIAS Y NÚMERO DE MUESTRAS DE VIGILANCIA DE LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO QUE DEBE REALIZAR LA AUTORIDAD SANITARIA PARA POBLACIONES DE 100.001 HABITANTES EN ADELANTE Con el propósito de efectuar verificación de las características microbiológicas de la calidad del agua para consumo humano, la autoridad sanitaria competente realizará de forma rutinaria el número de muestras señaladas en la columna denominada "Número rutinario de muestras a analizar por cada frecuencia", y teniendo en cuenta las frecuencias mínimas establecidas en el cuadro N°14b.

Si del valor calculado del IRCA de cualquiera de las muestras puntuales resulta un riesgo medio o mayor, deberá incrementarse el número de muestras por un espacio de seis (6) meses, según lo establecido en el siguiente cuadro:

Cuadro N°.14b Frecuencia mínima y número mínimo de muestras para los análisis microbiológicos de Coliformes Totales y E. Coli de la calidad del agua para consumo humano que debe ejercer la autoridad sanitaria en la red de distribución para poblaciones de 100.001 habitantes en adelante.

Población atendida por persona prestadora por municipio (habitantes)	Frecuencia mínima	Número rutinario de muestras a analizar por cada frecuencia	Número mínimo de muestras a analizar por cada frecuencia mínima
100.001 - 250.000	Mensual	3	10
250.001 - 500.000		3	15
500.001 – 1.000.000		5	30
1.000.001 – 2.000.000			60
2.000.001 – 4.000.000			96
Más de 4.000.000	9	96 muestras de acuerdo con la frecuencia más 20 muestras por cada millón o fracción adicional.	

PARÁGRAFO. Dentro del mapa de riesgo se deberá estudiar la presencia de Giardia y Cryptosporidium, así como otros microorganismos en la fuente con el fin de determinar si

Cuadro N°.13b Frecuencias mínimas, número rutinario de muestras a analizar por cada frecuencia y número mínimo de muestras que debe realizar la autoridad sanitaria a la calidad física y química del agua para consumo humano en la red de distribución para poblaciones de 100.001 habitantes en adelante

Población atendida por persona prestadora por municipio (habitantes)	Características	Frecuencia mínima	Número rutinario de muestras a analizar por cada frecuencia	Número mínimo de muestras a analizar por cada frecuencia
100.001 - 500.000	Turbiedad, color aparente, pH, cloro residual libre o residual del desinfectante usado.	Mensual	2	6
	Alcalinidad, dureza total, hierro total, cloruros, sulfatos, residual del coagulante utilizado, nitratos y nitritos.	Bimestral	2	6
	COT, Fluoruros	Anual	0	1
	Aquellas características físicas, químicas de interés en salud pública exigidas por el mapa de riesgo o la Autoridad Sanitaria.	De acuerdo con lo exigido en el mapa de riesgo		
500.001–1.000.000	Turbiedad, color aparente, pH, cloro residual libre o desinfectante usado, residual del coagulante utilizado.	Mensual	3	12
1.000.001-2.000.000			4	30
2.000.001-4.000.000			5	60
500.001–1.000.000	Alcalinidad, dureza total, hierro total, cloruros, sulfatos, nitratos y nitritos.	Bimestral	3	12
1.000.001-2.000.000			4	30
2.000.001-4.000.000			5	60
500.001–4.000.000	COT, Fluoruros	Anual	0	1
500.001–4.000.000	Aquellas características físicas, químicas de interés en salud pública exigidas por el mapa de riesgo.	De acuerdo con lo exigido en el mapa de riesgo		
Mayor 4.000.000	Turbiedad, color aparente, pH, cloro residual libre o desinfectante usado, residual del coagulante utilizado.	Mensual	5	60 muestras de acuerdo a la frecuencia más 20 muestras por cada millón o fracción adicional.
	Alcalinidad, dureza total, hierro total, cloruros, sulfatos, nitratos y nitritos.	Bimestral	5	
	COT, Fluoruros	Anual	0	1
	Aquellas características físicas, químicas de interés en salud pública exigidas por el mapa de riesgo.	De acuerdo con lo exigido en el mapa de riesgo		

En aquellos sistemas de tratamiento donde no se requiera el proceso de coagulación, no será necesario determinar la característica del residual del coagulante.

ARTÍCULO 26°.- FRECUENCIA Y NÚMERO DE MUESTRAS DE VIGILANCIA DE LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO QUE DEBE REALIZAR LA AUTORIDAD SANITARIA PARA POBLACIONES HASTA 100.000 HABITANTES. La autoridad sanitaria de los departamentos, distritos y municipios realizarán los análisis microbiológicos a las muestras de agua para consumo humano, como se establece a continuación:

Población atendida por persona prestadora por municipio (habitantes)	Características	Frecuencia mínima	Número mínimo de muestras a analizar por cada frecuencia
10.001 - 20.000	Turbiedad, Color aparente, pH, cloro residual libre o residual del desinfectante usado.	Mensual	2
	Residual del coagulante utilizado, dureza total, hierro total, cloruros.	Semestral	2
	COT, Fluoruros	Anual	1
	Aquellas características físicas, químicas de interés en salud pública exigidas por el mapa de riesgo.	De acuerdo a lo exigido en el mapa de riesgo	De acuerdo a lo exigido en el mapa de riesgo
20.001 - 100.000	Turbiedad, Color aparente, pH, cloro residual libre o residual del desinfectante usado.	Mensual	3
	Alcalinidad, dureza total, hierro total, cloruros, residual del coagulante utilizado.	Semestral	3
	COT, Fluoruros	Anual	1
	Aquellas características físicas, químicas de interés en salud pública exigidas por el mapa de riesgo.	De acuerdo a lo exigido en el mapa de riesgo	De acuerdo a lo exigido en el mapa de riesgo

Adicionalmente se tendrán en cuenta los siguientes aspectos:

1. Cuando las personas prestadoras utilicen sales metálicas de hierro y aluminio como coagulante, la autoridad sanitaria realizará la vigilancia de acuerdo con las frecuencias establecidas en el presente artículo. Cuando estas personas prestadoras utilicen otro tipo de coagulante, las frecuencias mínimas para la vigilancia del coagulante serán las siguientes:

Población atendida por persona prestadora por municipio (habitantes)	Frecuencia mínima	Número mínimo de muestras a analizar por cada frecuencia
Menores o igual a 2.500	Trimestral	1
2.500 - 10.000		
10.001 - 20.000		
20.001 - 100.000	Bimestral	

2. En aquellos sistemas de tratamiento donde no se requiera el proceso de coagulación, no será necesario determinar la característica del residual del coagulante.

ARTÍCULO 25°.- FRECUENCIAS Y NÚMERO DE MUESTRAS DE VIGILANCIA DE LA CALIDAD FÍSICA Y QUÍMICA DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO QUE DEBE REALIZAR LA AUTORIDAD SANITARIA PARA POBLACIONES DE 100.001 HABITANTES EN ADELANTE. Con el propósito de efectuar verificación de las características físicas y químicas de la calidad del agua para consumo humano, la autoridad sanitaria competente realizará de forma rutinaria el número de muestras señaladas en la columna denominada "Número rutinario de muestras a analizar por cada frecuencia", y teniendo en cuenta las frecuencias mínimas establecidas en el cuadro N°13b de la presente Resolución.

Si del valor calculado del IRCA de cualquiera de las muestras puntuales resulta en un riesgo medio o mayor, deberá incrementarse como mínimo por seis (6) meses el número de muestras teniendo en cuenta lo señalado en la columna "Número mínimo de muestras a analizar por cada frecuencia".

5. Cantidad de productos químicos utilizados, tales como coagulantes, desinfectantes, alcalinizantes, entre otros, que deben cumplir con estándares de calidad. En el caso de los productos que están sujetos a registros sanitarios, deben indicar el número de registro del INVIMA ó el número de resolución expedida por el Ministerio de la Protección Social.
6. Bitácora ó libro de novedades presentadas como anomalías, emergencias, problemas en equipos y personal, calidad de insumos y actos de orden público que puedan afectar la calidad en la prestación del servicio.
7. Registro de los resultados de las evaluaciones de demanda de cloro u otro desinfectante aprobado por el Ministerio de la Protección Social.

PARÁGRAFO. Quienes provean polímeros orgánicos e inorgánicos destinados a la potabilización del agua, en un plazo no mayor a un año, enviarán al Ministerio de la Protección Social los estudios avalados por organismos nacionales o internacionales respecto de los efectos en la salud humana, con el fin de que el mencionado Ministerio expida los actos administrativos correspondientes para su uso.

CAPÍTULO VI

PROCESOS BÁSICOS DE VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO POR PARTE DE LA AUTORIDAD SANITARIA

ARTÍCULO 24°.- FRECUENCIAS Y NÚMERO DE MUESTRAS DE VIGILANCIA DE LA CALIDAD FÍSICA Y QUÍMICA DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO QUE DEBE REALIZAR LA AUTORIDAD SANITARIA PARA POBLACIONES HASTA 100.000 HABITANTES. La autoridad sanitaria competente realizará como mínimo los análisis físicos y químicos de acuerdo con las frecuencias y número de muestras señalados en el cuadro N°.13a, teniendo en cuenta la población atendida y el mapa de riesgo elaborado:

Cuadro N°.13a Frecuencias mínimas y número mínimo de muestras que debe realizar la autoridad sanitaria a la calidad física y química del agua para consumo humano en la red de distribución para poblaciones hasta 100.000 habitantes

Población atendida por persona prestadora por municipio (habitantes)	Características	Frecuencia mínima	Número mínimo de muestras a analizar por cada frecuencia
Menores o igual a 2.500	Turbiedad, color aparente, pH, cloro residual libre o residual del desinfectante usado.	Bimestral	1
	COT, Fluoruros y residual del coagulante utilizado.	Anual	1
	Aquellas características físicas, químicas de interés en salud pública exigidas por el mapa de riesgo.	De acuerdo a lo exigido en el mapa de riesgo	De acuerdo a lo exigido en el mapa de riesgo
2.501 - 10.000	Turbiedad, color aparente, pH, cloro residual libre o residual del desinfectante usado.	Mensual	1
	COT, Fluoruros y residual del coagulante utilizado.	Anual	1
	Aquellas características físicas, químicas de interés en salud pública exigidas por el mapa de riesgo.	De acuerdo a lo exigido en el mapa de riesgo	De acuerdo a lo exigido en el mapa de riesgo

el número mínimo de muestras a analizar por cada frecuencia de acuerdo con la población atendida.

PARÁGRAFO 4. Para el análisis del control en un municipio donde exista más de una persona prestadora, se tendrá en cuenta el número de población atendida por cada prestador en ese municipio.

ARTÍCULO 22°.- FRECUENCIAS Y NÚMERO DE MUESTRAS DE CONTROL DE LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO QUE DEBE EJERCER LA PERSONA PRESTADORA. El control para los análisis microbiológicos de coliformes totales y E.coli a realizar al agua para consumo humano por las personas prestadoras en la red de distribución, se sujetará como mínimo, a las frecuencias y número de muestras de acuerdo con la población atendida, definidos en el cuadro N°.12 de la presente Resolución.

Cuadro N°.12 Frecuencias y número de muestras de control para los análisis microbiológicos de Coliformes Totales y E. Coli que deben ejercer las personas prestadoras en la red de distribución

Población atendida por persona prestadora por municipio (habitantes)	Frecuencia mínima	Número mínimo de muestras a analizar por cada frecuencia
Menor o igual a 2.500	Mensual	1
2.501 - 10.000		3
10.001 - 20.000	Quincenal	4
20.001 – 100.000	Semanal	8
100.001 - 250.000		3
250.001 - 500.000		5
500.001 – 800.000		6
800.001 – 1.000.000		7
1.000.001 – 1.250.000		8
1.250.001 – 2.000.000		10
2.000.001 – 4.000.000		12
Mayores de 4.000.000		12 muestras de acuerdo con la frecuencia más 5 muestras por cada millón o fracción adicional.

PARÁGRAFO. Dentro del mapa de riesgo se deberá estudiar la presencia de Giardia y Cryptosporidium, así como otros microorganismos en la fuente con el fin de determinar si es necesario realizar el control en el agua para consumo humano. Si se determina que es necesario el control, el mapa de riesgo deberá determinar la frecuencia mínima y el número mínimo de muestras a analizar por cada frecuencia.

ARTÍCULO 23°.- REPORTES DE CONTROL. El libro o registro sistematizado de control de la calidad de agua para consumo humano debe mantenerse actualizado por parte de la persona prestadora y contener como mínimo, la siguiente información:

1. Cantidad de agua captada (en la entrada de la planta de tratamiento).
2. Cantidad de agua suministrada (contabilizada por medidores en red).
3. Resultado de los análisis microbiológicos, físicos y químicos del agua, de acuerdo con los requerimientos mínimos señalados en la presente Resolución.
4. Resultado de los análisis físicos, químicos y microbiológicos adicionales definidos en el mapa de riesgo.

Población atendida por persona prestadora por municipio (habitantes)	Características	Frecuencia mínima	Número mínimo de muestras a analizar por cada frecuencia
Mayor a 4.000.000	Turbiedad, Color aparente, pH, Cloro residual libre o residual del desinfectante usado, Residual del coagulante utilizado.	Diaria	7 muestras de acuerdo a la frecuencia más 5 muestras por cada millón o fracción adicional.
	Alcalinidad, Dureza Total, Hierro Total, Cloruros, Sulfatos, Nitratos y Nitritos.	Semanal	7 muestras de acuerdo a la frecuencia más 5 muestras por cada millón o fracción adicional.
	COT, Fluoruros	Semestral	2
	Aquellas características físicas, químicas de interés en salud pública exigidas por el mapa de riesgo o la Autoridad Sanitaria.	De acuerdo a lo exigido en el mapa de riesgo	De acuerdo a lo exigido en el mapa de riesgo

PARÁGRAFO 1. Para las personas prestadoras que utilizan sales metálicas de hierro y aluminio como coagulante se cumplirán las frecuencias establecidas en el cuadro N°.11 de la presente Resolución. Cuando se utilice otro coagulante, las frecuencias mínimas para la medición del coagulante serán:

Población atendida por persona prestadora por municipio (habitantes)	Frecuencia mínima	Número mínimo de muestras a analizar por cada frecuencia
Menores o igual a 2.500	Trimestral	1
2.500 - 10.000		2
10.001 - 20.000		3
20.001 - 100.000	Bimestral	1
100.001 - 500.000		2
500.001 - 800.000	Mensual	3
800.001 - 1.000.000		4
1.000.001 - 1.250.000		5
1.250.001 - 2.000.000		6
2.000.001 - 4.000.000		7
Mayor a 4.000.000		7 muestras de acuerdo a la frecuencia más 5 muestras por cada millón o fracción adicional.

PARÁGRAFO 2. Aquellas personas prestadoras que suministren o distribuyen agua para consumo humano por medios diferentes a una red de distribución, deberán cumplir con las frecuencias mínimas, número mínimo de muestras y valores admisibles señalados en la presente Resolución de conformidad con la población atendida.

PARÁGRAFO 3. Independientemente del sistema de suministro de agua, la persona prestadora que suministra o distribuya agua para consumo humano a diferentes municipios, realizará los análisis del control para cada uno de ellos, teniendo en cuenta

Población atendida por persona prestadora por municipio (habitantes)	Características	Frecuencia mínima	Número mínimo de muestras a analizar por cada frecuencia		
	Aquellas características físicas, químicas de interés en salud pública exigidas por el mapa de riesgo o la Autoridad Sanitaria.	De acuerdo a lo exigido en el mapa de riesgo	De acuerdo a lo exigido en el mapa de riesgo		
20.001 - 100.000	Turbiedad, Color aparente, pH, Cloro residual libre o residual del desinfectante usado.	Diaria	1		
	Alcalinidad, Dureza Total, Hierro Total, Cloruros, residual del coagulante utilizado.	Quincenal	1		
	COT, Fluoruros	Anual	2		
	Aquellas características físicas, químicas de interés en salud pública exigidas por el mapa de riesgo o la Autoridad Sanitaria.	De acuerdo a lo exigido en el mapa de riesgo	De acuerdo a lo exigido en el mapa de riesgo		
100.001 - 500.000	Turbiedad, Color aparente, pH, Cloro residual libre o residual del desinfectante usado.	Diaria	2		
	Alcalinidad, Dureza Total, Hierro Total, Cloruros, Sulfatos, residual del coagulante utilizado, Nitratos y Nitritos.	Semanal	2		
	COT, Fluoruros	Semestral	2		
	Aquellas características físicas, químicas de interés en salud pública exigidas por el mapa de riesgo o la Autoridad Sanitaria	De acuerdo a lo exigido en el mapa de riesgo Diaria.	De acuerdo a lo exigido en el mapa de riesgo		
500.001 – 800.000	Turbiedad, Color aparente, pH, Cloro residual libre o residual del desinfectante usado y residual del coagulante utilizado.	Diaria	3		
800.001 – 1.000.000			4		
1.000.001 – 1.250.000			5		
1.250.001 – 2.000.000			6		
2.000.001 – 4.000.000			7		
500.001 – 800.000			Alcalinidad, Dureza Total, Hierro Total, Cloruros, Sulfatos, Nitratos y Nitritos.	Semanal.	3
800.001 – 1.000.000					4
1.000.001 – 1.250.000	5				
1.250.001 – 2.000.000	6				
2.000.001 – 4.000.000	7				
500.001 – 4.000.000	COT, Fluoruros	Semestral			2
500.001 – 4.000.000	Aquellas características físicas, químicas de interés en salud pública exigidas por el mapa de riesgo o la Autoridad Sanitaria.	De acuerdo a lo exigido en el mapa de riesgo	De acuerdo a lo exigido en el mapa de riesgo		

Los índices mensuales de continuidad por persona prestadora y por municipio serán suministrados por la SSPD a través del SUI, al INS quien los utilizará para el cálculo de los IRABApp e IRABAm, avalados por el Ministerio de la Protección Social. Dichas entidades tendrán acceso directo al SUI mediante conexión con el subsistema SIVICAP.

CAPÍTULO V

PROCESOS BÁSICOS DE CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO

ARTÍCULO 21º.- FRECUENCIAS Y NÚMERO DE MUESTRAS DE CONTROL DE LA CALIDAD FÍSICA Y QUÍMICA DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO QUE DEBE EJERCER LA PERSONA PRESTADORA El control de los análisis físicos y químicos debe realizarse en la red de distribución por parte de las personas prestadoras. Se sujetará como mínimo a las siguientes frecuencias y número de muestras de acuerdo con la población atendida, el mapa de riesgo y lo exigido por la autoridad sanitaria de la jurisdicción.

Cuadro N°. 11 Frecuencias y número de muestras de control de la calidad física y química del agua para consumo humano que debe ejercer la persona prestadora en la red de distribución

Población atendida por persona prestadora por municipio (habitantes)	Características	Frecuencia mínima	Número mínimo de muestras a analizar por cada frecuencia
Menores o igual a 2.500	Turbiedad, Color aparente, pH, Cloro residual libre o residual del desinfectante usado.	Mensual	1
	COT, Fluoruros y residual de coagulante utilizado	Anual	1
	Aquellas características físicas, químicas de interés en salud pública exigidas por el mapa de riesgo o la Autoridad Sanitaria.	De acuerdo a lo exigido en el mapa de riesgo	De acuerdo a lo exigido en el mapa de riesgo
2.501 - 10.000	Turbiedad, Color aparente, pH, Cloro residual libre o residual del desinfectante usado.	Mensual	3
	COT, Fluoruros y residual de coagulante utilizado	Anual	2
	Aquellas características físicas, químicas de interés en salud pública exigidas por el mapa de riesgo o la Autoridad Sanitaria.	De acuerdo a lo exigido en el mapa de riesgo	De acuerdo a lo exigido en el mapa de riesgo
10.001 - 20.000	Turbiedad, Color aparente, pH, Cloro residual libre o residual del desinfectante usado.	Día de por medio	1
	Residual del Coagulante utilizado, Dureza Total, Hierro Total, Cloruros.	Mensual	1
	COT, Fluoruros	Anual	2

% Otros = Fracción porcentual del total de la población en el municipio que recoge agua para consumo humano directamente de pozos, lluvias, fuentes superficiales, garrafas, baldes, etc.
G = Número de total de conexiones domiciliarias/ Número de viviendas
F = Constante, valor de 10.

Puntajes asignados para calificar cada forma de distribución:

E1 = 90 puntos
 E2 = 50 puntos
 E3 = 10 puntos
 E4 = 5 puntos

ARTÍCULO 19°.- CLASIFICACIÓN DEL NIVEL DEL RIESGO POR ABASTECIMIENTO DE AGUA. Teniendo en cuenta el promedio de los IRABApp e IRABAm, se define la siguiente clasificación del nivel de riesgo a la salud humana, las acciones según el tratamiento, la continuidad por parte de las personas prestadoras y la distribución a nivel municipal:

Cuadro N°. 10 Clasificación del nivel del riesgo en salud por IRABApp e IRABAm

CLASIFICACIÓN IRABA (%)	NIVEL DE RIESGO A LA SALUD	ACCIONES	
		IRABApp	IRABAm
70.1 -100	MUY ALTO	Requiere la formulación inmediata de un plan de cumplimiento a corto, mediano y largo plazo por parte de la persona prestadora, bajo la verificación de la SSPD.	El Alcalde con el apoyo del Gobernador, propondrá un plan de cumplimiento a corto, mediano y largo plazo para disminuir el índice de riesgo por distribución, bajo la verificación de las entidades de control y la SSPD.
40.1- 70	ALTO	Requiere la formulación e implementación de un plan de acción a corto, mediano y largo plazo, bajo la verificación de la SSPD.	El Alcalde con el apoyo del Gobernador propondrá un plan de acción a corto, mediano y largo plazo, para disminuir el índice de riesgo por distribución, bajo la verificación de las entidades de control y la SSPD.
25.1 – 40.0	MEDIO	La persona prestadora debe disminuir, mediante gestión directa, las deficiencias en el tratamiento y continuidad del servicio.	El Alcalde propondrá y ejecutará acciones correctivas a mediano y largo plazo, para disminuir el índice de riesgo por distribución.
10.1 – 25.0	BAJO	La persona prestadora, debe eliminar mediante gestión directa las deficiencias en el tratamiento y continuidad del servicio.	El Alcalde propondrá y ejecutará acciones correctivas para eliminar el índice de riesgo por distribución.
0 – 10.0	SIN RIESGO	La persona prestadora cumple con las disposiciones legales vigentes en materia de agua para consumo humano. Continuar con la prestación del servicio.	El municipio cumple con las disposiciones legales vigentes en materia de agua para consumo humano. Continuar con la prestación del servicio en toda el área de su jurisdicción.

ARTÍCULO 20°.- PROCEDIMIENTO DE REGISTRO DEL IRABAm. La persona prestadora, suministrará anualmente la información al SUI de los índices mensuales de continuidad – IC - requeridos para el cálculo del IRABApp.

Anualmente, las autoridades sanitarias departamentales, distrital y municipales categorías 1, 2 y 3 reportaran los datos requeridos para el cálculo del índice de tratamiento – IT - y el índice de riesgo por distribución municipal - IRDm al subsistema SIVICAP. Los datos que se recojan en dicho subsistema, serán de libre acceso para el Ministerio de la Protección Social mediante conexión directa con el INS.

Criterio de asignación de puntos	Puntaje Máximo								
<p>DOTACIÓN BÁSICA DE LABORATORIO EN PLANTA DE TRATAMIENTO: La persona prestadora debe contar con los equipos mínimos necesarios para realizar los siguientes ensayos: prueba de jarras, demanda de cloro, turbiedad, color y pH.</p> <p>Se le asignará 3 puntos por cada equipo utilizado en los ensayos citados.</p>	15								
<p>TRABAJADORES CERTIFICADOS: La persona prestadora deberá contar en la planta tratamiento con trabajadores certificados de conformidad con las Resoluciones N°s. 1076 de 2003 y 1570 de 2004 del MAVDT o las que las modifiquen, adicione o sustituyan, que hacen referencia al Plan Nacional de Capacitación y Asistencia Técnica para el sector de Agua Potable, Saneamiento Básico y Ambiental y sobre el plan de certificación de las competencias laborales de sus trabajadores.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Criterio</th> <th>Puntaje asignado</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Entre el 90% y el 100% de los trabajadores que son operadores de planta están certificados</td> <td>15 puntos</td> </tr> <tr> <td>Entre el 50% y menos de 90% de los trabajadores que son operadores de planta están certificados</td> <td>10 puntos</td> </tr> <tr> <td>Menos del 50% de los trabajadores que son operadores de planta están certificados</td> <td>0 puntos</td> </tr> </tbody> </table>	Criterio	Puntaje asignado	Entre el 90% y el 100% de los trabajadores que son operadores de planta están certificados	15 puntos	Entre el 50% y menos de 90% de los trabajadores que son operadores de planta están certificados	10 puntos	Menos del 50% de los trabajadores que son operadores de planta están certificados	0 puntos	15
Criterio	Puntaje asignado								
Entre el 90% y el 100% de los trabajadores que son operadores de planta están certificados	15 puntos								
Entre el 50% y menos de 90% de los trabajadores que son operadores de planta están certificados	10 puntos								
Menos del 50% de los trabajadores que son operadores de planta están certificados	0 puntos								

Para el cálculo del índice de continuidad - IC se tendrá en cuenta la siguiente fórmula:

$$IC = \left(\frac{\sum (Nhs)_j \times (Ps)_j}{(730) \times (Pt)} \right) \times \left(\frac{24h}{\text{día}} \right)$$

Donde:

- (Nhs)_j = Número de horas prestadas en un mes en el sector j
(Ps)_j = población servida del sector j
730 = Número de horas que tiene un mes
(Pt) = población total servida por la persona prestadora.

Los valores asignados de acuerdo con las horas de servicio prestado, están establecidos en el cuadro N°. 9, así:

Cuadro N°. 9 Puntaje para el índice de continuidad de la persona prestadora que suministra o distribuye agua para consumo humano

Continuidad del servicio - IC	Puntaje
0- 10 HORAS/DIA (INSUFICIENTE)	0
10.1- 18 HORAS/DIA (NO SATISFACTORIO)	10
18.1- 23 HORAS/DIA (SUFICIENTE)	15
23.1 - 24 HORAS/DIA (CONTINUO)	20

Para el cálculo del índice de riesgo por distribución en el municipio – IRDm, se tendrá en cuenta la siguiente fórmula:

$$IRDm = 100 - [(E1x\%Red) + (E2x\%Pilas) + (E3x\%Carrotanque) + (E4x\%Otros) + (G * F)]$$

Los puntajes se asignarán al municipio con los siguientes criterios, donde:

- % Red = Fracción porcentual del total de la población en el municipio que recibe agua para consumo humano por medio de una red de distribución.
% Pilas = Fracción porcentual del total de la población en el municipio que recibe agua para consumo humano por medio de pilas públicas.
% Carrotanques = Fracción porcentual del total de la población en el municipio que recibe agua para consumo humano por medio de carrotanques.

$$IRABA_m = \left(\frac{IRABApp}{tpp} \right) (0.6) + (IRDm)(0.4)$$

Donde:

m = Municipio.

pp = Persona prestadora.

tpp = Total de personas prestadoras en el municipio que calcularon el IRABApp.

IRABApp = Índice de riesgo por abastecimiento de agua de la persona prestadora.

IRDm = Índice de riesgo por distribución en el municipio. Es un indicador que tiene por objeto determinar el riesgo en salud humana por la forma como se distribuye el agua en el municipio. El máximo puntaje equivale a 100 puntos.

Para el cálculo del índice de riesgo por abastecimiento de agua por parte de la persona prestadora (IRABApp), se tendrá en cuenta la siguiente fórmula:

$$IRABA_{pp} = 100 - (IT + IC)$$

Donde:

pp = persona prestadora.

IT = Índice de tratamiento: Es el puntaje que se asigna al evaluar los procesos de tratamiento, ensayos básicos de laboratorio en planta de tratamiento y trabajadores certificados de la persona prestadora. El máximo puntaje equivale a ochenta (80) puntos.

IC = Índice por continuidad: Es el puntaje que se asigna a la persona prestadora, con la información de continuidad de su área de influencia. El máximo puntaje equivale a veinte (20) puntos.

Para el cálculo del índice de tratamiento - IT se sumaran los puntajes asignados teniendo en cuenta los puntajes máximos definidos en el cuadro N° 8.

Cuadro N° 8 Puntajes para el índice de tratamiento del agua para consumo humano

Criterio de asignación de puntos		Puntaje Máximo
PROCESOS: Corresponden a la existencia y funcionamiento de los procesos necesarios de tratamiento de agua para consumo humano, incluyendo los insumos requeridos para el cumplimiento de las exigencias de la presente Resolución, de acuerdo con la calidad de agua que alimenta el sistema y teniendo en cuenta la aplicación del Reglamento Técnico de Agua Potable y Saneamiento Básico, Resolución 1096 de 2000 del Ministerio de Desarrollo Económico o la que lo adicione, modifique o sustituya, así como las demás normas vigentes establecidas.		50
DESCRIPCIÓN TRATAMIENTO	PUNTAJE ASIGNADO	
Si se realizan todos los procesos requeridos según las características del agua cruda y su tratamiento es continuo	50	
Si se realizan todos los procesos requeridos según las características del agua cruda y su tratamiento es intermitente	25	
Si se realizan algunos procesos requeridos según las características del agua cruda y su tratamiento es continuo	15	
Si se realizan algunos procesos requeridos según las características del agua cruda y su tratamiento es intermitente	10	
Si sólo requiere desinfección y ésta se realiza	50	
Si sólo realiza desinfección	15	
Si no hay ningún tipo de tratamiento	0	

Cuadro N°. 7 Clasificación del nivel de riesgo en salud según el IRCA por muestra y el IRCA mensual y acciones que deben adelantarse

Clasificación IRCA (%)	Nivel de Riesgo	IRCA por muestra (Notificaciones que adelantará la autoridad sanitaria de manera inmediata)	IRCA mensual (Acciones)
80.1 -100	INVIABLE SANITARIA MENTE	Informar a la persona prestadora, al COVE, Alcalde, Gobernador, SSPD, MPS, INS, MAVDT, Contraloría General y Procuraduría General.	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de acuerdo a su competencia de la persona prestadora, alcaldes, gobernadores y entidades del orden nacional.
35.1 - 80	ALTO	Informar a la persona prestadora, COVE, Alcalde, Gobernador y a la SSPD.	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de acuerdo a su competencia de la persona prestadora y de los alcaldes y gobernadores respectivos.
14.1 – 35	MEDIO	Informar a la persona prestadora, COVE, Alcalde y Gobernador.	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de la persona prestadora.
5.1 - 14	BAJO	Informar a la persona prestadora y al COVE.	Agua no apta para consumo humano, susceptible de mejoramiento.
0 - 5	SIN RIESGO	Continuar el control y la vigilancia.	Agua apta para consumo humano. Continuar la vigilancia.

ARTÍCULO 16°.- PROCEDIMIENTO DE REGISTRO DEL IRCA. Los cálculos de los IRCAs mensuales de control serán realizados por parte de la persona prestadora. Esta información será suministrada al Sistema Único de Información - SUI en los términos y plazos establecidos para el efecto por la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios - SSPD.

La autoridad sanitaria de los municipios categoría 1, 2 y 3 calculará los IRCAs provenientes de los resultados de las muestras de vigilancia y los reportará a la autoridad sanitaria departamental de su jurisdicción. Los IRCAs de los municipios categoría 4, 5 y 6 serán calculados por la autoridad sanitaria departamental. En ambos casos, la autoridad sanitaria departamental remitirá esta información al subsistema de vigilancia de la calidad del agua – SIVICAP del Instituto Nacional de Salud

La autoridad sanitaria notificará y tomará las acciones según lo establecido en el cuadro N°.7 con relación a los valores del IRCA por muestra y mensual. Una vez realizada la notificación se procederá a adoptar las medidas correspondientes.

Una vez sea suministrada la información al SUI por parte de las personas prestadoras, según lo establecido en el inciso 1 del presente artículo, el Instituto Nacional de Salud - INS resolverá las controversias presentadas entre los IRCAs mensuales que calculan las autoridades sanitarias y las personas prestadoras de conformidad con el reporte de información definido para el subsistema SIVICAP y para el sistema SUI respectivamente. El Instituto Nacional de Salud - INS informará el resultado final a la SSPD y a las partes involucradas.

ARTÍCULO 17°.- ÍNDICE DE RIESGO MUNICIPAL POR ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO - IRABAm. El valor del IRABAm oscilará entre cero (0) y cien (100) puntos. Es cero (0) cuando cumple con las condiciones aceptables para cada uno de los criterios de tratamiento, distribución y continuidad del servicio y cien (100) puntos para el más alto riesgo cuando no cumple ninguno de ellos.

ARTÍCULO 18°.- CÁLCULO DEL IRABAm. Para el cálculo del Índice de Riesgo Municipal por Abastecimiento de Agua IRABAm se tendrán en cuenta los procesos de tratamiento, distribución y continuidad del servicio y se realizará dando aplicación a la siguiente fórmula:

Característica	Puntaje de riesgo
Nitratos	1
Nitritos	3
Aluminio (Al ³⁺)	3
Fluoruros	1
COT	3
Coliformes Totales	15
Escherichia Coli	25
Sumatoria de puntajes asignados	100

El valor del IRCA es cero (0) puntos cuando cumple con los valores aceptables para cada una de las características físicas, químicas y microbiológicas contempladas en la presente Resolución y cien puntos (100) para el más alto riesgo cuando no cumple ninguno de ellos.

PARÁGRAFO. Si los resultados de los elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos, contemplados en los artículos 5° y 8° de la presente Resolución, exceden los valores máximos aceptables, al valor del IRCA se le asignará el puntaje máximo de 100 puntos independientemente de los otros resultados. Igualmente, se le asignará el valor de 100 puntos si hay presencia de Giardia y Cryptosporidium, teniendo en cuenta los plazos estipulados en el artículo 34° de esta Resolución.

ARTÍCULO 14°.- CÁLCULO DEL IRCA. El cálculo del índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano – IRCA, se realizará utilizando las siguientes fórmulas:

El IRCA por muestra:

$$\text{IRCA (\%)} = \frac{\square \text{puntajes de riesgo asignado a las características no aceptables}}{\square \text{puntajes de riesgo asignados a todas las características analizadas}} \times 100$$

El IRCA mensual:

$$\text{IRCA (\%)} = \frac{\square \text{de los IRCA's obtenidos en cada muestra realizada en el mes}}{\text{Número total de muestras realizadas en el mes}}$$

PARÁGRAFO. Las características que deben considerarse y determinarse para el cálculo del IRCA, por parte de las personas prestadoras son las contempladas en los cuadros N°.11 y N°.12 y para la autoridad sanitaria de la jurisdicción son las contempladas en los cuadros N°.13a, N°.13b, N°.14a y N°.14b de la presente resolución.

ARTÍCULO 15°.- CLASIFICACIÓN DEL NIVEL DE RIESGO. Teniendo en cuenta los resultados del IRCA por muestra y del IRCA mensual, se define la siguiente clasificación del nivel de riesgo del agua suministrada para el consumo humano por la persona prestadora y se señalan las acciones que debe realizar la autoridad sanitaria competente:

PARÁGRAFO 1. Como prueba complementaria se recomienda realizar la determinación de microorganismos mesofílicos, cuyo valor máximo aceptable será de 100 UFC en 100 cm³.

PARÁGRAFO 2. Ninguna muestra de agua para consumo humano debe contener E.coli en 100 cm³ de agua, independientemente del método de análisis utilizado.

PARÁGRAFO 3. El valor aceptable para Giardia es de cero (0) Quistes y para Cryptosporidium debe ser de cero (0) Ooquistes por volumen fijado según la metodología aplicada.

ARTÍCULO 12º.- OTRAS CONSIDERACIONES MICROBIOLÓGICAS. Además de las características señaladas en el artículo anterior, se deberán tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- a) A partir de la entrada en vigencia de la presente Resolución, para la implementación de la técnica de análisis de Giardia y Cryptosporidium se tendrá en cuenta el tamaño del sistema de suministro y los plazos estipulados en el cuadro N°.16 del artículo 34º de la presente Resolución.
- b) De acuerdo con el mapa de riesgo, las autoridades ambientales en cooperación con las autoridades sanitarias y las personas prestadoras de la jurisdicción, realizarán la investigación para verificar la presencia de otros microorganismos patógenos en el agua y la viabilidad de establecer otros indicadores. Si se demuestra la presencia de microorganismos patógenos, las autoridades incorporarán en el mapa de riesgo, sus hallazgos y las acciones a seguir.

CAPÍTULO IV

INSTRUMENTOS BÁSICOS PARA GARANTIZAR LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO

ARTÍCULO 13º.- ÍNDICE DE RIESGO DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO – IRCA.- Para el cálculo del IRCA al que se refiere el artículo 12 del Decreto 1575 de 2007 se asignará el puntaje de riesgo contemplado en el cuadro N°.6 a cada característica física, química y microbiológica, por no cumplimiento de los valores aceptables establecidos en la presente Resolución:

Cuadro N°.6 Puntaje de riesgo

Característica	Puntaje de riesgo
Color Aparente	6
Turbiedad	15
pH	1.5
Cloro Residual Libre	15
Alcalinidad Total	1
Calcio	1
Fosfatos	1
Manganeso	1
Molibdeno	1
Magnesio	1
Zinc	1
Dureza Total	1
Sulfatos	1
Hierro Total	1.5
Cloruros	1

cuenta el respectivo concepto toxicológico del producto para expedir el concepto técnico.

3. Las plantas de tratamiento deben garantizar mediante sistemas, estructuras o procedimientos de control, el tiempo de contacto del cloro como desinfectante, antes de enviar el agua a las redes y de poner el alcalinizante, el cual debe ser establecido de acuerdo con las tablas del artículo 115 de la Resolución 1096 de 2000 del entonces Ministerio de Desarrollo Económico, o la norma que la sustituya, modifique o adicione.
4. La cal, el sulfato de aluminio, el cloro y el hipoclorito utilizados en el tratamiento o potabilización del agua para el consumo humano, deben cumplir con la calidad determinada por la Resolución N°. 2314 de 1986 del Ministerio de Salud hoy de la Protección Social o la norma que la sustituya, modifique o adicione y con lo previsto en el capítulo C.4 -Coagulación - Mezcla rápida - de que trata el Título C del Reglamento de Agua y Saneamiento del año 2000, expedido por el entonces Ministerio de Desarrollo Económico o el que lo sustituya, modifique o adicione.

Para otros productos, materiales (polímeros) o insumos que vayan a ser utilizados en la potabilización del agua para consumo humano, el Ministerio de la Protección Social emitirá el respectivo concepto técnico, el cual incluye el concepto toxicológico.

CAPÍTULO III

CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS

ARTÍCULO 10°.- TÉCNICAS PARA REALIZAR ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS. Las técnicas aceptadas para realizar los análisis microbiológicos del agua para consumo humano son las siguientes:

- a) **PARA ESCHERICHIA COLI Y COLIFORMES TOTALES:** Filtración por membrana, Sustrato Definido, enzima sustrato y presencia - ausencia.

Se podrán adoptar otras técnicas y metodologías debidamente validadas por el Instituto Nacional de Salud - INS - o éste realizará una revalidación con base en documentos soporte de organismos internacionales que presenten los solicitantes.

- b) **PARA GIARDIA Y CRYPTOSPORIDIUM:** Las técnicas y metodologías de análisis para estos microorganismos deben ser validadas por el Instituto Nacional de Salud - INS - o revalidadas por éste con base en documentos soporte de organismos internacionales que presenten los solicitantes.

ARTÍCULO 11°.- CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS. Las características microbiológicas del agua para consumo humano deben enmarcarse dentro de los siguientes valores máximos aceptables desde el punto de vista microbiológico, los cuales son establecidos teniendo en cuenta los límites de confianza del 95% y para técnicas con habilidad de detección desde 1 Unidad Formadora de Colonia (UFC) ó 1 microorganismo en 100 cm³ de muestra:

Cuadro N°.5 Características microbiológicas

Técnicas utilizadas	Coliformes Totales	Escherichia coli
Filtración por membrana	0 UFC/100 cm ³	0 UFC/100 cm ³
Enzima Sustrato	< de 1 microorganismo en 100 cm ³	< de 1 microorganismo en 100 cm ³
Sustrato Definido	0 microorganismo en 100 cm ³	0 microorganismo en 100 cm ³
Presencia - Ausencia	Ausencia en 100 cm ³	Ausencia en 100 cm ³

conocidos se encuentren entre 21 y 200 mg/Kg, según las referencias reconocidas por el Ministerio de la Protección Social, es de 0,001 mg/L.

3. La concentración máxima aceptable para cada una de las sustancias químicas no consideradas en los numerales 1 y 2 del presente artículo, cuyos valores DL₅₀ oral más bajos conocidos se encuentren entre 201 y 2.000 mg/Kg, según las referencias reconocidas por el Ministerio de la Protección Social es de 0,01 mg/L.

PARÁGRAFO 1. La concentración total de plaguicidas y demás sustancias concernientes en los numerales 1, 2 y 3 del presente artículo, se ajustarán como se señala a continuación:

- a) La suma total de las concentraciones de plaguicidas y demás sustancias, cuyo valor individual máximo admisible sea de 0,0001 mg/L podrá ser de 0,001 mg/L como máximo, sin que en ningún caso se excedan los valores individuales.
- b) La suma total de las concentraciones de plaguicidas y demás sustancias, cuyo valor individual máximo admisible sea de 0,001 mg/L podrá ser de 0,01 mg/L como máximo, sin que en ningún caso se excedan los valores individuales.
- c) La suma total de las concentraciones de plaguicidas y demás sustancias cuyo valor individual máximo admisible sea de 0,01 mg/L podrá ser de 0,1 mg/L como máximo, sin que en ningún caso se excedan los valores individuales.

PARÁGRAFO 2 Sin perjuicio de lo dispuesto en este artículo, la suma total de las concentraciones de plaguicidas no podrá ser superior a 0,1 mg/L.

PARÁGRAFO 3. El mapa de riesgo también deberá incluir las características químicas potencialmente tóxicas consideradas en los numerales 1, 2 y 3 del presente artículo que se deben analizar en una determinada muestra.

ARTÍCULO 9°.- CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE OTRAS SUSTANCIAS UTILIZADAS EN LA POTABILIZACIÓN. Además de lo señalado en los artículos 5°, 6], 7° y 8° de la presente Resolución, dentro las características químicas del agua para consumo humano se deberán tener en cuenta los siguientes valores aceptables para otras sustancias químicas utilizadas en el tratamiento del agua, así:

1. El valor máximo aceptable del residual de aluminio derivado de su uso como coagulante en el tratamiento de agua para consumo humano en su forma (Al³⁺) será de 0,2 mg/L. Si se utiliza otro coagulante basado en sales de hierro, el valor máximo aceptable para el residual será 0,3 mg/L.

En el caso de utilizar otras sustancias químicas en el tratamiento del agua para consumo humano, el valor aceptable para el residual correspondiente u otras consideraciones al respecto, serán las reconocidas por las Guías de la Calidad de Agua vigentes de la Organización Mundial de la Salud y adoptadas por el Ministerio de la Protección Social.

2. El valor aceptable del cloro residual libre en cualquier punto de la red de distribución del agua para consumo humano deberá estar comprendido entre 0,3 y 2,0 mg/L. La dosis de cloro por aplicar para la desinfección del agua y asegurar el residual libre debe resultar de pruebas frecuentes de demanda de cloro.

Cuando se utilice un desinfectante diferente al cloro o cualquiera de las formulaciones o sustancias que utilicen compuestos distintos para desinfectar el agua para consumo humano, los valores aceptables para el residual correspondiente u otras consideraciones al respecto, serán los reconocidos por la Organización Mundial de la Salud y adoptados por el Ministerio de la Protección Social, quien tendrá en

PARÁGRAFO. Cualquier incremento en las concentraciones habituales de Carbono Orgánico Total – COT – debe ser investigado conjuntamente por la persona prestadora que suministra o distribuye agua para consumo humano y la autoridad sanitaria, con el fin de establecer el tratamiento correspondiente para su reducción.

ARTÍCULO 7º.- CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS QUE TIENEN CONSECUENCIAS ECONÓMICAS E INDIRECTAS SOBRE LA SALUD HUMANA. Las características químicas del agua para consumo humano en relación con los elementos y compuestos químicos que tienen consecuencias económicas e indirectas sobre la salud se señalan a continuación:

Cuadro Nº. 4 Características Químicas que tienen mayores consecuencias económicas e indirectas sobre la salud humana

Elementos y compuestos químicos que tienen implicaciones de tipo económico	Expresadas como	Valor máximo aceptable (mg/L)
Calcio	Ca	60
Alcalinidad Total	CaCO ₃	200
Cloruros	Cl ⁻	250
Aluminio	Al ³⁺	0,2
Dureza Total	CaCO ₃	300
Hierro Total	Fe	0,3
Magnesio	Mg	36
Manganeso	Mn	0,1
Molibdeno	Mo	0,07
Sulfatos	SO ₄ ²⁻	250
Zinc	Zn	3
Fosfatos	PO ₄ ³⁻	0,5

ARTÍCULO 8º.- CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS RELACIONADAS CON LOS PLAGUICIDAS Y OTRAS SUSTANCIAS. Las características químicas del agua para consumo humano deberán sujetarse a las concentraciones máximas aceptables de plaguicidas y otras sustancias químicas que se señalan a continuación. Estas concentraciones no se aplican a las características señaladas en los artículos 5º, 6º y 7º de la presente Resolución.

1. La concentración máxima aceptable presente en el agua es de 0,0001 mg/L para cada una de las siguientes características químicas:
 - a) Las características químicas reconocidas por el Ministerio de la Protección Social como cancerígenas, mutagénicas y teratogénicas o las referencias reconocidas por el mencionado Ministerio. No se incluye el asbesto, pues se considera cancerígeno sólo por inhalación.
 - b) Las características químicas cuyo valor DL₅₀ oral mínimo reconocido sea menor o igual a 20 mg/Kg, según las referencias reconocidas por el Ministerio de la Protección Social.
 - c) Las características cuya información reconocida por el Ministerio de la Protección Social, sean catalogadas como extrema o altamente peligrosas.
 - d) Las características químicas de origen natural o sintético sobre las que se considere necesario aplicar normas de precaución, en el sentido de que a pesar de no poseer suficiente información científica, se considere necesario adoptar medidas para prevenir daños graves o irreversibles a la salud de las personas, en razón a las condiciones de uso y manejo de las mismas.
2. La concentración máxima aceptable para las sustancias químicas no consideradas en el numeral 1 del presente artículo, cuyos valores de DL₅₀ oral más bajos

ARTÍCULO 3º.- CONDUCTIVIDAD. El valor máximo aceptable para la conductividad puede ser hasta 1000 microsiemens/cm. Este valor podrá ajustarse según los promedios habituales y el mapa de riesgo de la zona. Un incremento de los valores habituales de la conductividad superior al 50% en el agua de la fuente, indica un cambio sospechoso en la cantidad de sólidos disueltos y su procedencia debe ser investigada de inmediato por las autoridades sanitaria y ambiental competentes y la persona prestadora que suministra o distribuye agua para consumo humano.

ARTÍCULO 4º.- POTENCIAL DE HIDRÓGENO. El valor para el potencial de hidrógeno pH del agua para consumo humano, deberá estar comprendido entre 6,5 y 9,0.

ARTÍCULO 5º.- CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE SUSTANCIAS QUE TIENEN RECONOCIDO EFECTO ADVERSO EN LA SALUD HUMANA. Las características químicas del agua para consumo humano de los elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos diferentes a los plaguicidas y otras sustancias que al sobrepasar los valores máximos aceptables tienen reconocido efecto adverso en la salud humana, deben enmarcarse dentro de los valores máximos aceptables que se señalan a continuación:

Cuadro N°. 2 Características Químicas que tienen reconocido efecto adverso en la salud humana

Elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos diferentes a los plaguicidas y otras sustancias	Expresados como	Valor máximo aceptable (mg/L)
Antimonio	Sb	0,02
Arsénico	As	0,01
Bario	Ba	0,7
Cadmio	Cd	0,003
Cianuro libre y disociable	CN ⁻	0,05
Cobre	Cu	1,0
Cromo total	Cr	0,05
Mercurio	Hg	0,001
Níquel	Ni	0,02
Plomo	Pb	0,01
Selenio	Se	0,01
Trihalometanos Totales	THMs	0,2
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	HAP	0,01

PARÁGRAFO. Si los compuestos de trihalometanos totales o los de hidrocarburos policíclicos aromáticos señalados en el cuadro N°.2, exceden los valores máximos aceptables, es necesario identificarlos y evaluarlos, de acuerdo al mapa de riesgo y a lo señalado por la autoridad sanitaria.

ARTÍCULO 6º.- CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE SUSTANCIAS QUE TIENEN IMPLICACIONES SOBRE LA SALUD HUMANA. Las características químicas del agua para consumo humano en relación con los elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos que tienen implicaciones sobre la salud humana se señalan en el siguiente cuadro:

Cuadro N°. 3 Características Químicas que tienen implicaciones sobre la salud humana

Elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos que tienen implicaciones sobre la salud humana	Expresados como	Valor máximo aceptable (mg/L)
Carbono Orgánico Total	COT	5,0
Nitritos	NO ₂ ⁻	0,1
Nitratos	NO ₃ ⁻	10
Fluoruros	F ⁻	1,0

COLOR APARENTE: Es el color que presenta el agua en el momento de su recolección sin haber pasado por un filtro de 0.45 micras.

DOSIS LETAL MEDIA - DL₅₀: Estimación estadística de la dosis mínima necesaria para matar el 50% de una población de animales de laboratorio bajo condiciones controladas. Se expresa en miligramos de tóxico por kilogramo de peso del animal.

ESCHERICHIA COLI - E-coli: Bacilo aerobio Gram Negativo no esporulado que se caracteriza por tener enzimas específicas como la β galactosidasa y β glucuronidasa. Es el indicador microbiológico preciso de contaminación fecal en el agua para consumo humano.

POBLACIÓN SERVIDA O ATENDIDA: Es el número de personas abastecidas por un sistema de suministro de agua.

PREVALENCIA DE SUSTANCIAS QUÍMICAS: Son las sustancias químicas presentes en el agua para consumo humano, que permanecen en forma periódica o continua.

SUSTRATO DEFINIDO ENZIMÁTICO: Prueba que contiene sustratos hidrolizables para la detección de las enzimas β D galactosidasa de los coliformes y de las enzimas β D galactosidasa y β glucuronidasa de la E. Coli. El nutriente indicador permite que los microorganismos objeto de la prueba, una vez incubados en un medio reactivo, produzcan color o fluorescencia, indicando y confirmando la presencia del microorganismo objeto de investigación.

TIEMPO DE CONTACTO PARA EL DESINFECTANTE: Es el tiempo requerido desde la aplicación del desinfectante al agua hasta la formación como producto del residual del desinfectante, de forma que esa concentración permita la inactivación o destrucción de los microorganismos presentes en el agua.

TRATAMIENTO O POTABILIZACIÓN: Es el conjunto de operaciones y procesos que se realizan sobre el agua cruda, con el fin de modificar sus características físicas, químicas y microbiológicas, para hacerla apta para el consumo humano.

VALOR ACEPTABLE: Es el establecido para la concentración de un componente o sustancia, que garantiza que el agua para consumo humano no representa riesgos conocidos a la salud.

CAPÍTULO II

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO

ARTÍCULO 2º.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS. El agua para consumo humano no podrá sobrepasar los valores máximos aceptables para cada una de las características físicas que se señalan a continuación:

Cuadro N°. 1 Características Físicas

Características físicas	Expresadas como	Valor máximo aceptable
Color aparente	Unidades de Platino Cobalto (UPC)	15
Olor y Sabor	Aceptable ó no aceptable	Aceptable
Turbiedad	Unidades Nefelométricas de turbiedad (UNT)	2



**MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL
MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL**

RESOLUCIÓN NÚMERO 2115

(22 JUN 2007)

Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano

LOS MINISTROS DE LA PROTECCIÓN SOCIAL Y DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL

En ejercicio de las facultades legales y en especial las conferidas por los Decretos Ley 205 de 2003 y 216 de 2003, los artículos 3°, 8° parágrafo 1, 9° parágrafo 4 y 14 del Decreto 1575 de 2007

RESUELVE:

CAPÍTULO I

DEFINICIONES

ARTÍCULO 1º.- DEFINICIONES. Para los efectos de la presente Resolución, se adoptan las siguientes definiciones, además de las señaladas en el Decreto 1575 de 2007:

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL AGUA: Son los procedimientos de laboratorio que se efectúan a una muestra de agua para consumo humano para evaluar la presencia o ausencia, tipo y cantidad de microorganismos.

ANÁLISIS BÁSICOS: Es el procedimiento que se efectúa para determinar turbiedad, color aparente, pH, cloro residual libre o residual de desinfectante usado, coliformes totales y *Escherichia coli*.

ANÁLISIS COMPLEMENTARIOS: Es el procedimiento que se efectúa para las determinaciones físicas, químicas y microbiológicas no contempladas en el análisis básico, que se enuncian en la presente Resolución y todas aquellas que se identifiquen en el mapa de riesgo.

ANÁLISIS FÍSICO Y QUÍMICO DEL AGUA: Son aquellos procedimientos de laboratorio que se efectúan a una muestra de agua para evaluar sus características físicas, químicas o ambas.

CARACTERÍSTICA: Término usado para identificar elementos, compuestos, sustancias y microorganismos presentes en el agua para consumo humano.

COLORO RESIDUAL LIBRE: Es aquella porción que queda en el agua después de un período de contacto definido, que reacciona química y biológicamente como ácido hipocloroso o como ión hipoclorito.

COLIFORMES: Bacterias Gram Negativas en forma bacilar que fermentan la lactosa a temperatura de 35 a 37°C, produciendo ácido y gas (CO₂) en un plazo de 24 a 48 horas. Se clasifican como aerobias o anaerobias facultativas, son oxidasa negativa, no forman esporas y presentan actividad enzimática de la β galactosidasa. Es un indicador de contaminación microbiológica del agua para consumo humano.