

**DEGRADACIÓN FOTOCATALÍTICA DE RESIDUOS INDUSTRIALES QUE
CONTAMINAN AFLUENTES DE LA REGIÓN CUNDIBOYACENSE POR MEDIO
DE PENTÓXIDO DE VANADIO Y NIOBIO.**

SARA NICOL RIOS NIÑO

**PROYECTO INTEGRAL DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERA MECÁNICA**

DIRECTOR:

**LEYDI JULIETA CÁRDENAS FLECHAS
INGENIERA ELECTROMECAÁNICA**

CODIRECTOR:

**NELSON FERNÁNDEZ BARRERO
INGENIERO QUÍMICO**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C.**

2024

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del director

Firma del Presidente del jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Bogotá D.C. Julio de 2024

DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García-Peña

Consejero Institucional

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica

Dra. María Fernanda Vega de Mendoza

Vicerrectora de Investigaciones y Extensión

Dra. Susan Margarita Benavides Trujillo

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ramiro Augusto Forero Corzo

Secretario General

Dr. José Luis Macía Rodríguez

Decano de la Facultad

Ing. Naliny Patricia Guerra Prieto

Director del Programa

Dra. María Angélica Acosta Pérez

Las directivas de la Universidad América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

DEDICATORIA

*A Dios, siempre a él.
Con mucho amor a mis padres Fanny y Ernesto, a mi
querida hermana Hanna y mi abuela Rosalba.*

AGRADECIMIENTOS

El desarrollo de mi pregrado me permitió crecer como profesional y persona; con momentos de gran reflexión, arduo trabajo y mucha disciplina quiero agradecer a las personas que me apoyaron tanto en la investigación como en lo personal:

A la Dra. Leydi Cárdenas Flechas mi directora de tesis por todo su apoyo, disposición, gestión de recursos, enseñanzas y permanente soporte durante todas las etapas y desarrollo del proyecto; por sus consejos y paciencia. Por la idea para el desarrollo del proyecto.

Al profesor Nelson Fernández Barrero mi codirector de tesis por todo su apoyo, disposición, gestión de recursos, enseñanzas en el desarrollo del proyecto; por sus consejos y paciencia.

A la profesora Diana Marcela Cuesta Parra por todo su apoyo, disposición, enseñanzas en el desarrollo del proyecto; por sus consejos y paciencia.

A la Universidad de América, a la Facultad de Ingeniería por el apoyo económico, gestión de espacios y laboratorios.

A mi familia, mis padres y hermana, mi abuela materna, que me han apoyado siempre, por su fe en mí. A mis amigos que han estado en diferentes momentos de esta etapa, compartiendo reuniones, salidas, mensajes, alegrías y tristezas.

A Dios por iluminar mi camino y darme fuerza.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	13
INTRODUCCIÓN	16
1. OBJETIVOS	18
1.1 Objetivo general	18
1.2 Objetivos específicos	18
2. MARCO TEÓRICO	19
2.1 Región Andina	19
2.2 Región Cundiboyacense	20
2.3 Ríos de la Región Cundiboyacense	21
2.3.1 <i>Cuenca Río Magdalena</i>	21
2.3.2 <i>Cuenca Río Suarez</i>	21
2.3.3 <i>Cuenca del Río Chicamocha</i>	21
2.3.4 <i>Cuenca del Río Arauca</i>	21
3. CUERPOS DE AGUA	22
4. CONTAMINACIÓN DEL AGUA	24
4.1 ¿Qué es la contaminación del agua?	25
4.1.1 <i>Consecuencias de la contaminación</i>	26
4.1.2 <i>Contaminación en la región Cundiboyacense</i>	26
4.2 <i>Calidad del agua</i>	27
4.2.1 <i>El pH</i>	27
4.2.2 <i>Color</i>	28
4.2.3 <i>Temperatura</i>	28
4.2.4 <i>Conductividad</i>	28
4.2.5 <i>Sulfatos</i>	28
4.2.6 <i>Hierro</i>	29
4.2.7 <i>Cromo</i>	29
4.2.8 <i>Fosfatos</i>	30
4.2.9 <i>Solidos Suspendidos Totales</i>	30
4.2.10 <i>Nitritos y nitratos</i>	30
4.2.11 <i>Nitrógeno amoniacal</i>	31
4.2.12 <i>Turbidez</i>	31

4.3 Demandas Químicas Para La Revisión De La Calidad Del Agua	32
4.3.1 <i>Demanda Química de Oxígeno (DQO)</i>	32
4.3.2 <i>Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO)</i>	32
5. DEGRADACIÓN FOTOCATALÍTICA	34
5.1 Negro T de Eriocromo	34
5.2 Naranja de metilo	34
5.3 Rodamina	35
6. ESPECTROFOTOMETRÍA UV - VISIBLE	36
6.1 Generalidades del espectrofotómetro	36
6.2 Fundamentos de la espectrofotometría	36
6.3 Componentes de un espectrofotómetro	36
6.3.1 <i>Fuente de luz</i>	37
6.3.2 <i>Longitudes de onda (Monocromador)</i>	37
6.3.3 <i>Celda de muestra</i>	37
6.3.4 <i>Detectores (Fotomultiplicador)</i>	38
6.3.5 <i>Eficiencia</i>	38
6.3.6 <i>Exactitud longitud de onda</i>	38
6.3.7 <i>Resolución</i>	38
6.3.8 <i>Luz difusa</i>	38
6.3.9 <i>Ruido</i>	39
6.3.10 <i>Línea de base Flatness</i>	39
6.3.11 <i>Estabilidad</i>	39
6.3.12 <i>Exactitud fotométrica</i>	39
6.3.13 <i>Linealidad</i>	40
6.4 Evaluación de incertidumbre espectrofotometría	40
6.4.1 Incertidumbre tipo A:	40
6.4.2 Incertidumbre tipo B:	40
7. INDUSTRIA TEXTIL EN COLOMBIA	41
7.1 Industria textil en Cundinamarca y Boyacá	41
7.2 Fuentes hídricas afectadas	44
7.2.1 <i>Río Soacha</i>	44
7.2.2 <i>Río Bogotá</i>	45
8. MATERIALES	48

8.1 Pentóxido de Vanadio:	48
8.2 Óxido de Grafeno reducido:	48
8.3 Niobio:	49
9. MÉTODOS Y MATERIALES	50
9.1 Metodología	50
9.2 Preparación de soluciones	51
9.3 Instrumentos	53
9.4 Diseño de muestreo	53
9.5 Análisis físico-químico	54
9.6 Espectrofotometría Uv – Vis	57
9.7 Análisis para material sintetizado	57
10. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	60
10.1 Análisis Físico - químicos	60
10.1.1 <i>Conductividad</i>	60
10.1.2 <i>Color</i>	61
10.1.3 <i>Cromo</i>	62
10.1.4 <i>Fósforo</i>	63
10.1.5 <i>Hierro</i>	63
10.1.6 <i>Nitratos</i>	64
10.1.7 <i>Nitrógeno amoniacal</i>	64
10.1.8 <i>pH</i>	65
10.1.9 <i>Sulfatos</i>	65
10.1.10 <i>Sólidos suspendidos totales (SST)</i>	66
10.1.11 <i>Turbidez</i>	66
10.1.12 <i>Temperatura</i>	67
10.2 Análisis DQO y DBO	67
10.2.1 <i>Análisis previo</i>	68
10.2.2 <i>Análisis posterior</i>	69
10.3 Análisis Material Sintetizado con espectrofotómetro Uv- Vis	73
10.4 Análisis degradación Fotocatalítica	77
10.5 Índice de calidad de agua	83
11. CONCLUSIONES	85
REFERENCIA	87

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Regiones de Colombia.	19
Figura 2. Fuentes Hídricas región Andina.	20
Figura 3. Cuerpos de agua.	22
Figura 4. Escala de calibración.	32
Figura 5. Esquema del funcionamiento de un espectrofotómetro Uv-Vis.	37
Figura 6. Hidrografía y distribución Rio Soacha.	45
Figura 7. Hidrografía Rio Soacha.	47
Figura 8. Diagrama general del procedimiento.	50
Figura 9. Método de muestreo.	51
Figura 10. Color de muestras de tomadas, hechas en laboratorio.	61
Figura 11. Curva de calibración Negro de eriocromo.	74
Figura 12. Curva de calibración Rodamina B.	75
Figura 13. Curva de calibración naranja de metilo.	76
Figura 14. Sistema de fotodegradación.	77
Figura 15. Degradación Rodamina B con $V_2O_5 + Nb + rGO$ al 5%.	82
Figura 16. Escala de contaminación.	83

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Ríos más contaminados de Colombia.	27
Tabla 2. Cantidad de empresas por Municipio o Ciudad.	42
Tabla 3. Cantidad de empresas por Municipio o Ciudad.	43
Tabla 4. Preparación de soluciones y descripción del material.	51
Tabla 5. Ubicación de Muestreos.	53
Tabla 6. Prueba 5329/1 Toma de muestras.	55
Tabla 7. Prueba 5330/2 Toma de muestras.	55
Tabla 8. Prueba 5331/3 Toma de muestras.	56
Tabla 9. Prueba 5332/4 Toma de muestras.	56
Tabla 10. Prueba 5333/5 Toma de muestras.	57
Tabla 11. Resultado Conductividad	61
Tabla 12. Resultado Color.	62
Tabla 13. Resultado Cromo.	62
Tabla 14. Resultado Fosforo.	63
Tabla 15. Resultado Hierro.	63
Tabla 16. Resultado Nitratos.	64
Tabla 17. Resultado Nitrógeno Amoniacal.	65
Tabla 18. Resultado pH.	65
Tabla 19. Resultado Sulfatos.	66
Tabla 20. Resultado Solidos Suspendidos Totales.	66
Tabla 21. Resultado Turbidez.	67
Tabla 22. Resultado Temperatura.	67
Tabla 23. Resultados de laboratorio DQO.	68
Tabla 24. Resultados de laboratorio DBO.	68
Tabla 25. Resultado de laboratorio DQO y DBO muestra Naranja de Metilo degradado con $V_2O_5 + Nb + rGO$ al 15%.	70
Tabla 26. Resultado de laboratorio DQO y DBO muestra Rodamina degradado con $V_2O_5 + Nb + rGO$ al 15%.	70
Tabla 27. Resultado de laboratorio DQO y DBO muestra Agua Residual Salida de proceso de teñido Asistex degradado con $V_2O_5 + Nb + rGO$ al 15%.	71
Tabla 28. Resultado DQO y DBO para agua residual en la Salida de proceso de teñido, sin tratamiento y sin degradación.	72

Tabla 29. Resultado DQO y DBO para agua residual en la Salida de proceso de teñido, degradada con $V_2O_5 + Nb + rGO$ al 15%.	72
Tabla 30. Resultados de material sintetizado por espectrofotometría.	73
Tabla 31. Resultados de material sintetizado por espectrofotometría.	74
Tabla 32. Resultados de material sintetizado por espectrofotometría.	76
Tabla 33. Resultado degradación al 5% para Rodamina B.	81
Tabla 34. ICA	84

RESUMEN

El agua es uno de los recursos más importantes que posee tanto la tierra como el ser humano, sin embargo, a lo largo de los años, esta se ha venido contaminando por efecto del ser humano, sus invenciones, la industria, la revolución, desechos y demás factores que han afectado.

En la ciencia de los materiales se han estudiado varios métodos y procesos que permiten mejorar la calidad del agua, degradando partículas, separando diversas partículas por diferentes métodos y procesos, implementado distintos materiales, que al final permiten el desarrollo de mejora.

La degradación fotocatalítica de desechos industriales por medio de pentóxido de vanadio y niobio tiene una eficiencia al degradar materiales contaminantes presentes en el agua como lo son: rodamina, naranja de metilo y negro de eriocromo, contaminantes que se descargan en diferentes sectores como la industria: carbonera, textil, alimentos, entre otras, a causa de esto se ha llegado a niveles de contaminación altos, dando como resultado aguas con una calidad muy baja y no aptas para el consumo humano, no obstante algunos de los sectores como el agricultor, aun utilizan estas aguas para el riego en los diferentes cultivos de alimentos, exponiendo a los usuarios a distintas cantidades de estos contaminantes, causando el desarrollo de enfermedades.

La región Cundiboyacense es una de las más industrializadas por tener dentro de la misma la ciudad de Bogotá y también por contar con diferentes ciudades y pueblos que producen, abastecen y transportan diferentes productos a todo el país, se caracteriza por ser también una de las regiones más contaminadas del país. Con el fin de analizar efectos de los contaminantes presentes en las afluentes de la región cundiboyacense, como: rodamina, naranja de metilo y negro de eriocromo, presentes en su mayoría en la industria textil, para mejorar los indicadores de calidad del agua, demanda química y biológica de oxígeno, pH, turbidez, color, conductividad, diferentes metales, entre otras propiedades físicas y químicas.

Palabras claves: Degradación fotocatalítica, contaminación, afluentes, colorantes, industria.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Tierra es un planeta compuesto por 70% agua y 30% superficie terrestre, el agua es uno de los recursos más importantes. El agua está compuesta por moléculas de hidrogeno y oxígeno, debido a su calidad se denomina agua potable lo que quiere decir que no representa ningún tipo de riesgo para la salud humana, este término se apropia cuando el agua cumple con las normas de calidad promulgadas por las autoridades correspondientes [1].

Se denomina agua contaminada a cualquier modificación en sus características organolépticas, físicas, químicas, radiactivas y microbiológicas, causada por actividades humanas o procesos naturales, que pueda generar rechazo, enfermedad o incluso la muerte en el consumidor [2].

El crecimiento de la flora y fauna en las aguas superficiales está influenciado por diversas condiciones ambientales, las cuales determinan la selección de especies y el comportamiento fisiológico de los organismos individuales [2].

La contaminación en Colombia se evidencia en diferentes aspectos, la precariedad de recurso para toda la población, la calidad del agua, el desperdicio del recurso, la falta de empatía con el medio ambiente, entre otras.

Según los reportes brindados por la ONU, la FAO y el IPCC ((Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático) es bien sabido que Colombia ocupa un lugar relevante a nivel mundial debido a sus recursos hídricos, en ese orden de ideas y gracias a los estudios realizados por el IDEAM se reconoce la región Cundiboyacence como uno de los sectores geográficos más importantes del país [2].

La región Cundiboyacense es una de las más importantes ya que cuenta con gran cantidad de fuentes hídricas, que no solo pasan por esta región, sino que también recorre diferentes partes del país. Colombia es un país con una gran cantidad de industria enfocada a diferentes sectores, estas mismas tienen ventajas y así mismo desventajas, permiten el desarrollo del país, generan empleo, fomenta responsabilidad, entre otros, pero una de las desventajas que se convierte en una problemática importante es la contaminación que estos diferentes tipos de industria emiten a las afluentes cercanos y cómo esta afecta la salud, los ecosistemas, la agricultura, entre otros.

La contaminación en afluentes es relevante ya que muchas de las fuentes hídricas de la región suministran agua para diferentes actividades cotidianas o bien sea para alguna parte de la producción en la industria, a causa de estos contaminantes se pueden generar enfermedades o fallos en los procesos de producción a causa de los contaminantes, perdida de producto agrícola, ya que este es regado en su mayoría por agua de los diferentes afluentes cercanos.

Por tal motivo es importante contribuir y proteger las afluentes, para ello se propone el análisis

de la eficiencia de la degradación fotocatalítica de partículas contaminantes de las afluentes por medio de la síntesis del óxido de vanadio permitiendo mejorar los procesos y regulando también el uso de aguas limpias, creando conciencia de esto mismo y regulando su uso.

Por tal motivo es importante contribuir y proteger las afluentes, pues registros del IDEAM han despertado una gran preocupación por la presencia de metales pesados y compuestos. El gobierno colombiano ha implementado varias regulaciones para controlar la contaminación industrial, como lo son el Artículo 043 de 2006, la Ley 2115 de 2007, la resolución 631, entre otras normas vigentes. Sin embargo, la efectividad de estas regulaciones puede variar y la implementación puede ser un desafío.

Por ello se propone como aporte una degradación de las partículas contaminantes de las afluentes por medio del método de síntesis del óxido de vanadio permitiendo mejorar los procesos y regulando también el uso de aguas limpias, creando conciencia de esto mismo y regulando su uso.

INTRODUCCIÓN

La degradación fotocatalítica consiste en utilizar como catalizadores materiales semiconductores como el óxido de vanadio que al exponerse a la radiación solar o la luz artificial crean pares de agujeros o pares de electrón-hueco que se genera cuando un material semiconductor es irradiado con luz; para que los electrones tengan la capacidad de descomponer compuestos, permitiendo reducir partículas contaminantes en las afluentes [3].

Los factores importantes que conllevan a la investigación de la degradación fotocatalítica de desechos industriales en afluentes, basados en la contaminación de afluentes por estos materiales, son: degradar partículas, debido a que estas impurezas y partículas llegan a alterar la calidad del agua, lo que no solo afecta la fauna y flora, sino también gran parte de la agricultura. Otro de los factores es el impacto en la protección de la salud pública; mediante el método de degradación fotocatalítica se llega a mejorar la calidad y los niveles de oxígeno del agua, evitando así fuentes de enfermedades que puedan afectar al ser humano. Un aspecto importante dentro del marco legal es el cumplimiento con las regulaciones ambientales, que tienen como fin limitar los niveles de contaminación en el agua. La minimización de residuos es importante ya que no solo basta con concientizar a la población, la industria, entre otros actores, sino también llevarlo a cabo. La degradación tiene un punto importante en la descontaminación de aguas, ya que esta no genera subproductos peligrosos o nocivos para el ser humano y, como beneficio, las aguas tienen una mejor calidad. No solo se basa en la degradación de partículas contaminantes, sino que también por sí misma puede aprovechar la energía solar como fuente de activación, lo que lo hace un método respetuoso y sostenible desde el punto de vista energético. La degradación fotocatalítica de óxido de vanadio y niobio en afluentes es crucial para mantener la calidad del agua, salvaguardar la salud pública y adherirse a las regulaciones ambientales. Además, fomenta prácticas sostenibles en la gestión del agua y reduce la contaminación en nuestros ecosistemas acuáticos.

La ingeniería mecánica y la ingeniería de materiales se integran estrechamente en la investigación y desarrollo de nuevas tecnologías para abordar problemas ambientales complejos. Un área clave de esta colaboración es la caracterización de materiales, que implica analizar y entender las propiedades físicas, químicas y mecánicas de los materiales utilizados en diversas aplicaciones.

Un ejemplo significativo de la implementación real de la caracterización de materiales es en la gestión de afluentes contaminados por colorantes. De este modo, la sinergia entre la ingeniería mecánica y de materiales, junto con la caracterización precisa de los fotocatalizadores, permite

implementar soluciones innovadoras y sostenibles para tratar afluentes contaminados, contribuyendo a la protección del medio ambiente

1. OBJETIVOS

1.1 Objetivo general

Evaluar la degradación fotocatalítica del material de pentóxido de vanadio y niobio en los principales afluentes de la región cundiboyacense.

1.2 Objetivos específicos

Realizar toma de muestras de los principales afluentes de la región cundiboyacense.

Determinar por medio de espectrofotometría UV-visible la degradación fotocatalítica de contaminantes con las muestras sintetizadas de $V_2O_5 + Nb$.

Realizar el análisis DBO y DQO para detectar el material degradado previo y posterior al estudio.

2. MARCO TEÓRICO

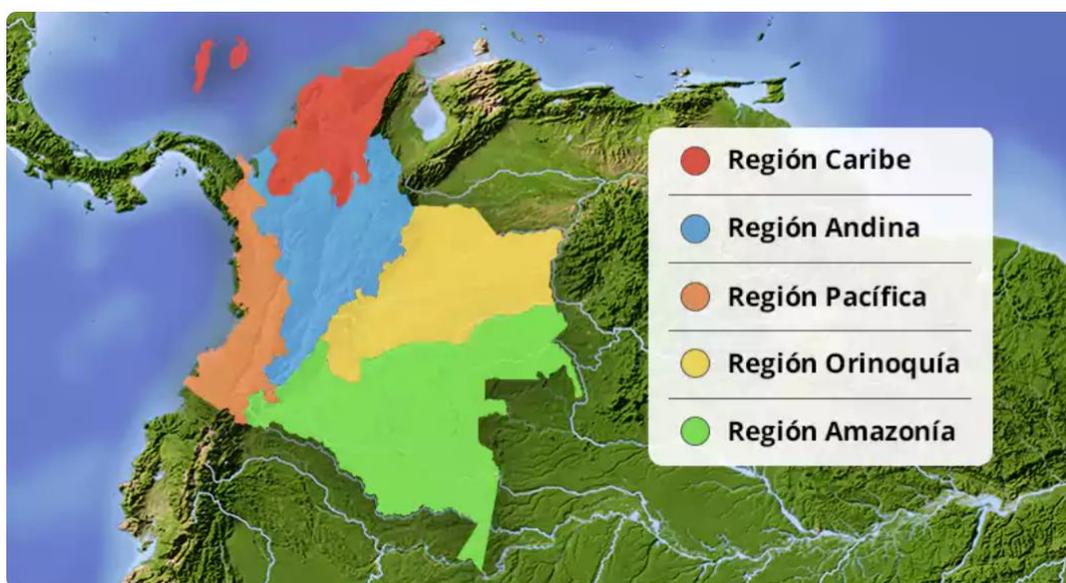
2.1 Región Andina

La figura 1 ilustra las seis regiones de Colombia y su localización en el mapa geográfico. En esta investigación se eligió la región Cundiboyacense, que forma parte de la región Andina. La figura 2 presenta las principales fuentes hídricas de la región andina, como los ríos Magdalena, Cauca, Bogotá, Sogamoso y Suárez, entre otros [4].

La región andina alberga gran cantidad de ríos y lagos, estos cuerpos de agua contienen abundancia de recursos naturales, tales como el agua potable, alimentos, energía, hidroeléctrica, entre otros. Estos recursos son esenciales para el desarrollo económico, social y ambiental del país [4] [5].

Figura 1.

Regiones de Colombia.



Nota. Regiones Naturales de Colombia.

Tomado de: Colombia. (2020). Regiones - Geografía - Historia de Colombia - Colombia Info. Colombia.com. <https://www.colombia.com/colombia-info/informacion-general/geografia/regiones/>

Figura 2.

Fuentes Hídricas Región Andina.



Nota. Fuentes Hídricas de la Región Andina de Colombia. Tomado de: *Región Andina Google Images*. Available at: <https://www.google.com.br/imghp> (Accessed: 16 October 2023).

La región andina es crucial para la agricultura, la industria y el consumo humano. No obstante, sus cuerpos de agua están siendo impactados por la contaminación y el cambio climático. Esto se debe a varios factores, como la falta de conciencia ambiental, la ausencia de políticas de protección y la deficiente gestión de los recursos hídricos. [6].

2.2 Región Cundiboyacense

La región Cundiboyacense se encuentra en la región Andina de Colombia, y está atravesada por ríos caudalosos y profundos, como el río Atrato, el río San Juan, el río Baudó, el río Mira y el río Patía. De estos ríos nacen o desembocan otros afluentes [7].

Boyacá es un departamento abundante en recursos hídricos, con numerosos ríos que representan una parte significativa del potencial eléctrico tanto para el departamento como para el país [7]. Los ríos que atraviesan Boyacá forman cinco cuencas hidrográficas, las cuales alimentan importantes ríos como el Magdalena, Suárez, Chicamocha, Arauca y Meta, entre otros [7].

2.3 Ríos de la Región Cundiboyacense

2.3.1 Cuenca Río Magdalena

El río Magdalena, situado entre las cordilleras Central y Oriental, ha creado un valle que sirvió como hogar para culturas prehispánicas y actuó como un importante corredor para el desarrollo de diversas actividades sociales y económicas. El río Magdalena recorre 72 kilómetros del territorio Boyacense. Es uno de los principales activos económicos a nivel país, ya que le corresponde la totalidad de la actividad financiera, transporte internacional y actividad portuaria de diferentes sectores [6] - [9].

2.3.2 Cuenca Río Suarez

El río Suárez tiene su origen en la laguna de Fúquene, en la frontera entre Boyacá y Cundinamarca. Atraviesa la región occidental, pasando por municipios como San Miguel de Sema, el valle de Chiquinquirá, Saboyá, Ricaurte y Moniquirá, así como San José de Pare y Santa Ana, antes de ingresar al departamento de Santander [6].

2.3.3 Cuenca del Río Chicamocha

El río Chicamocha tiene su origen al sur de Tunja y, a medida que atraviesa Paz de Río, el valle comienza a estrecharse, dando inicio al cañón del Chicamocha. Actúa como frontera natural con Santander y cuenta con afluentes notables como el Sotaquirá, el Tuta, el Pesca, el Chiquito, el Buzbanza y el Monguí, entre otros [6].

2.3.4 Cuenca del Río Arauca

El río Arauca recorre las aguas de los ríos que irrigan la zona nororiental del departamento como el Orozco, el Cobaría que atraviesa la reserva de los indios Tunebos. El río Meta no pasa por Boyacá, sin embargo, cuenta con sub cuencas que conectan o pasan por ríos de las regiones de Boyacá y Cundinamarca, como lo son: sub cuenca río Cravo Sur, río Lengupá, río Upía, río Cusiana, río Pauto, entre otros [6].

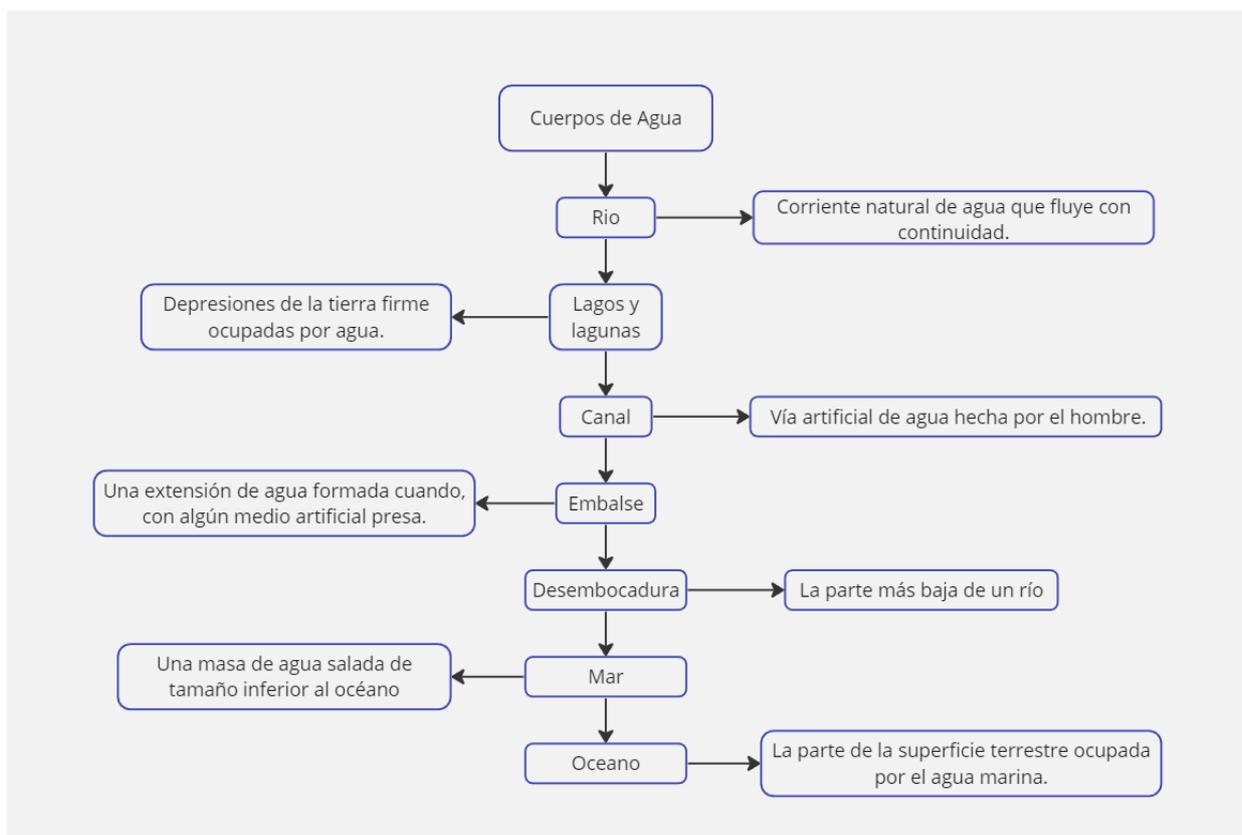
Para esta investigación se tomará como referencia el río Chicamocha, ya que es uno de los más importantes, extensos y que cubre parte de la región Cundiboyacense, es foco de contaminación debido a que a estas afluentes pasan por diversas industrias [6].

3. CUERPOS DE AGUA

La figura 3 muestra los diferentes tipos de agua que existen, siendo esto los más importantes de Colombia, teniendo en cuenta el punto en donde la mayoría de las afluentes nacen, hasta el punto donde termina que en este caso sería el mar.

Figura 3.

Cuerpos de agua.



Nota. Descripción cuerpos de agua en Colombia.

Tomado de: Colaboradores de los proyectos Wikimedia. (2007, 11 de abril). *Cuerpo de agua* - *Wikipedia, la enciclopedia libre*. Wikipedia, la enciclopedia libre. https://es.wikipedia.org/wiki/Cuerpo_de_agua

Colaboradores de los proyectos Wikimedia. “Índice de estado trófico - *Wikipedia, la enciclopedia libre*”. Wikipedia, la enciclopedia libre. Accedido el 18 de abril de 2024. [En línea]. Disponible: https://es.wikipedia.org/wiki/Índice_de_estado_trófico

“Categoría: Cuerpos de agua de Colombia - Wikipedia, la enciclopedia libre”. Wikipedia, la enciclopedia libre. Accedido el 18 de abril de 2024. [En línea]. Disponible: https://es.wikipedia.org/wiki/Categoría:Cuerpos_de_agua_de_Colombia

Colaboradores de los proyectos Wikimedia. “Porosidad - Wikipedia, la enciclopedia libre”. Wikipedia, la enciclopedia libre. Accedido el 18 de abril de 2024. [En línea]. Disponible: <https://es.wikipedia.org/wiki/Porosidad>

Colaboradores de los proyectos Wikimedia. “Permeabilidad - Wikipedia, la enciclopedia libre”. Wikipedia, la enciclopedia libre. Accedido el 18 de abril de 2024. [En línea]. Disponible: <https://es.wikipedia.org/wiki/Permeabilidad>

4. CONTAMINACIÓN DEL AGUA

La contaminación de los ríos es una problemática arraigada que persiste a lo largo de los años, exacerbada por el crecimiento demográfico y la expansión urbana en sus márgenes. Este fenómeno, acompañado por el aumento de desechos tanto orgánicos, provenientes de desagües, como industriales, ha provocado una considerable alteración en la composición natural de las aguas, afectando tanto a la fauna y flora que dependen de ellas, como a los seres humanos que las utilizan como fuente de agua potable [15] [16].

La calidad de los sistemas de abastecimiento es una problemática de los países en desarrollo, especialmente en las zonas rurales, estudios bioluminiscencia para detección de contaminantes en afluentes de Boyacá de V. Fischeri [17], método toxicológico que se utiliza para detectar los efectos agudos de diferentes contaminantes, en este estudio básicamente se tomaron muestras de agua con el fin de determinar los principales sectores contaminantes y se evaluaron las características fisicoquímicas y toxicológicas, se detectó que las fuentes de agua sí contenían diferentes contaminantes en diferentes porcentajes de contaminación según la industria, sin embargo, lo primordial en el estudio era identificar los acueductos principales de la región, de estos se hicieron las muestras de agua, determinando así que el 95% de los acueductos estaban suministrando a los ciudadanos agua con un riesgo agudo [17].

Se espera que para 2050 más de 2500 personas consuman agua contaminada con sustancias químicas de interés ecotoxicológico [18]. La presencia de estos componentes en el medio ambiente tiene un origen natural y de las mismas actividades que el hombre ha desarrollado durante diferentes épocas.

La contaminación de los diferentes ríos no solo muestra afectaciones en las poblaciones cercanas, también se desarrolla a lo largo del país ya que estas aguas se transportan por todo el país cambiando sus nombres, así de tal modo hasta llegar al mar, este también es un foco de contaminación muy alto, ya que no solo llegan las partículas contaminantes del resto del país sino también los mismos residuos que se generan debido al turismo y otros factores industriales. Los micro plásticos son contaminantes que se han encontrado en diversos ecosistemas de la vida marina y costera, estos pueden generar impactos ecológicos [19].

Los micro plásticos son fibras y fragmentos, con diferentes polímeros de alta densidad, la gran mayoría de la fauna marina poseía gran cantidad de polímeros en el tracto digestivo. Las abundancias micro plásticas son mayores cerca de las desembocaduras de los ríos y en las zonas urbanas con una alta densidad de actividades pesqueras e infraestructuras acuícolas, que son importantes fuentes de contaminantes [19].

4.1 ¿Qué es la contaminación del agua?

La Organización Mundial de la Salud (OMS) define el agua contaminada como aquella que sufre modificaciones en su composición, volviéndola inapropiada para el consumo humano y para usos esenciales como la agricultura. Esta contaminación del agua se ha vinculado con un importante número de fallecimientos a nivel global debido a diversos síntomas y enfermedades.

Los agentes contaminantes del agua incluyen bacterias, virus, parásitos, fertilizantes, pesticidas, fármacos, nitratos, fosfatos, plásticos, desechos fecales e incluso sustancias radiactivas. A menudo, estos contaminantes no alteran visiblemente el color o aspecto del agua, lo que dificulta su detección. Por lo tanto, se hace necesario llevar a cabo análisis químicos de alícuotas y observar la vida acuática para determinar la calidad del agua [20] [21].

No solo existen contaminantes en el agua, también existen diferentes focos de contaminación que podrían tener y dejar huellas más elevadas, impactando no solo los suelos y diferentes hábitats, deteriorando las diferentes capas del planeta, todo esto a causa de la contaminación.

El calentamiento global se origina principalmente por el aumento de la temperatura terrestre, que a su vez está vinculado a las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) y otros gases de efecto invernadero [20].

La deforestación, resultado de la tala de bosques, tiene consecuencias significativas. Este proceso puede agotar las fuentes hídricas al interrumpir el ciclo natural del agua, además de generar residuos forestales que afectan negativamente al ecosistema [20].

Las actividades industriales, agrícolas y ganaderas contribuyen a la eutrofización del agua, un fenómeno causado por los vertidos de productos químicos y nutrientes en exceso en los cuerpos de agua, lo que provoca un crecimiento descontrolado de algas y la muerte de especies acuáticas [20].

Las basuras y vertidos de aguas fecales representan una preocupación global. Más del ochenta por ciento de las aguas residuales en el mundo se descargan en el mar sin tratamiento previo, mientras que muchos ríos aún carecen de sistemas adecuados de depuración [20].

El tráfico marítimo también contribuye a la contaminación, ya que la mayoría de los plásticos que contaminan los océanos provienen de los barcos pesqueros, petroleros y de transporte de mercancías [20].

Por último, los derrames de combustibles, ocasionados por filtraciones durante el transporte y almacenamiento del petróleo y sus derivados, representan una amenaza importante para los cuerpos de agua, afectando a los ecosistemas acuáticos y causando daños a largo plazo en la biodiversidad marina y terrestre [20].

4.1.1 Consecuencias de la contaminación

Las implicaciones de la contaminación del agua pueden traducirse en la disminución de su calidad, con repercusiones negativas tanto en el entorno natural como en la salud pública y la economía global, como se señaló anteriormente. La demanda biológica de oxígeno (DBO) es una medida que refleja el grado de contaminación orgánica presente en el agua, y su impacto puede sentirse directamente en la economía de un país, reflejado en su Producto Interno Bruto (PIB). Además, otras consecuencias de la contaminación pueden incluir la degradación de la biodiversidad, la contaminación de la cadena alimentaria, la escasez de agua potable, el aumento de enfermedades y la mortalidad infantil, entre otros efectos adversos [20].

4.1.2 Contaminación en la región Cundiboyacense

Uno de los afluentes más afectados por la contaminación es el río Chicamocha, que es vital para la región dado que se origina en Tunja y atraviesa el departamento antes de desembocar en el río Magdalena, donde se convierte en el río Sogamoso. Además de recibir contaminación de los municipios, este río también sufre la influencia de vertidos industriales, como los provenientes de Acerías Paz del Río, Termo Paipa, las aguas termales de las piscinas de Paipa y la zona industrial de Sogamoso, entre otros [15] [16].

Las principales localidades responsables de la contaminación del río Chicamocha son Tunja, Sogamoso y Duitama, según lo indicado por la corporación autónoma de Boyacá. Estas ciudades aportan el 90% de los contaminantes al río, siendo Tunja responsable del 40%, Duitama del 30% y Sogamoso del 20%. Como resultado de esta situación, Duitama carece de un adecuado servicio de acueducto para tratar el agua contaminada, lo que ha generado problemas de salud recurrentes entre algunos de sus habitantes [16].

Según el decreto 1594 de 1984 las aguas del río Chicamocha están destinadas para consumo humano, doméstico, agrícola, pecuario e industrial. Pero a causa de la alta tasa de contaminación no debería ser admitida para el consumo humano [16].

En Boyacá, la principal fuente de contaminación radica en los residuos generados por la actividad minera del carbón. El agua residual empleada en esta actividad está provocando una seria contaminación de los afluentes del municipio, los cuales son utilizados para la agricultura en la región [16] [22].

Diferentes zonas de la región cundiboyacense contienen fuentes de calor magmáticas y fracturas en el suelo que permiten el flujo de agua caliente y estas tienen gran cantidad de minerales, estas al llegar a la superficie o a un cause se encuentran con agua frías, esto contribuye al aumento

sustancial de diferentes minerales presentes en el agua [23].

Tabla 1.

Ríos más contaminados de Colombia.

Ríos más contaminado de Colombia	
1.	Rio Bogotá
2.	Rio Chicamocha
3.	Rio Medellín
4.	Rio Cauca
5.	Rio Suarez

Nota. Ríos más contaminados de Colombia.

Tomado de: Ambiente, R.M. (no date) *Sos de los Ríos del País: Contaminación Sigue Sin Control, El Nuevo Siglo*. Available at: <https://www.elnuevosiglo.com.co/ambiente-y-ciencia/sos-de-los-rios-del-pais-contaminacion-sigue-sin-control> (Accessed: 23 October 2023).

4.2 Calidad del agua

La calidad del agua se refiere al estado de sus características físicas, biológicas y químicas según condiciones preestablecidas, las cuales pueden variar dependiendo de la ubicación y el momento específico. Cuando se mezcla agua superficial con agua subterránea, la calidad final del agua puede estar comprometida, y estas se conectan con el suministro de agua que utilizamos a diario. Es esencial tener en cuenta que la calidad del agua puede deteriorarse tanto por causas naturales como por influencia de actividades humanas [25].

Los parámetros esenciales para la medición de la calidad del agua son:

Análisis de calidad del agua:

4.2.1 El pH

El pH es una medida que indica la proporción de iones de hidrogeno en una solución. Esta medida

se encuentra en una escala que va de 0 a 14, donde 0 representa una solución altamente ácida y 14 una solución altamente alcalina [25].

4.2.2 Color

El tono de las aguas superficiales y subterráneas se debe a la existencia de materia orgánica, derivada tanto de plantas como de microorganismos. La materia húmica, compuesta por ácidos fúlvicos y húmicos, contribuye a generar un tono marrón amarillento en el agua. Los ácidos húmicos, en particular, producen un color más pronunciado. Además, la presencia de hierro puede intensificar este color debido a la formación de humatos férricos solubles [25].

El color real, también conocido como color verdadero, se refiere al color del agua una vez que se han eliminado las partículas que causan turbidez. Este color verdadero se determina únicamente por el agua y las sustancias disueltas en ella, mientras que el color aparente también incluye las partículas en suspensión [26].

La medición del color del agua se realiza utilizando un espectrofotómetro [27].

4.2.3 Temperatura

En el ámbito hídrico, la importancia de la temperatura en el agua puede proveer un indicio de las condiciones de vida para plantas acuáticas y animales [28].

4.2.4 Conductividad

La conductividad eléctrica (CE) es una medida de la capacidad de una sustancia para conducir corriente eléctrica, facilitada por pequeñas partículas cargadas llamadas iones. Estos iones pueden tener carga positiva o negativa. La CE es una forma alternativa de evaluar la calidad del agua, ya que un aumento en la concentración total de sólidos disueltos (TDS), expresada en términos de CE, puede indicar la presencia de contaminantes. La CE puede ser influenciada por la presencia de carbonatos en aguas calcáreas, así como por contaminantes de origen humano, como aguas residuales, sistemas sépticos o residuos agrícolas [25].

4.2.5 Sulfatos

Los sulfatos son sustancias que se encuentran de manera inherente en el agua debido al proceso natural de lavado y disolución parcial de materiales del suelo por los que fluye, tales como formaciones rocosas que contienen principalmente yeso y suelos con alto contenido de sulfatos. Se han registrado concentraciones elevadas tanto en las aguas subterráneas como en las

superficiales provenientes de fuentes naturales. Además, estos compuestos pueden ser introducidos en el agua a través de los desechos y vertidos industriales, así como por la deposición atmosférica [29].

Los sulfatos presentes en el agua potable no son tóxicos en las concentraciones usuales; sin embargo, en niveles muy elevados, pueden tener efectos notables. Por lo tanto, la presencia de sulfatos en el agua de consumo puede dar lugar a un sabor que el consumidor puede percibir como amargo o medicinalmente desagradable, dependiendo del tipo de sulfato en asociación con el sodio y el calcio [29].

4.2.6 Hierro

La presencia de hierro en el agua es un fenómeno natural, ya que este elemento es común en la superficie terrestre y se introduce en las aguas subterráneas a medida que estas se infiltran en el suelo. Además de su origen natural, la presencia de hierro también puede estar asociada con la corrosión de tuberías y tanques de almacenamiento metálicos que contienen este elemento. La corrosión puede desprender y disolver el hierro de las superficies de acero, y este hierro liberado puede depositarse en otras partes del sistema de distribución de agua, generando nuevos puntos de corrosión [30].

Por lo general, las cantidades de este metal en el agua no representan un riesgo para la salud. No obstante, el hierro puede afectar negativamente el sabor del agua y provocar manchas de color marrón rojizo en la ropa, vajilla, utensilios, vidrios, lavavajillas y accesorios de fontanería [30].

4.2.7 Cromo

El cromo, como elemento químico puro, no se encuentra de manera natural y se extrae del subsuelo en forma de minerales, especialmente de la cromita. Este metal, de color blanco plateado, es duro pero quebradizo, y se emplea principalmente en la fabricación de aleaciones anticorrosivas con alta dureza y resistencia al calor, así como en procesos de galvanización. En la industria textil, se utiliza en la producción de pigmentos y colorantes, además de ser empleado en el curtido de cuero. Estos usos del cromo deberían hacernos reflexionar sobre nuestro consumo de ciertos objetos, donde el cromo se utiliza únicamente por razones estéticas [31].

Aunque la inhalación es la principal forma de exposición al cromo, también puede dispersarse en el agua. Por ejemplo, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) ha establecido un límite de seguridad de 0,1 mg/L de cromo total en el agua [31].

Por tanto, en su forma de oxidación como Cromo (III), este elemento está presente en ciertas frutas y verduras, y su falta en la dieta puede tener efectos negativos en el corazón y en el metabolismo de la glucosa [31].

El cromo (VI), también conocido como hexavalente, representa el principal desafío en términos ambientales y de salud. En el entorno ambiental, una vez que se introduce en el agua, puede ocasionar diversos problemas en los peces, como dificultades respiratorias debido a afectaciones en las agallas, defectos congénitos, infertilidad y la formación de tumores [31].

4.2.8 Fosfatos

Los fosfatos son otro tipo de contaminante común en los cuerpos de agua, generalmente derivados de los compuestos utilizados como fertilizantes en áreas agrícolas y de los detergentes empleados en entornos urbanos. También pueden originarse a partir de la erosión del suelo y de la materia orgánica en descomposición, que proviene de industrias, hogares y granjas de animales [32].

4.2.9 Sólidos Suspendidos Totales

Los Sólidos Suspendidos Totales (SST) se refieren al material sólido que permanece en suspensión en las corrientes de agua superficial y/o residual [34].

Los Sólidos Suspendidos Totales (SST) representan la cantidad de residuos que quedan atrapados en un filtro de fibra de vidrio con un tamaño de poro nominal de 0,45 micras, y hacen referencia al material sólido que permanece en suspensión en las corrientes de agua superficial y/o residual (CAN, 2005) [34].

Los sólidos suspendidos totales (SST) abarcan una variedad de elementos como plancton, minerales de arcilla, arena, limo, coloides agregados, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, y otros microorganismos presentes en el agua. Estos pueden tener diversas fuentes y se clasifican según su composición, ya sea orgánica o inorgánica; además, pueden derivar de fuentes externas o internas, como la erosión del suelo o la resuspensión [34].

4.2.10 Nitritos y nitratos

Los niveles de nitratos y nitritos en aguas naturales son indicadores clave de su calidad. Ambos están vinculados al ciclo del nitrógeno en el suelo y las plantas, si bien los nitratos pueden aumentar debido a la aplicación de fertilizantes. Los nitritos se generan durante la descomposición de nitratos, amonio nitrogenado u otros compuestos orgánicos nitrogenados, y se emplean como indicadores de contaminación fecal en aguas naturales [35].

Los nitratos, aunque no se consideran tóxicos en sí mismos, pueden tener efectos diuréticos si se consumen en grandes cantidades. Por otro lado, los nitritos tienen el potencial de formar compuestos cancerígenos, conocidos como nitrosaminas, al reaccionar con aminas secundarias o terciarias. Además, pueden interactuar con los glóbulos rojos de la sangre, lo que resulta en metahemoglobinemia, una condición que dificulta el transporte de oxígeno en el cuerpo [35].

4.2.11 Nitrógeno amoniacal

En aguas y aguas residuales, las formas de nitrógeno más relevantes son, en orden descendente de estado de oxidación, nitrato, nitrito, amoniacal y nitrógeno orgánico. Todas estas formas de nitrógeno, así como el nitrógeno gaseoso, experimentan cambios bioquímicos y forman parte del ciclo del nitrógeno [36].

El amoniacal se encuentra naturalmente en los cuerpos de agua como resultado de la descomposición de compuestos orgánicos e inorgánicos en el suelo y el agua. Además, es un componente habitual en las aguas residuales, tanto domésticas como industriales, debido a los vertidos de efluentes [36].

4.2.12 Turbidez

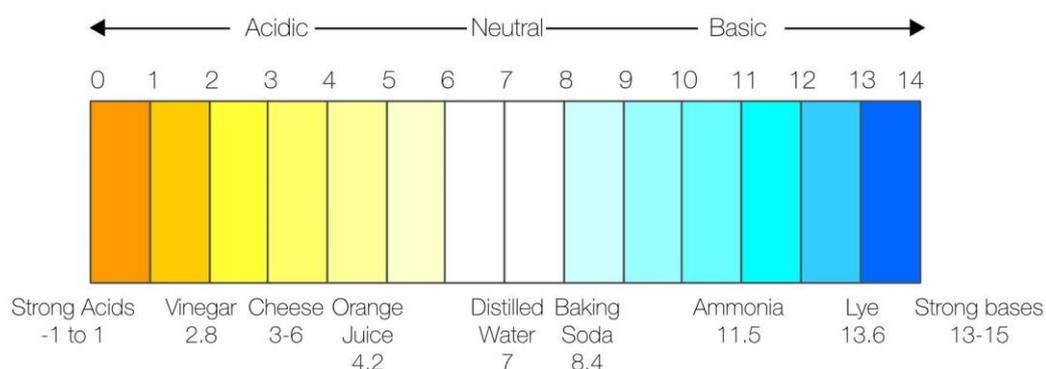
La turbidez se refiere a la falta de transparencia del agua, la cual es causada principalmente por partículas en suspensión que no pueden ser distinguidas individualmente. Estas partículas pueden incluir algas, sedimentos, minerales, proteínas, aceites o bacterias [25].

La turbidez juega un papel crucial en la salud y la calidad de un cuerpo de agua. Cuando el agua es más clara, los organismos acuáticos pueden beneficiarse de una mayor penetración de la luz para realizar la fotosíntesis. Esto contribuye a aumentar la producción de oxígeno en el agua. La turbidez, al ser un indicador visible y cuantificable, puede señalar posibles problemas en el agua. Un alto nivel de turbidez puede indicar la presencia potencial de diversos factores, como altos niveles de nitratos o fosfatos, temperaturas más elevadas en el agua o mayores concentraciones de dióxido de carbono [25].

Es importante tener presente la escala de contaminación que presenta el agua, así se puede identificar si es ácida, neutra o alcalina, también el criterio de contaminación.

Figura 4.

Escala de calibración.



Nota. Escala de calibración para pH.

Tomado de: *Calibration check waterproof pH/mV/°C meter - hanna inst.* Available at: https://www.hannainst.com/hubfs/productmanuals/MAN9126_09_17.pdf?hsLang=en (Accessed: 24 October 2023).

4.3 Demandas Químicas Para La Revisión De La Calidad Del Agua

4.3.1 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Es una medida utilizada en la química y la ingeniería para determinar la cantidad de oxígeno requerida para oxidar y descomponer materia orgánica y algunas sustancias químicas presentes en una muestra de agua [38].

Se utiliza el dicromato de potasio para determinar la cantidad de oxígeno necesaria para la oxidación química tanto de la materia orgánica como inorgánica en aguas naturales o residuales [38].

Es importante en la gestión de la calidad del agua y el tratamiento de aguas residuales, ya que permite evaluar la carga contaminante y diseñar sistemas de tratamiento adecuado para eliminar la materia orgánica y los contaminantes presentes. También permite monitorear y controlar la calidad del agua en cuerpos de aguas naturales [38].

4.3.2 Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO)

Es un indicador empleado en la evaluación de la calidad del agua para calcular la cantidad de oxígeno requerida por los microorganismos para descomponer la materia orgánica presente en

una muestra durante un período determinado. Esta evaluación se realiza comúnmente durante un período de cinco días a una temperatura de 20 ° C [38].

La liberación de materia orgánica contaminante en un cuerpo de agua desencadena un proceso natural de purificación a través de la oxidación. Este proceso, conocido como oxidación bioquímica, implica la actividad microbiana que utiliza las sustancias contaminantes como fuente de carbono, al mismo tiempo que consume oxígeno disuelto en el agua para la respiración. La eficacia de este proceso de purificación está influenciada por diversas condiciones, como la temperatura y la composición de la materia orgánica. [38].

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) mide la cantidad de oxígeno necesaria o consumida para la descomposición microbiana (oxidación) de la materia orgánica en el agua, se define como la cantidad total de oxígeno requerido por los microorganismos para oxidar la materia orgánica biodegradable [38].

5. DEGRADACIÓN FOTOCATALÍTICA

El proceso de degradación de contaminantes en el agua implica suministrar energía a los compuestos químicos. Esta energía es absorbida por las moléculas, lo que les permite alcanzar excitación electrónica en un período específico de tiempo y, como resultado, experimentar reacciones químicas [39].

Aspectos importantes:

- Catalizador fotocatalítico
- Generación de pares electrón-Hueco
- Reacciones de oxidación
- Aplicaciones: purificación de agua potable, descontaminación de aire y eliminación de compuestos orgánicos.

La degradación fotocatalítica de compuestos orgánicos que utilizan materiales de óxido semiconductor los catalizadores como la luz desempeñan un papel importante en el proceso de degradación fotocatalítica. Lo que se debe llevar a cabo es una mayor absorción de la luz, eficaz generación de carga, separación y recombinación mínima de portadores de carga foto generados [40].

La actividad fotocatalítica y las propiedades ópticas del fotocatalizador están correlacionadas, para el estudio de la degradación es necesario tener claro que la parte a degradar será un polvo, estos polvos fotocatalíticas se evalúan mediante coeficientes de extinción, absorción, y dispersión [41].

5.1 Negro T de Eriocromo

La degradación fotocatalítica del negro de eriocromo por fuentes de radiación de luz UV, permite degradar este contaminante y su eficiencia depende de aspectos importantes como la fuente de luz y el pH de la solución del tinte, puede verse afectado algún resultado por la temperatura, el porcentaje de degradante, la dosis [39].

5.2 Naranja de metilo

El naranja de metilo es un colorante azoderivado empleado como indicador de pH. Su rango de cambio de color debido al pH abarca desde 3,1 hasta 4,4, transformándose de rojo a amarillo naranja, dependiendo de las condiciones ácidas o alcalinas [42].

Actualmente, el naranja de metilo se utiliza en una variedad de aplicaciones, que incluyen desde formulaciones farmacéuticas hasta colorantes para teñido en una concentración del 5%, así como para determinar la alcalinidad del lodo en operaciones petroleras. Además, se emplea en citología junto con la solución de Fucsina. También conocido como heliantina, se utiliza en una concentración de 1 gota al 0,1% por cada 10 mL de disolución [42].

El naranja de metilo (NM) es comúnmente presente en los efluentes de la industria textil debido a su uso como colorante [43].

5.3 Rodamina

Se usa comúnmente para evaluar polímeros dentales [44], en estos se permite estudiar y determinar su dureza.

Usualmente, son compuestos orgánicos heterocíclicos con fluorescencia, empleados como colorantes y como agentes amplificadores en láseres de colorante. También se utilizan como tintes indicadores en el agua para evaluar el volumen, la velocidad y las direcciones del flujo y transporte [45].

6. ESPECTROFOTOMETRÍA UV - VISIBLE

6.1 Generalidades del espectrofotómetro

Se trata de técnicas de laboratorio empleadas para el análisis tanto cualitativo como cuantitativo de compuestos químicos, siendo de gran relevancia en diversas industrias como la química, petroquímica, farmacéutica, entre otras [46].

Una de las principales funciones del espectrofotómetro radica en su capacidad para dirigir un haz de luz monocromática (con una longitud de onda específica) a través de una muestra, y luego medir la cantidad de luz que la muestra absorbe [46].

6.2 Fundamentos de la espectrofotometría

Se trata de un método para medir la concentración de masa de elementos y compuestos químicos, que se basa en la interacción entre la energía electromagnética y la materia [46].

Se basa en la medición de la radiación de una sola longitud de onda absorbida por un elemento o molécula, lo que provoca desplazamientos electrónicos a capas superiores. Este cambio se conoce como la región del espectro donde ocurre la absorción. [46].

La base fundamental de los métodos espectrofotométricos es la ley de Lambert-Beer, que establece una relación lineal entre la absorbancia, la concentración y la longitud del camino óptico [46].

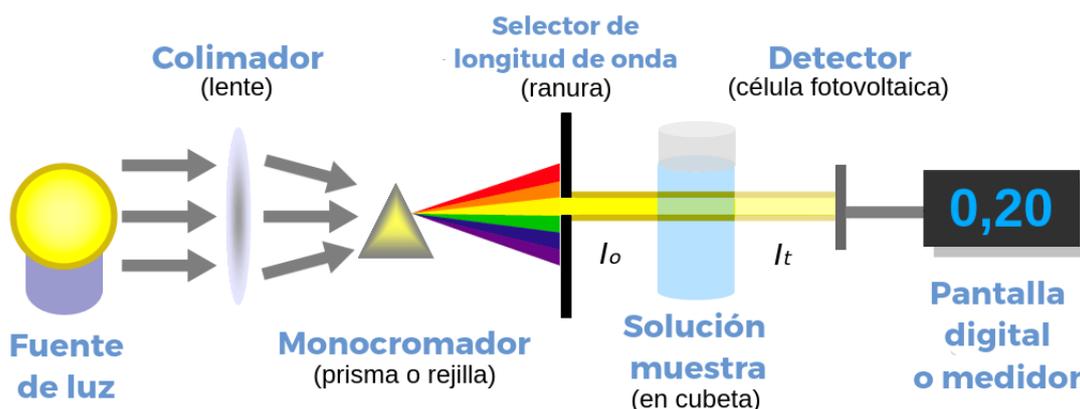
6.3 Componentes de un espectrofotómetro

Los componentes principales de un espectrofotómetro son: [47].

- Fuente de radiación (Fuente de luz)
- Selector de longitud de onda (Monocromador)
- Recipiente de la muestra (Cubeta de muestra)
- Detector (Foto multiplicador)
- Amplificador de la señal
- Dispositivos de lectura (Ordenador)

Figura 5.

Esquema del funcionamiento de un espectrofotómetro UV-VIS.



Nota. Esquema de funcionamiento espectrofotómetro.

Tomado de: Labster Theory. “Esquema del funcionamiento de un espectrofotómetro UV-VIS.” Google. Accedido el 19 de abril de 2024. [En línea]. Disponible: https://labster-image-manager.s3.amazonaws.com/94951b92a33342b39cbd28a0a4af79ec/Spectrophotometer2.es_ES.png

6.3.1 Fuente de luz

La muestra se ilumina mediante una fuente de luz. Las características esenciales de esta fuente son su estabilidad, su capacidad para emitir luz de manera direccionada, su distribución continua de energía espectral y su larga durabilidad. Principalmente, se utilizan lámparas de tungsteno-halógeno o lámparas de pulso/arco de xenón [46].

Utilidad: Región del visible al infrarrojo 320 – 2500 nm [46].

6.3.2 Longitudes de onda (Monocromador)

Se requiere una radiación que consista en un conjunto limitado y continuo de longitudes de onda, conocidas como bandas. Una banda estrecha contribuye a mejorar la resolución. En general, el ancho medio de la banda instrumental debe ser como máximo 1/10 del ancho medio de la banda espectral de la absorción que se va a medir. [46].

6.3.3 Celda de muestra

Son la distancia que recorre la radiación electromagnética a través de una muestra. Las celdas de muestra tienen dimensiones que oscilan entre 0.5 y 5 cm y pueden tener formas rectangulares o cilíndricas. El material del que están hechos varía según la región del espectro electromagnético en la que se utilizarán. Por ejemplo, para la región ultravioleta se emplea cuarzo o sílice fundida,

para la región visible se utilizan materiales como cuarzo, sílice fundida y plástico, mientras que para la región infrarroja se prefieren cristales de sal como (KCl, KBr) [46].

6.3.4 Detectores (*Fotomultiplicador*)

Los detectores son dispositivos que transforman la energía radiante en una señal eléctrica. Su función principal radica en generar una señal eléctrica cuando son impactados por fotones [46].

6.3.5 Eficiencia

Busca asegurar que los resultados sean comparables con los obtenidos por otros laboratorios, para ello se realizan pruebas de calibración que abarcan la exactitud, la reproducibilidad de la longitud de onda y la consistencia en las mediciones fotométricas [46].

6.3.6 Exactitud longitud de onda

Se refiere a la discrepancia entre la longitud de onda leída en una banda de absorción o emisión y una longitud de onda conocida. Esta discrepancia puede generar errores importantes en las mediciones de análisis cualitativo y cuantitativo [46].

La precisión de la longitud de onda se establece al comparar las mediciones obtenidas de un material de referencia con el valor estándar indicado en el certificado del material de referencia [47].

6.3.7 Resolución

La capacidad de resolución de un espectrofotómetro UV-VIS está asociada con la amplitud del espectro, donde un pico estrecho indica una alta resolución. Este ancho de espectro depende tanto del ancho de la rendija como de la capacidad dispersiva del monocromador. Solo los espectrofotómetros diseñados para aplicaciones que requieren alta resolución ofrecen la posibilidad de ajustar el ancho de la rendija. Los instrumentos utilizados para análisis comunes suelen tener un ancho de rendija fijo. En el caso de los espectrofotómetros con disposición de diodos, la resolución también se ve influenciada por el número de diodos presentes en el arreglo [46].

6.3.8 Luz difusa

La luz difusa puede originarse de diversas fuentes, como la luz de órdenes superiores en la red de

difracción, reflexiones internas dentro del monocromador, en los ensamblajes de componentes ópticos y en superficies ópticas deterioradas, así como la luz dispersada por partículas de polvo suspendidas en el trayecto óptico [47].

La presencia de luz difusa conlleva a una reducción en la absorbancia y limita el rango lineal del dispositivo. Se observa una mayor influencia de la luz difusa en absorbancias elevadas, mientras que aquellas entre 0.3 y 1 son menos susceptibles a este fenómeno y a los problemas de ruido asociados [46].

6.3.9 Ruido

Estos problemas de ruido provienen principalmente de las fuentes de luz y los componentes electrónicos. La precisión de las mediciones se ve afectada por el ruido causado por los fotones de la fuente de luz, así como por el ruido electrónico generado por los componentes eléctricos, especialmente en mediciones de absorbancias elevadas [46].

Un alto nivel de ruido afecta la precisión de las mediciones y reduce el límite de detección provocando una menor sensibilidad del instrumento [46].

6.3.10 Línea de base Flatness

La intensidad de la radiación de la fuente de luz varía en diferentes regiones del espectro UV-VIS debido al cambio en la fuente de energía, que puede ir desde la lámpara de Deuterio hasta la lámpara de Tungsteno [46].

6.3.11 Estabilidad

Las fluctuaciones en la intensidad de la lámpara y las salidas electrónicas entre las mediciones de las muestras y las referencias conducen a la inestabilidad del instrumento. La intensidad de la lámpara se ve afectada por el tiempo de uso, las variaciones de temperatura y la longitud de onda de la medición [46].

6.3.12 Exactitud fotométrica

La precisión fotométrica se evalúa mediante la comparación entre la absorbancia medida del material de referencia estándar y el valor establecido. Se prefiere utilizar un material de referencia ópticamente neutro, ya que exhibe una mínima tendencia en la longitud de onda para la transmitancia o absorbancia. Esto es deseable porque elimina la dependencia del ancho de banda espectral en las mediciones [46].

6.3.13 Linealidad

La luz difusa en valores elevados de absorbancia y el ruido en valores bajos de absorbancia limitan el rango dinámico lineal de las mediciones [46].

6.4 Evaluación de incertidumbre espectrofotometría

La ISO, junto con otros organismos, define la incertidumbre como el rango en el que se espera que se encuentre el valor real de lo que se está midiendo. Esta incertidumbre se representa como un intervalo e incluye tanto errores aleatorios como sistemáticos. Independientemente de las fuentes de incertidumbre, existen dos enfoques para estimarlas: incertidumbre de tipo A y de tipo B. [46] [48].

6.4.1 Incertidumbre tipo A:

Procedimiento para determinar la incertidumbre mediante el análisis estadístico de las observaciones (normalmente empleando la desviación estándar) adquiridas durante el proceso de medición [46].

6.4.2 Incertidumbre tipo B:

Enfoque para calcular la incertidumbre que no se basa en el análisis estadístico de las observaciones, sino en valores históricos o proporcionados por el fabricante [46].

7. INDUSTRIA TEXTIL EN COLOMBIA

Colombia, con su vasto territorio de 1,147,748 kilómetros cuadrados y una extensión costera de 2,900 kilómetros que abarca tanto el Pacífico como el Caribe, está caracterizada por sus cuatro regiones naturales divididas por las tres cordilleras de los Andes que atraviesan el país de norte a sur. Estas regiones, Andina, Caribe, Pacífico y Amazonas-Orinoquía, exhiben una diversidad climática que influye en su actividad económica. El río Magdalena, una importante arteria fluvial que fluye de norte a sur, facilita el transporte de una amplia gama de productos, desde alimentos y elementos de aseo hasta textiles e insumos industriales [49].

La industria colombiana aportó para el 2022 el 9.4% anual del PIB, con respecto al resto de años esta incremento un 28% en el PIB y se concentra en las principales ciudades del país (Bogotá, Cali y Medellín), la producción se basa en bienes para consumo interno, la producción textil representa el 10% de la producción total. El sector textil en Colombia es el de mayor tradición y dinamismo en la historia económica, es uno de los más sensibles a caídas económicas o ventas del mismo producto, siendo este sector el más propenso a caídas de este tipo [49].

En Colombia, la industria textil abarca una variedad de actividades que incluyen el cultivo de algodón, la fabricación de telas, la confección de prendas y su posterior comercialización. Este sector está conformado por alrededor de diez mil fábricas distribuidas en siete zonas y ciudades del país, como Medellín, Cali, Bogotá, Risaralda, Atlántico, Caldas, entre otras [49].

Esta industria genera más de 200,000 empleos directos y 600,000 indirectos. La producción nacional de telas se estima en aproximadamente 950 millones de metros cuadrados [50].

El sector a lo largo de los años y con diferentes apoyos del gobierno ha mejorado en creación e inversión de nuevas tecnologías ya que este sector se mantiene en constante avance, esto con el fin de dar al cliente un mejor producto en calidad y precio. La maquinaria incluida en los procesos textiles se debe cambiar al menos cada cinco años, esto representa para las empresas una inversión corto plazo en su maquinaria, la cual tiene un alto costo, sin embargo, es rentable, aunque en la mayoría de los casos es maquinaria extranjera esta se puede comprar de segunda mano, por un precio más asequible, pero esta representaría retrasos tecnológicos en Colombia [50].

7.1 Industria textil en Cundinamarca y Boyacá

La mayoría de la industria textil, en cuanto a producción, telas, confección y comercialización se encuentra en Medellín y Bogotá, sin embargo, este estudio toma en cuenta el sector textil en Cundinamarca y Boyacá, el altiplano cundiboyacense se encuentra en el centro del país, el clima en esta región es templado y de montaña, por esta región pasan tres de las cordilleras que

atraviesan todo el país, la central, occidental y oriental, y posee una gran diversidad geográfica como: el clima, la vegetación, la fauna, la flora, los cuerpos de agua (los principales ríos del país Magdalena y Cauca), los diferentes tipos de relieves (valles, cañones, mesetas), paisajes, entre otros [51].

Para 2020 se tenían constituidas al menos 165 empresas de industria textil en la región de Cundinamarca y Boyacá, de esas al menos 150 aún siguen constituidas, algunas otras por temas legales o de pandemia decidieron cerrar [51].

Algunas de estas empresas no solo se dedican a la fabricación de productos textiles como camisas, jean, entre otros, también la industria de la marroquinería y la talabartería [51].

A continuación, se muestra una tabla del sector textil por cada departamento:

Tabla 2.

Cantidad de empresas por Municipio o Ciudad.

CUNDINAMARCA		
MUNICIPIO	REGIÓN	CANTIDAD
COTA	CUNDINAMARCA	16
SOACHA	CUNDINAMARCA	33
MOSQUERA	CUNDINAMARCA	11
TOCANCIPA	CUNDINAMARCA	3
FUNZA	CUNDINAMARCA	14
FACATATIVÁ	CUNDINAMARCA	1
CAJICA	CUNDINAMARCA	8
LA CALERA	CUNDINAMARCA	1
ZIPAQUIRA	CUNDINAMARCA	9
CHIA	CUNDINAMARCA	9
LA PALMA	CUNDINAMARCA	1
UBATE	CUNDINAMARCA	3
TENJO	CUNDINAMARCA	1
SIBATE	CUNDINAMARCA	1
ARBELAEZ	CUNDINAMARCA	1
MADRID	CUNDINAMARCA	5
GUACHETA	CUNDINAMARCA	1

CUNDINAMARCA		
MUNICIPIO	REGIÓN	CANTIDAD
TOCAIMA	CUNDINAMARCA	1
FUSAGASUGA	CUNDINAMARCA	5
LA VEGA	CUNDINAMARCA	1
BOJACA	CUNDINAMARCA	1
VILLETA	CUNDINAMARCA	1
PACHO	CUNDINAMARCA	1
CHAGUANI	CUNDINAMARCA	1
CHOCONTA	CUNDINAMARCA	1
	TOTAL	130

Nota. Empresas en la región de Cundinamarca.

Tomado de: M. Van der Bruggen, “EL SECTOR TEXTIL EN COLOMBIA”, Dirección Gen. Catalunya, vol. 1, n.º 1, p. 33, 1998.:

Se evidencia que la mayoría de la industria de Cundinamarca se encuentra en los municipios de Soacha, Cota y Funza, siendo la fuente hídrica afectada más cercana, el río Soacha, recorriendo hasta el río Bogotá y terminando en el río Magdalena, cabe aclarar que ya al final del recorrido de la fuente esta se encuentra con otro tipo de contaminantes.

Tabla 3.

Cantidad de empresas por Municipio o Ciudad.

BOYACÁ		
MUNICIPIO	REGIÓN	CANTIDAD
TUNJA	BOYACA	8
VENTAQUEMADA	BOYACA	1
OTANCHE	BOYACA	1
DUITAMA	BOYACA	7
CIENEGA	BOYACA	1
JENESANO	BOYACA	1
PAZ DEL RIO	BOYACA	1

BOYACÁ		
MUNICIPIO	REGIÓN	CANTIDAD
RAMIRIQUI	BOYACA	1
PAIPA	BOYACA	2
IZA	BOYACA	1
PUERTO BOYACA	BOYACA	1
TIBASOSA	BOYACA	1
SOGAMOSO	BOYACA	2
COMBITA	BOYACA	1
NOBSA	BOYACA	6
	TOTAL	35

Nota. Empresas en la región de Cundinamarca.

Tomado de: M. Van der Bruggen, “EL SECTOR TEXTIL EN COLOMBIA”, Dirección Gen. Catalunya, vol. 1, n.º 1, p. 33, 1998.:

Se evidencia que la mayoría de la industria de Cundinamarca se encuentra en los municipios de Tunja, Duitama y Nobsa, siendo la fuente hídrica afectada más cercana, el río Chulo, que más adelante también se hace llamar el río Chicamocha, con cauce en el río Monquirá y terminando en el río Magdalena, cabe aclarar que ya al final del recorrido de la fuente esta se encuentra con otro tipo de contaminantes.

En el departamento de Boyacá se encuentra la fuente de nacimiento del río Bogotá, el cual es común para ambos departamentos, allí no solo se encuentra industria textil, como fabricación, confección y comercialización, también se encuentra la industria de la marroquinería y la talabartería, la cual presenta diferentes tipos de contaminantes que afecta de manera importante las fuentes hídricas.

7.2 Fuentes hídricas afectadas

7.2.1 Río Soacha

La subcuenca del río Soacha está situada en el altiplano cundiboyacense, en la región sur de la cordillera oriental. Desde el punto de vista administrativo, forma parte de la provincia de Bogotá

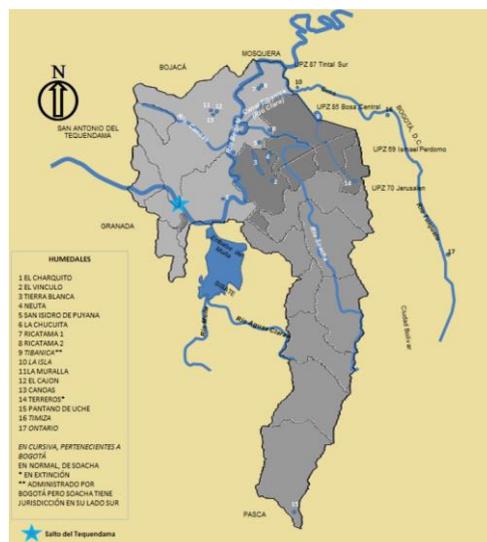
y Soacha, cubriendo un área de 16.2 kilómetros cuadrados. [52].

El río Soacha tiene su origen en una región de páramo llamada "Piedra Parada", la cual está designada como área de reserva forestal debido a su diversidad de vida silvestre y vegetación. Este río atraviesa el municipio de Soacha de sur a norte, pasando por la zona urbana. Sin embargo, la calidad del agua se ve afectada por varios factores, como la utilización de fungicidas en los cultivos de papa, la erosión del suelo debido a la extracción de materiales para la construcción, la descarga de aguas residuales tanto domésticas como industriales, y la presencia de desechos en el lecho del río [52].

Geográficamente podemos encontrar el río Soacha de la siguiente manera:

Figura 6.

Hidrografía y distribución Río Soacha.



Nota. Mapa hidrográfico del Río Soacha.

Tomado de: Colaboradores de los proyectos Wikimedia. (2013). Río Soacha - Wikipedia, la enciclopedia libre [Imagen]. Wikipedia, la enciclopedia libre. https://es.wikipedia.org/wiki/Río_Soacha#/media/Archivo:Hidrografía_suachuna.png

7.2.2 Río Bogotá

El río Bogotá se encuentra en el altiplano cundiboyacense, discurriendo de noreste a sureste en el departamento de Cundinamarca. Tiene su origen en el este de Villapinzón, a una altitud de 3.300 metros sobre el nivel del mar, en el páramo de Guacheneque. Fluye hacia el río Magdalena,

desembocando en él cerca del municipio de Girardot, a una altitud de 280 metros sobre el nivel del mar. Su área de influencia abarca aproximadamente 589.143 hectáreas. [54].

El río Bogotá es de gran importancia en Colombia debido a que en sus alrededores y en sus riveras se llevan a cabo diversas actividades económicas, entre las que se destacan la agricultura, la ganadería y la industria [54].

El río Bogotá está dividido en tres secciones: alta, media y baja, que atraviesan cuarenta y siete municipios en el departamento de Cundinamarca, teniendo así un impacto significativo en diversas comunidades [54].

Según estudios realizados por la CAR para verificar el estado de la cuenca del Río Bogotá en términos de calidad y cantidad, esta cuenta con muy buena cantidad de drenaje, presentando mejores condiciones en cuenca baja y subcuencas nororientales, las condiciones más desfavorables de drenaje se presentan en la parte media, debido a la tasa de urbanización de zonas como Soacha y cuencas cercanas al río Balsillas [55].

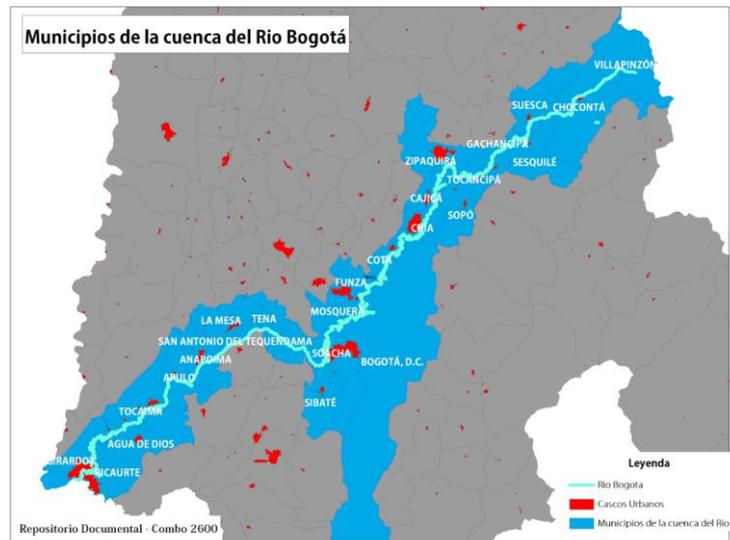
Se diagnosticó según el POMCA y la CAR, en la cuenca alta, 14 de los 15 municipios que la conforman y que representan el 94,5 % de la cuenca, reportan la existencia de 28 plantas de tratamientos de agua y 3 plantas de construcción. Lo anterior indica que solo el 5,5% representado por el municipio de Villapinzón, no cuenta con un sistema saneamiento para sus aguas residuales, teniendo en cuenta que allí es donde nace gran parte de esta fuente hídrica y es allí donde sufre la primera descarga contaminante de aguas residuales (domiciliarias) e industriales (curtiembres) [55].

En el río Bogotá se genera el 28% de la actividad económica del país, por lo tanto, se generan vertimientos especialmente en la ciudad de Bogotá y zonas urbanas aledañas [55].

Geográficamente podemos encontrar el río Soacha de la siguiente manera:

Figura 7.

Hidrografía Río Bogotá.



Nota. Mapa Hidrográfico del Río Bogotá.

Tomado de: CAR. “Municipios de la cuenca del Río Bogotá”. Google. Accedido el 19 de abril de 2024. [En línea]. Disponible: <https://i2.wp.com/combo2600.com/wp-content/uploads/2012/09/rio-bogota.jpg>

8. MATERIALES

8.1 Pentóxido de Vanadio

El óxido de vanadio(V) es un compuesto químico con la fórmula V_2O_5 , que se presenta como un sólido de color marrón o amarillo. Es uno de los compuestos de vanadio más estables y comunes. Debido a su alto estado de oxidación, tiene propiedades como agente oxidante. Al calentarse, libera oxígeno de forma reversible, lo que le permite catalizar varias reacciones útiles de oxidación aeróbica [57].

A diferencia de la mayoría de los óxidos metálicos, presenta una solubilidad ligera en agua, resultando en una solución de color amarillo pálido con carácter ácido [57].

El compuesto tiene una masa molar de 181,88 g/mol, una densidad de 3,36 g/cm³ y un punto de ebullición de 1750 °C. Además, muestra una solubilidad en agua de 0.8 y un punto de fusión de 690 °C. Su estructura cristalina es de tipo ortorrómbico, lo que implica que la celda unidad de la red cristalina presenta tres ángulos rectos y longitudes diferentes en las tres aristas. Estos vectores que definen la celda son mutuamente ortogonales, como se denomina en matemáticas [57] [58].

Los materiales fotocatalizadores basados en semiconductores tuvieron un papel importante en la degradación de compuestos orgánicos [59].

Las propiedades ópticas es importante mencionarlas debido a la actividad fotocatalítica , es importante tener en cuenta los espectros de absorción de los fotocatalizadores V_2O_5 y rGo (óxido de grafeno reducido), este espectro se debe encontrar en la región visible, en ambos casos se manifiesta [59].

8.2 Óxido de Grafeno reducido

El grafeno es un material transparente y presenta una absorción de luz mínima, solo alrededor del 2%. Esta característica, junto con su flexibilidad, sugiere la posibilidad de fabricar pantallas flexibles para diversos dispositivos. Además, el grafeno tiene la capacidad de doblarse similar al papel de film, lo que reduce significativamente el riesgo de rotura. [60].

Además de un excelente conductor eléctrico, el grafeno es un material muy resistente, por lo que se esperan grandes avances en el sector de la iluminación [60].

8.3 Niobio

El niobio es un elemento químico con número atómico 41 que pertenece al grupo 5 de la tabla periódica de los elementos. Su símbolo es Nb. Este metal de transición es dúctil, de color gris, suave y relativamente poco común. Se encuentra en minerales como la niobita, también conocida como columbita, y se utiliza principalmente en aleaciones. En particular, se emplea como aditivo en aceros para mejorar su resistencia [61].

Propiedades físicas:

El niobio es un metal gris, dúctil y paramagnético que se encuentra en el grupo 5 de la Tabla Periódica. A diferencia de otros miembros de este grupo, presenta una configuración electrónica única en sus capas más externas. Este elemento exhibe propiedades de superconductividad a temperaturas muy bajas. Es notable por tener la temperatura crítica más alta entre los superconductores elementales a la presión atmosférica, así como una profundidad de penetración magnética excepcionalmente alta. Junto con el vanadio y el tecnecio, pertenece a la clase de superconductores tipo II. La pureza del niobio influye significativamente en sus propiedades superconductoras; cuando es altamente puro, tiende a ser más maleable y dúctil, mientras que las impurezas pueden endurecerlo. Además, el niobio posee una baja sección transversal para los neutrones térmicos, lo que lo hace útil en aplicaciones de industrias nucleares [61].

Propiedades químicas:

Cuando el metal está expuesto al aire a temperatura ambiente durante períodos prolongados, desarrolla una tonalidad azulada. A pesar de su elevado punto de fusión en su estado elemental (2468 °C), posee una densidad relativamente baja en comparación con otros metales refractarios. También exhibe resistencia a la corrosión, propiedades de superconductividad y tiene la capacidad de formar capas de óxido dieléctrico [61].

El niobio presenta una electronegatividad ligeramente menor y una mayor compacidad en comparación con el circonio, su predecesor en la tabla periódica. En términos de tamaño atómico, es prácticamente similar a los átomos más pesados de tantalio, debido a la contracción de los lantánidos [61].

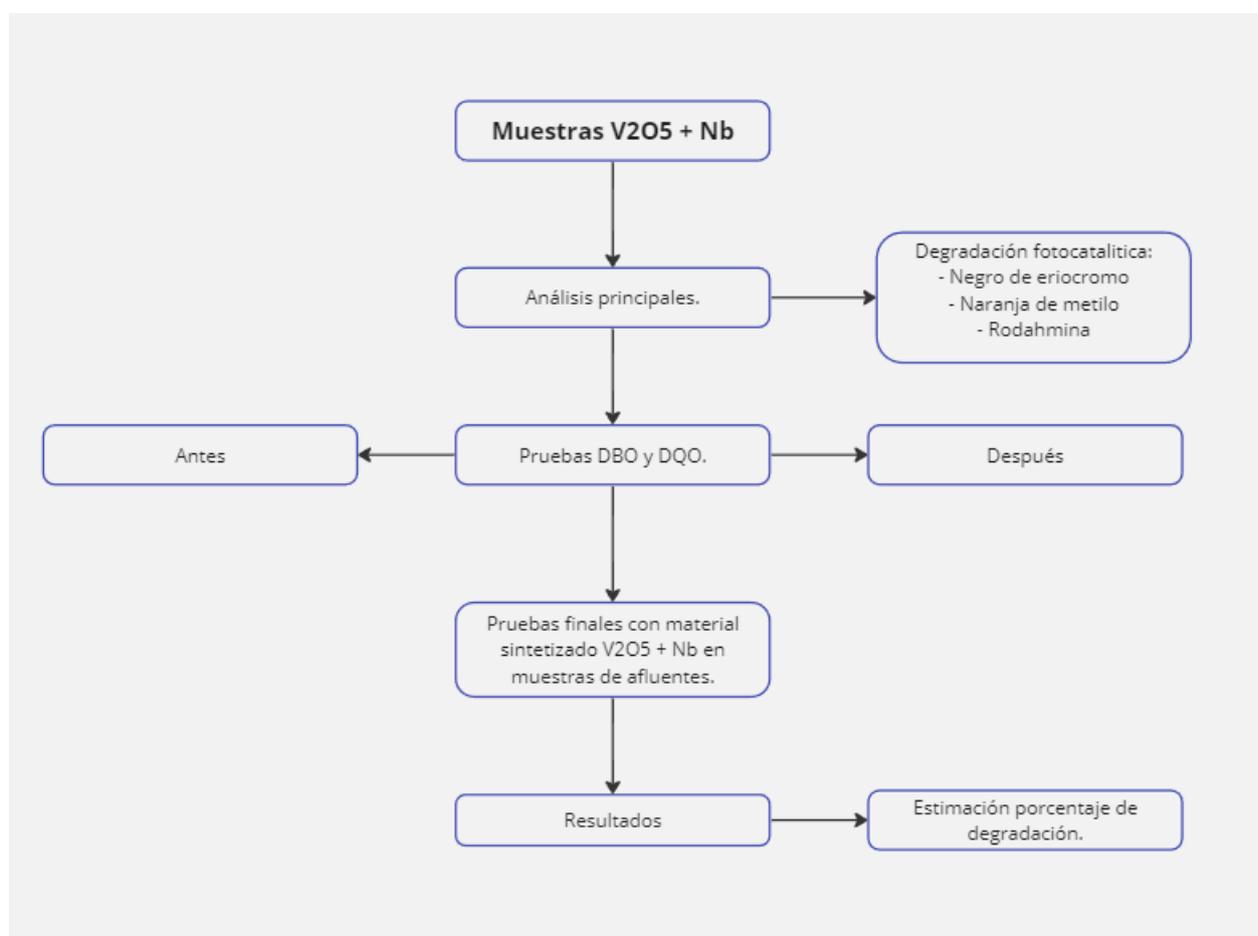
9. MÉTODOS Y MATERIALES

9.1 Metodología

La metodología que se llevara a cabo para la investigación es experimental y descriptivo, como se muestra en la figura 11, empezando por análisis principales, pruebas de DQO y DBO, y pruebas finales con el material sintetizado para de esta forma estimar un porcentaje de degradación, tal como se muestra en la figura 11.

Figura 8.

Diagrama general del procedimiento.

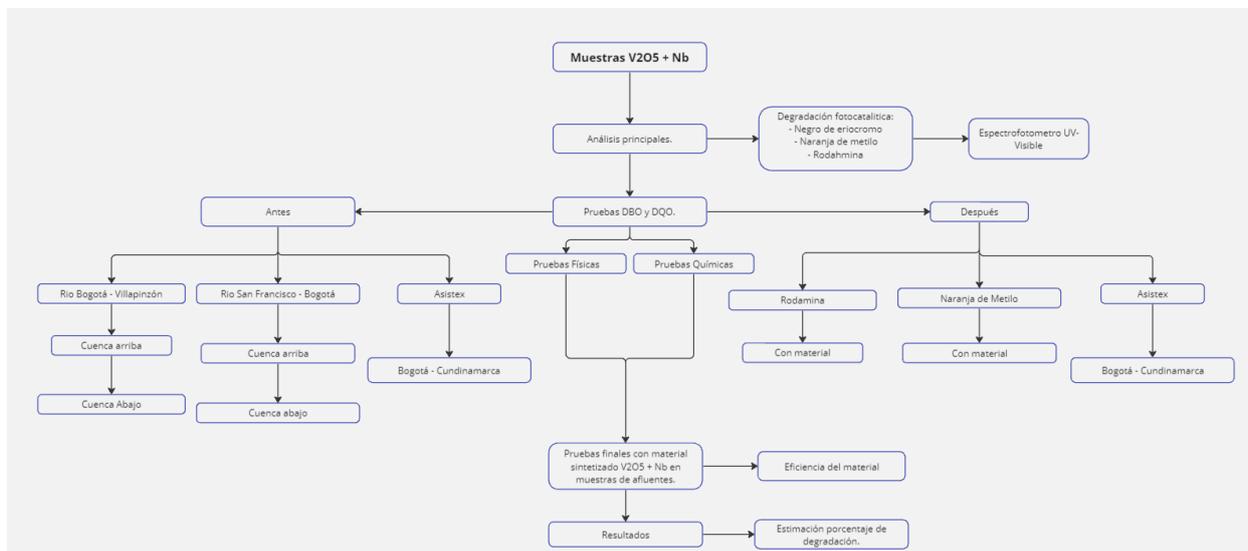


Nota. Descripción de la metodología inicial.

Teniendo en cuenta la figura 12, se desarrolla más a profundidad la metodología a emplear, teniendo en cuenta en este punto las muestras que se realizaron, como se muestra en la figura 12.

Figura 9.

Método de muestreo.

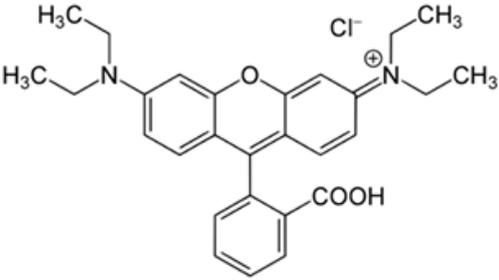


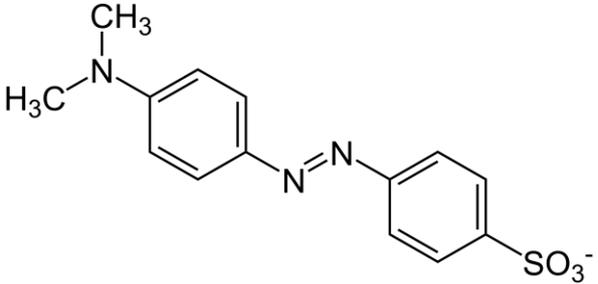
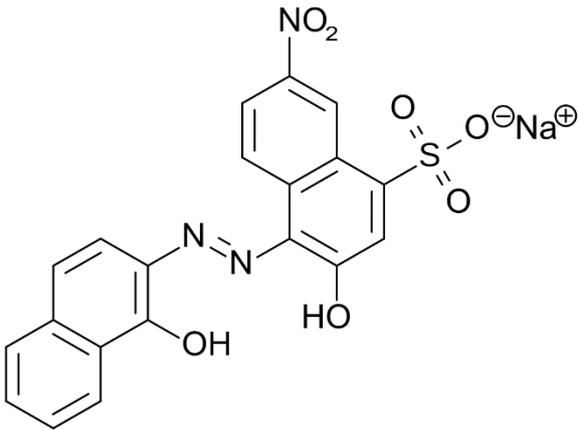
Nota. Descripción de la metodología investigación completa.

9.2 Preparación de soluciones

Tabla 4.

Preparación de soluciones y descripción del material.

Nombre Estructura Molecular	Descripción
<p data-bbox="188 1480 352 1514">Rodamina B</p>  <p data-bbox="416 1839 587 1872">Rodamina B</p>	<p data-bbox="927 1480 1214 1514">- Cantidad: 0,030 g.</p> <p data-bbox="826 1536 1174 1570">Es un compuesto químico.</p> <p data-bbox="826 1592 1396 1794">Es un colorante, uno de los derivados más utilizados en la industria textil, también es utilizado como marcador de muestras en biología.</p> <p data-bbox="826 1816 1396 1962">Se emplea en la industria para teñir fibras naturales y sintéticas, como el algodón y el nylon.</p> <p data-bbox="826 1984 1396 2018">Es un producto carcinógeno, lo que quiere</p>

Nombre Estructura Molecular	Descripción
	<p>decir que al llegar a afluentes puede contaminar de tal manera de producir cáncer en la población.</p>
<p>Naranja de Metilo</p> 	<p>- Cantidad: 0,020 g.</p> <p>Es un colorante azoderivado, lo que quiere decir que contiene carbono en dos de sus grupos (R y R'), le da estabilidad y variabilidad de sus propiedades.</p> <p>Utilizado como colorante en la industria textil.</p> <p>Utilizado para el filtrado de lodos y muestras de agua.</p> <p>Su pH suele variar entre ligeramente ácido y muy ácido.</p> <p>Puede ser toxico.</p>
<p>Negro de Eriocromo</p> 	<p>- Cantidad: 0,030 g.</p> <p>Es un indicador metalcrómico, ayuda a determinar la dureza del agua.</p> <p>En su forma protonada es de color azul, se vuelve rojo cuando se forman complejos con calcio o magnesio, u otros que desplacen los protones.</p> <p>Se utiliza como indicador junto con naranja de metilo, concentración de calcio, detecta la presencia de metales en tierras raras.</p>

Nota. Preparación de soluciones y procedimiento.

Tomado de: B. A. Plata, "PREPARACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LIPOPROTEÍNAS DE ALTA DENSIDAD COMO TRANSPORTADORES DE RODAMINA PARA TERAPIA FOTODINÁMICA", Tesis de Licenciatura, Univ. Auton. Del Estado Mex., 2019. Accedido el 13 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible: <http://hdl.handle.net/20.500.11799/105207>

Archivo:Naranja de metilo.png - Wikipedia, la enciclopedia libre. Accedido el 13 de mayo de 2024. [Imagen]. Disponible: https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Naranja_de_metilo.png

Colaboradores de los proyectos Wikimedia. Negro de eriocromo T - Wikipedia, la enciclopedia libre. (10 de agosto de 2015). Accedido el 13 de mayo de 2024. [Imagen].

Disponible: https://es.wikipedia.org/wiki/Negro_de_eriocromo_T

9.3 Instrumentos

- Espectrofotómetro uv – visible (ultravioleta)
- Balón aforado de: 50 mL, 100 mL y 1 L.
- Pera
- Celdas de cuarzos de 3 mL
- Balanza

9.4 Diseño de muestreo

Se seleccionaron tres estaciones de muestreo entre el río Bogotá en Villapinzón, empresa procesos textiles Asistex en Bogotá y canal san francisco. En la primera estación río Bogotá en Villapinzón, se tomaron muestras río arriba y río abajo, en la empresa Asistex se realizó la toma de una única muestra al final del proceso de teñido y por último en el canal de san francisco se realizaron toma de muestras río arriba y río abajo. Estas tomas se llevaron a cabo en el horario de la mañana, rodando entre las 9 am y las 11 am.

Lugares seleccionados para la toma de muestra se evidencian en la tabla 5 de la siguiente forma:

Tabla 5.

Ubicación de Muestras.

Ubicación de Muestras			
Río	Ubicación/Coordenadas	Altura	T° día de muestra
Río Bogotá - Villapinzón Aguas arriba	146° SE 5°13'18" N 73°35'34" W	2720 m	13°
Río Bogotá - Villapinzón Aguas abajo	86° SE 5°11'41" N 73°36'49" W	2660 m	18°
Canal San Francisco	Bogotá.	2600 m	16°
Asistex	Carrera 63 No. 18A - 43 - 4°38'18" N 74°06'34" W	3293 m	15°

Nota. Ubicación de los puntos de muestreo de la investigación.

Descripción de procedimiento:

Los muestreos se realizaron entre los días 16 y 17 de marzo de 2024 en horarios de la mañana, las muestras fueron etiquetadas y conservadas en neveras de icopor, con los parámetros de toma y preservación del IDEAM.

Rio Bogotá aguas arriba: las muestras fueron transportadas de Villa Pinzón a Bogotá seccional norte, laboratorio IMA. En el laboratorio se realizó la medición de diferentes pruebas físicas y químicas, DQO y DBO, sulfatos, nitratos, nitritos, turbidez, pH, color, entre otros.

Rio Bogotá aguas abajo: las muestras fueron transportadas de Villa Pinzón a Bogotá seccional norte, laboratorio IMA. En el laboratorio se realizó la medición de diferentes pruebas físicas y químicas, DQO y DBO, sulfatos, nitratos, nitritos, turbidez, pH, color, entre otros.

Canal de San Francisco: las muestras fueron transportadas del canal en Bogotá, al laboratorio IMA sector norte. En el laboratorio se realizó la medición de diferentes pruebas físicas y químicas, DQO y DBO, sulfatos, nitratos, nitritos, turbidez, pH, color, entre otros.

Asistex: las muestras fueron transportadas del canal en Bogotá, al laboratorio IMA sector norte. En el laboratorio se realizó la medición de diferentes pruebas físicas y químicas, DQO y DBO, sulfatos, nitratos, nitritos, turbidez, pH, color, entre otros.

Asistex es una empresa dedicada al sector textil en Colombia con 40 años de experiencia, reconocida como una de las empresas con más alto desarrollo en el medio. Cuentan con tres líneas de negocio: tejeduría, tintorería y acabados, fabricación y comercialización de textiles en tejido completo y elaboración de prendas en paquete completo.

El cuerpo de investigación decide implementar las tomas de muestra en dicha empresa debido a que se encuentra en una buena ubicación en Bogotá, se tiene la facilidad de la recolección de a muestra y es una de las empresas con más alto desarrollo.

9.5 Análisis físico-químico

Se evaluaron cinco muestras en total como se evidencia en las tablas 6 a 10, la primera aguas arriba río Bogotá, la segunda aguas abajo río Bogotá, la tercera aguas abajo empresa Asistex, el

número cuatro aguas arriba empresa Asistex y la numero cinco en la salida del proceso de teñido empresa Asistex. En las tablas se puede observar el número de prueba que se asignó para la toma, el responsable del muestreo, lugar, departamento, fecha de toma, fecha de recepción y fecha de análisis.

Pruebas realizadas:

Tabla 6.

Prueba 5329/1 Toma de muestras.

No. Prueba	Prueba 5329/1
Responsable del muestreo:	Asistex
Lugar de muestreo:	Salida de proceso de teñido
Departamento/Municipio:	Cundinamarca/ Bogotá
Fecha de toma:	15/03/2024
Fecha de recepción:	15/03/2024
Fecha de análisis:	15/03/2024 a 23/03/2024

Nota. Prueba 1.

Tabla 7.

Prueba 5330/2 Toma de muestras.

No. Prueba	Prueba 5330/2
Responsable del muestreo:	Personal grupo investigación
Lugar de muestreo:	Aguas abajo Asistex Canal San Francisco
Departamento/Municipio:	Cundinamarca/Bogotá
Fecha de toma:	15/03/2024
Fecha de recepción:	15/03/2024
Fecha de análisis:	15/03/2024 a 23/03/2024

Nota. Prueba 2.

Tabla 8.

Prueba 5331/3 Toma de muestras.

No. Prueba	Prueba 5331/3
Responsable del muestreo:	Personal grupo investigación
Lugar de muestreo:	Aguas arriba Asistex, Canal San Francisco
Departamento/Municipio:	Cundinamarca/Bogotá
Fecha de toma:	15/03/2024
Fecha de recepción:	15/03/2024
Fecha de análisis:	15/03/2024 a 23/03/2024

Nota. Prueba 3.

Tabla 9.

Prueba 5332/4 Toma de muestras.

No. Prueba	Prueba 5332/4
Responsable del muestreo:	Personal grupo de investigación
Lugar de muestreo:	Aguas arriba casco urbano, Rio Bogotá
Departamento/Municipio:	Cundinamarca/Villapinzón
Fecha de toma:	16/03/2024
Fecha de recepción:	16/03/2024
Fecha de análisis:	15/03/2024 a 23/03/2024

Nota. Prueba 4.

Tabla 10.*Prueba 5333/5 Toma de muestras.*

No. Prueba	Prueba 5333/5
Responsable del muestreo:	Personal Asistex
Lugar de muestreo:	Aguas abajo casco urbano, Rio Bogotá
Departamento/Municipio:	Cundinamarca
Fecha de toma:	15/03/2024
Fecha de recepción:	15/03/2024
Fecha de análisis:	15/03/2024 a 23/03/2024

Nota. Prueba 5.**9.6 Espectrofotometría Uv – Vis**

Se prepararon soluciones sintéticas de rodamina B, naranja de metilo y negro de eriocromo, y se registraron sus espectros de absorción utilizando un espectrofotómetro uv-visible P Selecta V1100 D con una potencia de 20 W. Se empleó una celda de cuarzo con dos caras transparentes, un paso óptico de 1 cm y un volumen de 3 mL. Los espectros se escanearon en un rango de longitudes de onda de 400 a 700 nm a una velocidad media.

9.7 Análisis para material sintetizado

Procedimiento de sintetizado para Negro de Eriocromo:

- Se pesan 0,030 g de negro de eriocromo en 1L de agua desmineralizada.
- Se pesan 0,002 g de catalizador, según corresponda, en este caso 0,002 equivale al 15% de Nb + r60.
- En un balón de 1 litro se debe poner 1 L de agua destilada y agregar los 0,030 g de material.
- Para 20 ppm se debe tomar 33,3 mL del balón de 1L con negro de eriocromo y se completa con 50 mL con agua desmineralizada (relación 50-33,3mL).
- En un vaso de precipitado se pesa 50 mL de negro de eriocromo con catalizador.
- Para 10 ppm se toma 12,5 mL se toman 12,5 mL de la solución inicial, se llevan al balón aforado y se completa volumen con agua desionizada hasta llegar a 50 mL.
- Para 5 ppm se toman 12,5 mL de la muestra de 10 ppm y se completa con 12,5 de agua

desmineralizada, para un total de 25 mL aguas totales.

- Para 2 ppm se toman 12,5 mL de la muestra de 5 ppm y se completa con 12,5 de agua desmineralizada, para un total de 25 mL aguas totales.
- Para 1 ppm se toman 12,5 mL de la muestra de 2 ppm y se completa con 12,5 mL de agua desmineralizada, para un total de 25 mL aguas totales.
- Se coloca el catalizador con solución en agitación 30 min a oscuras, para ver el porcentaje de degradación, inicia 4:06 pm. La degradación tarda 4 horas en hacer efecto.

Procedimiento de sintetizado para la Rodamina B:

- Se pesan 0,030 g de negro de eriocromo en 1L de agua desmineralizada.
- En un balón de 1 litro se debe poner 1 L de agua destilada y agregar los 0,030 g de material.
- Para 20 ppm se debe tomar 33.3 mL del balón de 1L con negro de eriocromo y se completa con 50 mL con agua desmineralizada (relación 50-33,3mL).
- Para 10 ppm se toma 12,5 mL del balón grande con negro de eriocromo en 25 mL totales, con agua desmineralizada se completa 12,5 mL.
- Para 5 ppm se toman 12,5 mL de la muestra de 10 ppm y se completa con 12,5 de agua desmineralizada, para un total de 25 mL aguas totales.
- Para 2 ppm se toman 12,5 mL de la muestra de 5 ppm y se completa con 12.5 de agua desmineralizada, para un total de 25 mL aguas totales.
- Para 1 ppm se toman 12,5 mL de la muestra de 2 ppm y se completa con 12,5 mL de agua desmineralizada, para un total de 25 mL aguas totales.
- Se coloca el catalizador con solución en agitación 30 min a oscuras, para ver el porcentaje de degradación, inicia 4:06 pm. La degradación tarda 4 horas en hacer efecto.

Procedimiento de sintetizado para la Naranja de Metilo:

- Se pesan 0,022 g de negro de eriocromo en 1L de agua desmineralizada.
- En un balón de 1 litro se debe poner 1 L de agua destilada y agregar los 0,030 g de material.
- Para 20 ppm se debe tomar 33,3 mL del balón de 1L con negro de eriocromo y se completa con 50 mL con agua desmineralizada (relación 50-33,3mL).
- Para 10 ppm se toma 12,5 mL del balón grande con negro de eriocromo en 25 mL totales, con agua desmineralizada se completa 12,5 mL.
- Para 5 ppm se toman 12,5 mL de la muestra de 10 ppm y se completa con 12,5 de agua

desmineralizada, para un total de 25 mL aguas totales.

- Para 2 ppm se toman 12,5 mL de la muestra de 5 ppm y se completa con 12,5 de agua desmineralizada, para un total de 25 mL aguas totales.
- Para 1 ppm se toman 12,5 mL de la muestra de 2 ppm y se completa con 12,5 mL de agua desmineralizada, para un total de 25 mL aguas totales.

10. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

10.1 Análisis Físico - químicos

En la industria se implementan diferentes tipos de residuos: sólidos, líquidos y gaseoso. Los residuos se producen en diferentes etapas de la industria y estos mismos llevan a diferentes causas, esta investigación se basó en la parte final del proceso de una industria textil, en el nacimiento del río Bogotá y finalmente aguas abajo del río Bogotá donde ya el afluente ha pasado por diferentes industrias y zonas urbanas, lo que conlleva a tener muestras con una afectación más directa, se debe tener en cuenta que en esta región aún prevalecen diferentes costumbres como el arte del cuero, las curtiembres para el trabajo de marroquinería, las cuales generan un impacto ambiental bastante alto, ya que los desechos de pelo, químicos para retirar estos mismos, son en su mayoría materiales nocivos que al llegar al río pueden alterar la calidad del agua.

Se llevaron a cabo diversas mediciones de muestras físico-químicas con el objetivo de evaluar la calidad del agua en los puntos de muestreo. Para este propósito, se consideraron el Acuerdo 043 de 2006 de la CAR, la Ley 2115 de 2007, la Resolución 631 de 2015 y el Instructivo de toma y preservación de muestras, sedimentos y agua superficial para la red de monitoreo de calidad del IDEAM. Estas actividades contaron con la supervisión del cuerpo docente universitario responsable de la investigación.

A continuación, se muestran las tablas de resultados obtenidos en el laboratorio:

Según la literatura revisada, los valores en diferentes muestreos pueden fluctuar, por tal motivo no es posible determinar el comportamiento, debido a que se desconoce en diferentes muestras la etapa de los diferentes procesos, bien sea curtiembres o textil, para la caracterización físico-química [65].

Por el contrario, comparando los valores obtenidos con trabajos realizados anteriormente en el río Bogotá, en la cuenca alta, podemos observar que ambas partes cumplen con los parámetros máximos permitidos mencionado en la Resolución 631 de 2015 [65].

Según lo analizado:

10.1.1 Conductividad

Los niveles de turbiedad presentaron valores bastante variables con respecto al valor máximo aceptable mencionado en la Ley 2115 de 2007 y con respecto a diferentes estudios realizados

anteriormente, se presenta un promedio de 940 microsiemens quedando casi al límite del valor máximo permitido que son 1000 ms.

Tabla 11.

Resultado Conductividad

Conductividad			
Muestra	Valor	Unidad	Valor Máximo
5329	3400	μS	1000
5330	660	μS	1000
5331	550	μS	1000
5332	40	μS	1000
5333	50	μS	1000

Nota. Resultado prueba de Conductividad.

10.1.2 Color

El color ayuda a determinar la pureza y calidad del agua, si es más cristalina el agua quiere decir que tiene mejor calidad, cuando posee algún color puede tener partículas contaminantes como residuos de químicos, colorantes, residuos urbanos, entre otros.

Figura 10.

Color de muestras de tomadas, hechas en laboratorio.



Nota. Muestras de color de los cinco puntos.

Tabla 12.

Resultado Color.

Color		
Muestra	Valor	Unidad
5329	3118	UPC
5330	696	UPC
5331	475	UPC
5332	167	UPC
5333	148	UPC

Nota. Resultado prueba de color.

10.1.3 Cromo

El valor máximo admitido según el acuerdo 043 de 2006 es de 0,1 mg/L, solo dos de las cinco muestras tienen valores aceptables o menores al valor máximo, en este caso sería aguas abajo canal de San Francisco con $<.01$ y agua arriba casco urbano del río Bogotá con 0,1, las otras muestras según las tablas 10 a 14, muestran valores muy superiores, lo que quiere decir que estas aguas llevan alto contenido de cromo.

Tabla 13.

Resultado Cromo.

Cromo			
Muestra	Valor	Unidad	Valor Máximo
5329	0,35	mg/L	0,1
5330	$<0,01$	mg/L	0,1
5331	0,21	mg/L	0,1
5332	0,10	mg/L	0,1
5333	0,35	mg/L	0,1

Nota. Resultados prueba de Cromo.

10.1.4 Fósforo

Según la clase III del Acuerdo 043 de 2006, el valor de fosforo máximo permitido en aguas es de 0.1 mg/L, según esta información, todas las muestras exceden los valores de fosforo permitidas, sin embargo, el valor más bajo se ve reflejado en la tabla 13 aguas arriba casco urbano del rio Bogotá con 13,7 mg/L.

Tabla 14.

Resultado Fosforo.

Fosforo			
Muestra	Valor	Unidad	Indicador
5329	17,70	mg/L	0,1
5330	34,00	mg/L	0,1
5331	26,10	mg/L	0,1
5332	13,70	mg/L	0,1
5333	15,70	mg/L	0,1

Nota. Resultados prueba de Fosforo.

10.1.5 Hierro

Según el acuerdo 043 de 2006 en la clase 4 los niveles máximos de hierro son 5 mg/L, se evidencia que en todas las muestras se encuentran valores por debajo de 1, esto quiere decir que estas aguas no tienen altos contenidos de hierro, por lo que serían un riesgo para la salud humana en calidad de agua, sin embargo, no tiene un riesgo tan alto.

Tabla 15.

Resultado Hierro.

Hierro			
Muestra	Valor	Unidad	Valor Máximo
5329	0,97	mg/L	5
5330	0,74	mg/L	5
5331	0,74	mg/L	5
5332	0,04	mg/L	5
5333	0,04	mg/L	5

Nota. Resultados prueba de Hierro.

10.1.6 Nitratos

El grupo de nutrientes se divide en nitrógeno amoniacal, nitratos, nitritos y fosforo, el valor máximo permitido de nitratos en afluentes según el acuerdo 043 de 2006 clase III, es de 1 mg/L, solo una de las muestras cumple con el valor límite de nitratos como se evidencia en la tabla 10, esto puede deberse a la planta de tratamiento de aguas PTAR de la empresa, en donde uno de los objetivos puede ser disminuir los nitratos que se descargan a la ciudad; las otras muestras por el contrario se evidencian altos contenidos de nitratos.

Tabla 16.

Resultado Nitratos.

Nitratos			
Muestra	Valor	Unidad	Valor Máximo
5329	1,0	mg/L	1
5330	37,6	mg/L	1
5331	24,2	mg/L	1
5332	3,6	mg/L	1
5333	2,4	mg/L	1

Nota. Resultados prueba de Nitratos.

10.1.7 Nitrógeno amoniacal

El valor máximo de nitrógeno amoniacal estipulado en la clase III del Acuerdo 043 de 2006, es de 0.3 mg/L, según se evidencia en las tablas 10 a 14 todos los valores son superiores a 0,3 mg/L, lo que quiere decir que tiene alto contenido de nitrógeno amoniacal, esto puede deberse a la degradación de compuestos orgánicos o inorgánicos del suelo o el agua, pero también a raíz de las diferentes industrias que colinden con la afluente.

Tabla 17.

Resultado Nitrógeno Amoniacal.

Nitrógeno Amoniacal			
Muestra	Valor	Unidad	Valor Máximo
5329	3,11	mg/L	0,3
5330	>3,50	mg/L	0,3
5331	>3,50	mg/L	0,3
5332	0,38	mg/L	0,3
5333	2,43	mg/L	0,3

Nota. Resultado prueba de Nitrógeno Amoniacal.

10.1.8 pH

Los valores máximos están entre 4.5-9.0, según el acuerdo 043 de 2006, la resolución 631 de 2015 y la ley 2115 de 2007, según las tablas 10 a 14, se muestra que todos los valores están en el rango aceptable.

Tabla 18.

Resultado pH.

pH		
Muestra	Valor	Valor Máximo
5329	6,3	9
5330	8,1	9
5331	8,2	9
5332	6,9	9
5333	6,9	9

Nota. Resultado prueba de pH.

10.1.9 Sulfatos

El valor máximo que se puede obtener es de 400 mg/L, como se evidencia en las muestras de las tablas 10 a 14, todas están por debajo del valor máximo, sin embargo, las que tienen menos contenido de sulfatos son la muestra 5332/4 y 5333/5 con valores por debajo de 10 mg/L.

Tabla 19.

Resultado Sulfatos.

Sulfatos			
Muestra	Valor	Unidad	Valor Máximo
5329	15,0	mg/L	400
5330	83,0	mg/L	400
5331	76,7	mg/L	400
5332	23,2	mg/L	400
5333	8,0	mg/L	400

Nota. Resultados prueba de Sulfatos.

10.1.10 Sólidos suspendidos totales (SST)

Se evidencia que en la tabla 10 muestra 5329/1, el valor de sólidos suspendidos totales es de 185, esto quiere decir que es un agua altamente contaminada ya que posee grandes cantidades de residuos, por el contrario, en la tabla 13 muestra 5332/4 se evidencia que los sólidos suspendidos totales son de 10 mg/L lo que quiere decir que no contiene gran cantidad de residuos, esto debido a que está aguas arriba, no ha cruzado mayor parte del casco urbano o industrial.

Tabla 20.

Resultado Sólidos Suspendidos Totales.

SST		
Muestra	Valor	Unidad
5329	185	mg/L
5330	85	mg/L
5331	24	mg/L
5332	10	mg/L
5333	24	mg/L

Nota. Resultados prueba de SST.

10.1.11 Turbidez

Se evidencia en la tabla 10 muestra 5329/1 el valor más alto es de 317 NTU, considerando que esta muestra fue en la parte final del proceso de producción textil, por otro lado, el valor más

bajo se presenta en la tabla 14 muestra 5333/5 con 9,5 NTU, considerando que en este punto el agua ya ha recorrido gran parte del casco urbano del municipio de Villapinzón.

Tabla 21.

Resultado Turbidez.

Turbidez		
Muestra	Valor	Unidad
5329	317,0	NTU
5330	99,0	NTU
5331	50,5	NTU
5332	10,9	NTU
5333	9,5	NTU

Nota. Resultados prueba de Turbidez.

10.1.12 Temperatura

Según estudios la temperatura influye en saturación de oxígeno, formación de ácidos huminicos los cuales son producto de la descomposición lenta de la materia orgánica a bajas temperaturas, sin embargo, en su mayoría no se consideran focos de contaminación [65].

Tabla 22.

Resultado Temperatura.

Temperatura		
Muestra	Valor	Unidad
5329	30,0	°C
5330	17,0	°C
5331	17,0	°C
5332	13,9	°C
5333	13,9	°C

Nota. Resultados prueba temperatura, temperatura de las muestras de agua.

10.2 Análisis DQO y DBO

Para esta investigación se proponen dos análisis de DQO y DBO, un análisis previo donde se

estudiarán las fuentes de agua para determinar el nivel de contaminación de las afluentes, en la tabla 16 y 17 como se muestra a continuación se expone el valor determinado para DQO y DBO en laboratorio comparado con los niveles máximos permitidos en el Acuerdo 043 de 2006 y la Ley 2115 de 2007 según corresponda, posteriormente se evalúan las muestras finales ya degradadas con $V_2O_5 + Nb$ y $V_2O_5 + Nb + rGO$, con el porcentaje máximo de prueba 15% de $V_2O_5 + Nb + rGO$ teniendo en cuenta que todas las muestras contienen solo el 5% de rGO.

10.2.1 Análisis previo

Para este análisis se tuvo en cuenta los valores máximos estipulados en el Acuerdo 043 de 2006.

Tabla 23.

Resultados de laboratorio DQO.

DQO			
Muestra	Valor	Unidad	Valor Máximo
5329	818	mg/L	180
5330	115	mg/L	180
5331	176	mg/L	180
5332	13	mg/L	180
5333	27	mg/L	180

Nota. Resultados de prueba DQO muestras de agua.

Tabla 24.

Resultados de laboratorio DBO.

DBO			
Muestra	Valor	Unidad	Valor Máximo
5329	391,0	mg/L	90
5330	53,0	mg/L	90
5331	55,0	mg/L	90
5332	2,3	mg/L	90
5333	8,5	mg/L	90

Nota. Resultados de prueba DBO para muestras de agua.

Según lo anterior, expuesto en las tablas 23 y 24, la única muestra que presenta afectación de la calidad de agua por muestras de DQO y DBO es la muestra 5329/1 de la empresa Asistex, esto debido a que puede utilizar en sus procesos más de una sustancia química o colorante, que también se mezcla al final del proceso con otro tipo de contaminantes.

En las muestras 5330 a 5333, se puede observar que cumplen con los límites máximos permitidos según el Acuerdo 043 de 2006, la prueba 5331 muestra estar casi al límite, esto es a raíz de que ya el río ha transitado por la zona urbana agregando diferentes contaminantes residenciales, también la cercanía a la zona de las curtiembres genera grandes focos de contaminación por las diferentes sustancias químicas que se usan en estos procesos.

La existencia de niveles elevados de DQO en los afluentes conduce a la disminución de oxígeno disuelto en el agua, lo que puede ocasionar malos olores y la muerte de la vida acuática. Las fases del proceso industrial que producen efluentes con una demanda de oxígeno más alta suelen ser el teñido y los procesos de curtiembres [65] - [67].

En las operaciones de curtiembre o teñido, los elevados niveles de DBO, observados durante el proceso de desencalado y curtido vegetal, son atribuibles al contenido de materia orgánica y grasas animales presentes en el efluente [65]. Este aumento impacta negativamente la calidad del agua y reduce los niveles de oxígeno disuelto [67]. Como resultado, los altos niveles de DBO pueden tener un impacto destructivo en el entorno acuático circundante, ya que existe una relación directa entre los niveles de DBO y el grado de contaminación del agua [69].

10.2.2 Análisis posterior

Para el análisis posterior de DQO y DBO se estudiaron las muestras de tres colorantes que en este caso fueron Rodamina B, Negro de Eriocromo y Naranja de metilo, y una muestra de agua residual en la salida del proceso de teñido degradadas con $V_2O_5 + Nb$ y $V_2O_5 + Nb + rGO$, teniendo en cuenta la comparación entre el análisis previo de agua residual en la salida del proceso de teñido y el análisis posterior, comparados con los niveles máximos permitidos.

A continuación, se muestran los resultados entregados por el laboratorio para las muestras de tres colorantes (Rodamina B, Negro de Eriocromo y Naranja de Metilo) y una muestra de agua residual en la salida del proceso de teñido de la empresa Asistex.

Tabla 25.

Resultado de laboratorio DQO y DBO muestra Naranja de Metilo degradado con $V_2O_5 + Nb + rGO$ al 15%.

Naranja de Metilo		
Muestra:	5410	
DQO	DBO	Unidades
49	17,8	mg/L

Nota. Resultados DQO y DBO para Naranja de Metilo.

Tabla 26.

Resultado de laboratorio DQO y DBO muestra Rodamina degradado con $V_2O_5 + Nb + rGO$ al 15%.

Rodamina B		
Muestra:	5412	
DQO	DBO	Unidades
51	20	mg/L

Nota. Resultados DQO y DBO para Rodamina B.

Tabla 27.

Resultado de laboratorio DQO y DBO muestra Agua Residual Salida de proceso de teñido Asistex degradado con $V_2O_5 + Nb + rGO$ al 15%.

Agua Residual		
Muestra:	5411	
DQO	DBO	Unidades
194	71,7	mg/L

Nota. Resultados DQO y DBO para Agua Residual.

En las tablas 25-26-27, se evidencia que los valores de DQO en las muestras de Naranja de metilo y Rodamina B son aceptables y se encuentran por debajo del límite máximo permitido que es de 180 mg/L sin embargo en la experimentación se evidenció que se intensifica el color, esto puede deberse al color particular del $V_2O_5 + Nb + rGO$, por el contrario, la muestra de agua residual muestra estar por encima del límite máximo permitido lo que quiere decir que el $V_2O_5 + Nb + rGO$ al 15% intensifica el color y la turbidez del agua que ya cuenta con contaminantes.

Según la revisión bibliográfica, la tabla 25 y 26, los valores correspondientes a DQO y DBO, están dentro del rango máximo permitido establecido en el Acuerdo 043 de 2006, Ley 2115 de 2007 y Resolución 631 de 2015.

La tabla 18 presenta los resultados de DQO y DBO para naranja de metilo, degradado utilizando una bombilla germicida de 20W en varios intervalos de tiempo. Según lo indicado en la literatura, la absorbancia se registra en el pico de 464 nm, por lo que este valor se utiliza para la muestra. Además, es relevante mencionar que otros materiales, como Ag/ZnO reducido al 5%, muestran un mejor comportamiento a la longitud de onda de 464 nm en intervalos de tiempo de 30 minutos [70].

Los niveles de DBO son atribuibles a la presencia de materia orgánica y grasas animales en el vertido [67], esto puede estar presente en cualquier parte del proceso de teñido. Los niveles de DQO indican el olor desagradable que puede surgir durante el proceso de teñido al combinarse con varios productos químicos [65].

Para el proceso de comparación se toma en cuenta solo la muestra de agua residual de la salida del proceso de teñido de la empresa Asistex.

Resultado previo:

Tabla 28.

Resultado DQO y DBO para agua residual en la Salida de proceso de teñido, sin tratamiento y sin degradación.

Agua Residual Salida de Proceso de teñido		
Muestra:	5329/1	
DQO	DBO	Unidades
818	391	mg/L

Nota. Resultado previo de agua residual.

Resultado posterior:

Tabla 29.

Resultado DQO y DBO para agua residual en la Salida de proceso de teñido, degradada con $V_2O_5 + Nb + rGO$ al 15%.

Agua Residual Salida de Proceso de teñido		
Muestra:	5411	
DQO	DBO	Unidades
388	143.4	mg/L

Nota. Resultado posterior agua residual.

Este valor se debe multiplicar por 2 ya que la muestra fue diluida, esto con el fin de entregar el valor real al degradar.

Teniendo en cuenta las tablas 28-29 se puede analizar que la degradación con $V_2O_5 + Nb + rGO$ al 15% presenta una eficiencia del material optima, de tal manera que degrada casi un 50%. De

acuerdo al Acuerdo 043 el DQO y DBO no cumplen con los valores máximos permitidos ya que el valor máximo permitido para DQO es 180 mg/L y para DBO 90 mg/L.

Según la revisión de la literatura, los estudios realizados en el río Bojacá, ubicado en el municipio de Bojacá, indican que el agua puede no ser potable debido a diversos factores como la alcalinidad, el pH, la turbidez, entre otros. Estos factores están influenciados por las condiciones del suelo, que pueden incluir la presencia de areniscas de naturaleza carbonatada o lechos rocosos compuestos de granito y otras rocas ígneas con una falta de carbonatos. En lo que respecta al pH, los valores pueden verse afectados por el proceso de desinfección del agua, ya que la falta de este proceso podría retrasar las reacciones entre el cloro y el amoníaco [71].

10.3 Análisis Material Sintetizado con espectrofotómetro Uv- Vis

Para degradar los diferentes colorantes que contaminan, se deben sintetizar cada una de las muestras con las partículas contaminantes, en este caso, negro de eriocromo, rodamina B y naranja de metilo, en diferentes partes por millón, según la revisión bibliográfica que se realizó, se determinó la cantidad de material, las partes por millón, y la solubilidad, para posteriormente medir la absorbancia en el espectrofotómetro según la longitud de onda para el material.

Según lo anterior:

Medidas de parte por millón para el Negro de Eriocromo:

Tabla 30.

Resultados de material sintetizado por espectrofotometría.

PPM	1ra	2da	3ra	Promedio	
1	0,002	0,010	0,005	0,005	%
2	0,005	0,012	0,006	0,007	%
5	0,042	0,043	0,044	0,043	%
10	0,114	0,114	0,109	0,112	%
20	0,199	0,207	0,199	0,202	%
30	0,264	0,260	0,276	0,266	%

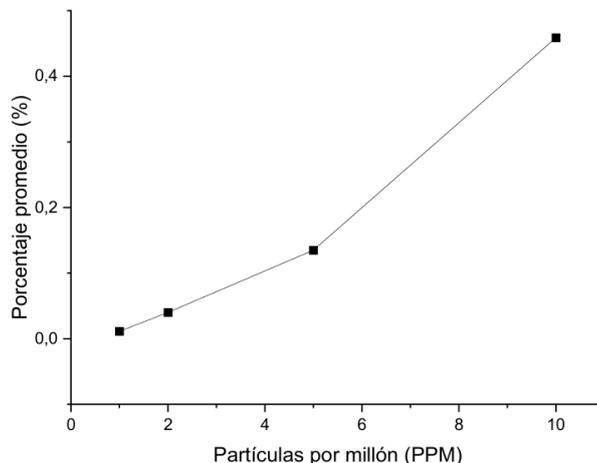
Longitud de onda	620	nm
------------------	-----	----

Nota. Resultado material sintetizado Negro de eriocromo.

Grafica:

Figura 11.

Curva de calibración Negro de eriocromo.



Nota. Curva de calibración.

La figura 17 y la tabla 30 muestran que el pico más alto se encuentra a una longitud de onda de 620 nm a 30 ppm con un valor de 0.266 %.

Estos resultados indican que, al dividir la sustancia pura en diferentes partes por millón, estudiando la absorbancia para determinar la cantidad de contaminantes y observar la eficiencia del colorante se observa en la figura 17 que esta tiende a aumentar su porcentaje de absorbancia a medida que aumentan las partes por millón del material.

Medidas de parte por millón para la Rodamina B:

Tabla 31.

Resultados de material sintetizado por espectrofotometría.

PPM	1ra	2da	3ra	Promedio	
1	0,129	0,119	0,118	0,122	%
2	0,397	0,395	0,398	0,396	%
5	1,204	1,189	1,135	1,176	%
10	2,747	2,747	2,715	2,736	%
20	2,880	2,876	2,865	2,873	%

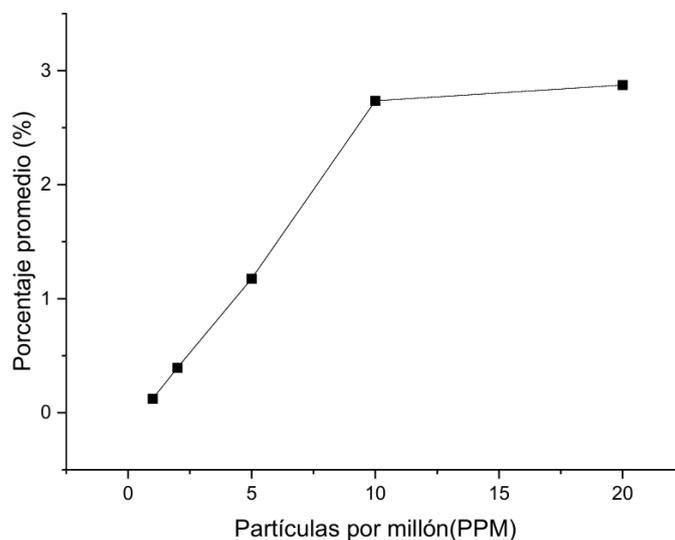
Longitud de onda	553	nm
------------------	-----	----

Nota. Resultado material sintetizado Rodamina B.

Grafica:

Figura 12.

Curva de calibración Rodamina B.



Nota. Curva de calibración Rodamina B.

La figura 18 y la tabla 31 muestran que el pico más alto se encuentra a una longitud de onda de 553 nm a 20 ppm con un valor de 2.873 %.

La longitud de onda se acordó de acuerdo a la literatura investigada, encontrando que el pico más alto era 553 nm [64].

Estos resultados indican que, al dividir la sustancia pura en diferentes partes por millón, estudiando la absorbancia para determinar la cantidad de contaminantes la eficiencia del colorante se observa en la figura 18 que esta tiende a aumentar su porcentaje de absorbancia en relación a las partes por millón.

Medidas de parte por millón para el Naranja de Metilo:

Tabla 32.

Resultados de material sintetizado por espectrofotometría.

PPM	1ra	2da	3ra	Promedio	
1	0,012	0,009	0,012	0,011	%
2	0,039	0,042	0,041	0,040	%
5	0,137	0,136	0,134	0,135	%
10	0,465	0,462	0,452	0,459	%

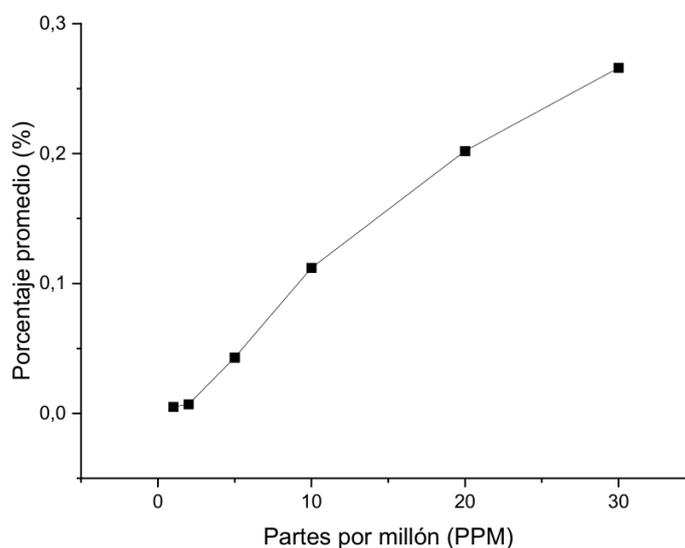
Longitud de onda	464	nm
------------------	-----	----

Nota. Resultados material sintetizado Naranja de metilo.

Grafica:

Figura 13.

Curva de calibración naranja de metilo.



Nota. Curva de calibración para Naranja de metilo.

La figura 19 y la tabla 32 muestran que el pico más alto se encuentra a una longitud de onda de 464 nm a 20 ppm con un valor de 2.873 %.

La longitud de onda se acordó de acuerdo a la literatura investigada, encontrando que el pico más alto era 464 nm [72].

Estos resultados indican que, al dividir la sustancia pura en diferentes partes por millón, estudiando la absorbancia para determinar la cantidad de contaminantes la eficiencia del

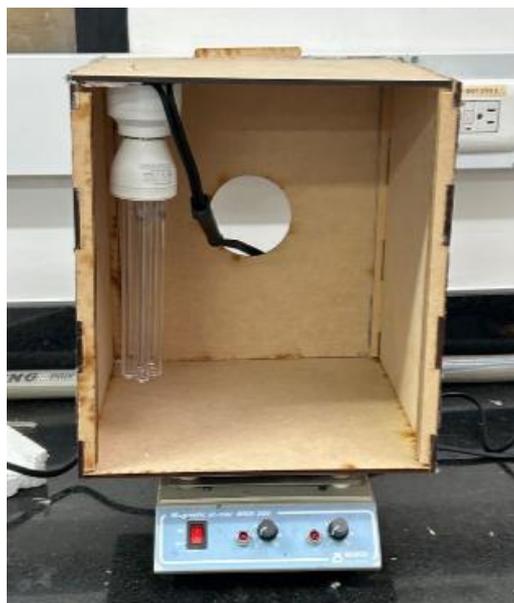
colorante se observa en la figura 19 que esta tiende a aumentar su porcentaje de absorbancia en relación a las partes por millón.

10.4 Análisis degradación Fotocatalítica

El sistema de fotodegradación consistió en la fabricación de una cámara con luz ultravioleta germicida como se muestra en la figura 20 ubicada en la parte izquierda sobre una de las caras para que la luz se emitiera con un ángulo de aproximadamente 90 grados, con 6 placas de madera tal como se muestra den la figura 20, que permitía mediante un agitador mezclar de manera homogénea el sólido de V_2O_5+Nb con rGO en algunos casos para mejorar la eficiencia del material teniendo en cuenta que la obtención fue mediante técnica hidrotermal, en diferentes porcentajes con los colorantes y el agua residual, para estimar según cada colorante un porcentaje de degradación y observar cuál de estos tenía un mejor comportamiento.

Figura 14.

Sistema de fotodegradación.



Nota. Elaboración sistema de fotodegradación con equipo de Trabajo de Investigación.

Los sistemas de fotodegradación implementados para diversas investigaciones se basan en la técnica sol-gel combinada con el método flow coating para mejor impregnación [73].

La intensidad de la radiación varía según las coordenadas del sistema de fotodegradación, así como también depende de factores como la temperatura, el lugar donde se realiza el experimento, la densidad y el tiempo [73].

En la literatura se encuentran diferentes formas para controlar los sistemas de fotodegradación teniendo en cuenta diferentes factores, uno de estos es agregar en intervalos de tiempo de 30 minutos H_2O_2 ya que depende también de la luz solar esto con el fin de que el sistema reciba mayor radiación UV durante mayor tiempo [73].

Según la literatura, se observa que, para la oxidación de contaminantes en aguas residuales, se emplean una variedad de materiales, entre ellos el dióxido de titanio TiO_2 . Se ha comprobado que el uso de esta material mejora la eficiencia de los procesos de degradación al aplicar la tecnología FH. Esto se debe a que, mediante la fotólisis, el rendimiento de degradación es significativamente bajo [73].

Dentro de la literatura se encuentran diversos materiales que funcionan como fotocatalizadores en su mayoría del grupo hidroxilo ya que tienen un papel importante en este proceso, para producir especies activas con el oxígeno, en la industria litográfica se tomó en cuenta el análisis FTIR para confirmar que los catalizadores tipo compuesto tiene mayor densidad lo que quiere decir que incrementa la carga de los materiales usados, al realizar este proceso se evidencian picos de remoción óptimos [73].

Para la degradación se requieren altas tasas de reacción para hacer más efectivo el proceso de oxidación, se pueden utilizar materiales como el platino para mejorar la eficiencia, este proceso muestra que la decoloración es más rápida. Al utilizar reactores de plasma de descarga de barrera dieléctrica para colorantes como el cristal violeta que pertenece a la familia del azul del metileno, el color se reduce en un 94.2%, mientras que con métodos de carbono orgánico solo reduce el 24.1%. Algunos estudios demuestran que mientras se reduce el color en la región visible se puede incrementar la longitud de onda en la región UV, esto genera mayor eficiencia del proceso [74]

En algunos estudios propuestos de mecanismos de degradación para azul de metileno basados en la teoría de la disociación del enlace, esta dice que la energía de disociación del enlace homolítico es la cantidad de energía necesaria para separar una mol de gases unidos covalentemente en un par de radicales [79]. Se evidencia que de acuerdo a la cual mientras menor es la energía del enlace, mayor es su actividad y más fácil es romper los enlaces para formar nuevos [74].

Se evaluó el comportamiento de degradación para tres colorantes y una fuente de agua residual en zona industrial textil de la empresa Asistex, para cada uno de estos se realizaron tres experimentos, en intervalos de tiempo de 15 minutos hasta completar 60 minutos [74].

Experimento 1: estimar el porcentaje de degradación de agua residual en zona industrial textil a un porcentaje del 0% de $V_2O_5 + Nb$.

Experimento 2: estimar el porcentaje de degradación de colorante un porcentaje del 5% de $V_2O_5 + Nb + rGO$.

Experimento 3: estimar el porcentaje de degradación de un porcentaje del 15% de $V_2O_5 + Nb + rGO$.

Como resultado para el experimento 1, no se obtuvieron resultados óptimos de degradación ya que las pruebas de absorbancia realizadas muestran porcentajes negativos, esto quiere decir que por el método que se utilizó y el material, al mezclarlos la muestra intensifica su color, también es importante tener claro que el agua presentaba una turbidez alta pero dentro de los parámetros máximos permisibles.

Para el negro de eriocromo se realizó un solo experimento particular con los mismos porcentajes de $V_2O_5 + Nb$ de 0%, 5% y 15%, esta se agito en intervalos de 30 minutos hasta completar 90 minutos.

Los colorantes son compuestos orgánicos que proporcionan color a una sustancia o sustrato a través de la absorción selectiva de la luz. El Negro de Eriocromo T es un tipo de colorante que presenta desafíos significativos en términos de degradación y se considera potencialmente carcinogénico para los seres humanos. En su forma protonada, exhibe un tono azul, pero cambia a rojo cuando forma complejos con iones metálicos amonio [75].

Para el **experimento 3** se muestran resultados con baja eficiencia que tiende a no degradar el colorante por el método empleado, el colorante suele intensificarse debido al color particular del pentóxido de vanadio.

La investigación documental indica que se han llevado a cabo estudios comparativos entre el naranja de metilo y otros materiales, como el titanio en solución acuosa, para pruebas de degradación bajo luz ultravioleta (UV) con recubrimientos anodizados de diferentes espesores. Estos estudios han demostrado una mayor eficiencia en la decoloración del colorante. Además, se ha observado que a medida que aumenta el tiempo de exposición, la decoloración también aumenta. Sin embargo, se han realizado pruebas en intervalos de tiempo que oscilan entre las 24 y las 96 horas, con mediciones cada 12 horas. Se llevaron a cabo pruebas de degradación durante un periodo de 2 horas utilizando titanio con un recubrimiento anodizado de 2 horas, y se observó que al aumentar el tiempo de exposición se puede mejorar y optimizar la eficiencia de la degradación [76] - [77].

Los procesos de oxidación se fundamentan en la producción de especies oxidantes que inducen modificaciones en la composición química de los contaminantes a través de la acción de radical hidroxilo, los cuales poseen una alta capacidad oxidativa y son altamente reactivos [71].

Los estudios de fotoluminiscencia confirmaron que la absorción óptica mejorada de las nanoestructuras de V_2O_5 en la región UV-Vis se debe a la mayor densidad de defectos puntuales, que atrapan los portadores de carga fotogenerados, aumentando así su tasa de recombinación y reduciendo su actividad fotocatalítica [78].

La incorporación de nanopartículas de óxido de vanadio puro en las láminas de rGO ha apagado completamente la emisión de PL verde debido a la transferencia efectiva de electrones del óxido metálico a rGO. Esto reduce la tasa de recombinación de portadores de carga fotogenerados en nanocompuestos de óxido de rGO-vanadio y mejora la actividad fotocatalítica [78].

Para analizar el porcentaje de degradación se utilizó la siguiente ecuación para determinarlo:

$$\% \text{ Degradación} = \frac{C_i - C_f}{C_i} * 100 \%$$

Siendo así en la ecuación los literales:

C_i Concentración inicial

C_f Concentración final

Según lo anterior, se muestran el resultado más óptimo obtenido en el **experimento 2** por absorbancia con espectrofotometría Uv – vis:

Tabla 33.

Resultado degradación al 5% para Rodamina B.

Experimento 2		
Tiempo	% Absorbancia	Degradación
0 min	3,000	0,0
15 min	2,970	1,0
30 min	2,991	0,3
45 min	2,976	0,8
60 min	2,952	1,6

Nota. Resultado degradación al 5% para Rodamina B.

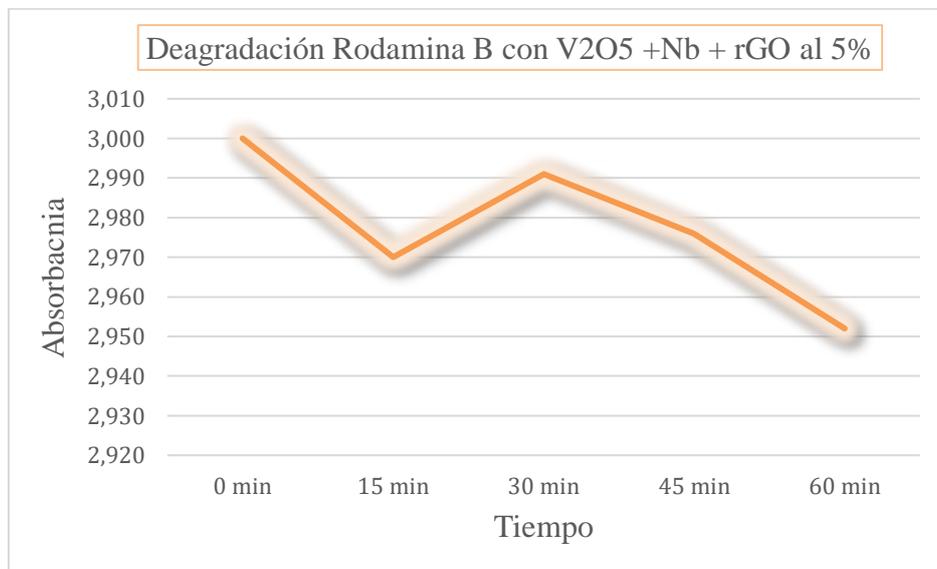
La tabla 26 muestra los resultados más óptimos para los tres colorantes y el agua residual, teniendo en cuenta esto, se puede decir que el $V_2O_5 + Nb + rGO$ al 5% para la Rodamina B fue el más óptimo con un porcentaje de degradación de partículas del 1,6%.

Las diferentes muestras podrían tener baja o nula eficiencia del material para degradar por diversos factores, tales como: el tiempo de agitación dentro del sistema de degradación, la temperatura ambiente y dentro de la cámara, la generación de oxígeno dentro de la cámara, el reactor, el porcentaje de concentración del material, la ubicación, también puede influir en las muestras el punto máximo de la región visible, de la región UV, la cantidad de grafeno utilizada y mezclada con los diferentes porcentajes de $V_2O_5 + Nb + rGO$.

A continuación, en la Figura 21 se evidencia que para Rodamina B, con $V_2O_5 + Nb + rGO$ al 5% se logró degradar 1,6 % de partículas de Rodamina B, expuestas a agitación por 60 minutos dentro del sistema de degradación propuesto por el cuerpo de investigación con una bombilla germicida de 20 W.

Figura 15.

Degradación Rodamina B con $V_2O_5 + Nb + rGO$ al 5%.



Nota. Grafica de absorbancia en el tiempo para degradación de Rodamina B.

En la figura 21 se evidencia como disminuye a medida del tiempo la absorbancia, lo que significa que el compuesto $V_2O_5 + Nb + rGO$ degrado partículas de la Rodamina B, permitiendo que la calidad del agua se presentara menos turbia y de un color más claro, estos resultados son positivos, esto puede ser a raíz de la mezcla de material, ya que exactamente esta se encontraba en relación 1:1, la relación de material se encontraba 5% de $V_2O_5 + Nb$ y 5% de rGO .

En la literatura se han investigado varios óxidos semiconductores como candidatos para aplicaciones fotocatalíticas. El óxido de Bi_2MoO_6 , en sus formas policristalinas de alta y baja temperatura, ha demostrado tener actividad fotocatalítica para la degradación de la rodamina B bajo la influencia de la luz visible. Distintos arreglos cristalinos, como el $L - Bi_2MoO_6$, que se caracteriza por presentar capas de octaedros, han sido objeto de estudio. Se ha observado que, mediante métodos de activación mecánica, es posible mejorar la actividad catalítica para la degradación de la rodamina B en casi un 50%, lo que se atribuye al aumento de su área superficial. [79].

10.5 Índice de calidad de agua

El Índice de calidad del agua (ICA) es el valor numérico que califica en una de cinco categorías, la calidad del agua de una corriente superficial, adopta para condiciones óptimas un valor máximo determinado de 100, que va disminuyendo con el aumento de la contaminación el curso de agua en estudio [37].

Figura 16.

Escala de contaminación.

ICA	Criterio general
85-100	No Contaminado
70-84	Aceptable
50-69	Poco Contaminado
30-49	Contaminado
0-29	Altamente Contaminado

Nota. Escala para el índice de calidad de agua.

Tomado de: Fern, M. and Guardado-Lacaba, R.M. (1970) *Evaluaci, Miner.*
Available at: <https://www.redalyc.org/journal/2235/223566343008/> (Accessed: 23 October 2023).

El cálculo de ICA se realizó para la muestra 5329/1 de la empresa Asistex, en la salida del proceso de teñido, con el fin de determinar el índice de calidad del agua, basados en los 9 parámetros que se toman en cuenta para la medición.

La siguiente ecuación determina el ICA:

$$ICA = \sum q_i * w_i$$

El valor de q_i se determinó a través de las curvas de función mencionadas en el artículo para el índice de calidad de agua, para los parámetros señalados a partir de los resultados de los análisis fisicoquímicos realizados en el laboratorio para la muestra 5329/1 [82].

El valor de w_i se estableció según el boletín de informe de la SNET en 2020, para los 9 parámetros que se deben tomar en cuenta en la medición del índice de calidad del agua [81].

Teniendo en cuenta la ecuación se realiza el análisis mediante la tabla:

Tabla 34.

ICA.

ICA Agua residual Salida Proceso de Teñido			
Parametro	q_i	w_i	$q_i * w_i$
OD	7,54	0,17	1,2818
pH	61,80	0,12	7,416
DBO	2,00	0,10	0,2
Nitratos	5,00	0,10	0,5
Fosfatos	5,00	0,10	0,5
Temperatura	9,00	0,10	0,9
Turbidez	5,00	0,08	0,4
SST	74,60	0,08	5,968
Coliformes	3,00	0,15	0,45
		$\Sigma =$	17,6158

Nota. Resultados para cálculo de ICA en muestra de agua residual.

Teniendo en cuenta la tabla 34 y la figura 16 el valor ponderado obtenido de ICA es de 17,61 lo que indica que se encuentra en el rango de 0 – 25 para un criterio de agua Altamente contaminada. Según informes de calidad del agua del río Bogotá, en sus diferentes cuencas solo el 18% cuenta con un índice malo, eso hace referencia a 6 puntos de muestreo, entre los 30 puntos de muestreo [83].

11. CONCLUSIONES

Para la investigación se puede concluir que la toma de muestras se pudo realizar con éxito, gracias al apoyo que tuvo por parte de la Universidad de América y del cuerpo docente encargado de la investigación.

El análisis del índice de calidad del agua determina que la muestra 5329/1 estaba altamente contaminada, con un valor de 17,61 en una escala de 0 – 25 según parámetros del ICA.

Para el análisis posterior también se evidencia que el porcentaje de contaminación es menor lo que significa que el material tiende a tener una mejor eficiencia.

Para el material implementado $V_2O_5 + Nb + rGO$ en la degradación fotocatalítica se puede concluir que, en las muestras de los colorantes y el agua residual en la salida del proceso de teñido, presenta una disminución en cuanto a los análisis de DQO y DBO, en cuanto al agua residual observamos que disminuye la cantidad de DQO y DBO sin embargo supera el valor máximo permitido establecido en las normas para estos componentes.

En cuanto a los colorantes se puede concluir que para el único colorante que funciono la degradación sin ningún tipo de post tratamiento es la Rodamina B con un porcentaje de 1,6% con pentóxido de vanadio y niobio con grafeno en una solución sólida al 5%, en los demás colorantes se obtuvo una intensificación del color, lo que conlleva a un aumento en la turbidez, por ende, el porcentaje de degradación medido por absorbancia tiende a aumentar.

Perspectivas:

Teniendo en cuenta los experimentos realizados se pueden considerar ciertos factores que pueden afectar las muestras y los resultados obtenidos, por ende, para próximas investigaciones se debería tener en cuenta: la locación y la cantidad de luz que se emite en el ambiente, la temperatura del material y como esta afecta el sistema de degradación, también se puede complementar con post o pre tratamientos físico – químicos que ayuden a la degradación a tener un mayor efecto, comprobar con porcentajes más altos de pentóxido de vanadio y niobio, teniendo en cuenta el porcentaje de grafeno que se utilizó e intentar aumentarlo, según los estudios esta investigación se puede llevar a realizar en intervalos de tiempo más altos con las

mismas longitudes de onda para corroborar una mejor eficiencia del material. Se debe tener en cuenta realizar el muestreo en horario de la tarde y comparar las variaciones de los resultados obtenidos. Sera pertinente realizar un análisis de ICA para todas las muestras de agua, y realizar un análisis más profundo de la calidad del agua.

REFERENCIA

- [1] “¿Qué es el Agua Potable? Definición y Características” | SAGUAPAC”. SAGUAPAC. Accedido el 14 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.saguapac.com.bo/como-se-define-el-agua-potable/#:~:text=Se%20denomina%20agua%20potable,%20al,las%20autoridades%20locales%20e%20internacionales.>
- [2] L. E. Segura Triana, “*Estudio de antecedentes sobre la contaminación hídrica en Colombia*”, Trabajo de Grado, ESC. SUPER. ADM. PUBLICA ESAP, BOGOTÁ D.C., 2007.
- [3] Torres Luna, J. A., & Carriazo, J. G. (2017). Degradación fotocatalítica del colorante amarillo reactivo 145 empleando estructuras de Fe(iii)-TiO₂ sintetizadas de la mineral ilmenita. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 13(1), 42–49. <https://doi.org/10.18359/rfcb.2752>
- [4] Colombia. (2020). *Regiones - Geografía - Historia de Colombia - Colombia Info. Colombia.com.* <https://www.colombia.com/colombia-info/informacion-general/geografia/regiones/>
- [5] Emaze. (s.f.). *REGIÓN andina.* emaze presentations. <https://www.emaze.com/@aowlwfcf/REGIÓN-andina>
- [6] *Regiones naturales de Colombia* (2023) *Colombia Verde.* Available at: <https://colombiaverde.com.co/geografia/regiones-naturales/> (Accessed: 16 October 2023).
- [7] Superadmin (2012) *Hidrografía Boyacense, Gobernación de Boyacá.* Available at: <https://www.boyaca.gov.co/hidrografia-boyacense/> (Accessed: 16 October 2023).
- [8] *Recursos hídricos de la Región Andina* (2023) *Regiones Naturales de Colombia.* Available at: <https://regionesnaturalescolombia.com/andina/recursos-hidricos-de-la-region-andina/> (Accessed: 16 October 2023).
- [9] *Río Magdalena: Navegando por una nación: Museo Nacional de Colombia.* Available at: <https://www.museonacional.gov.co/sitio/magdalena/magdario.html> (Accessed: 16 October 2023).
- [10] Colaboradores de los proyectos Wikimedia. (2007, 11 de abril). *Cuerpo de agua - Wikipedia, la enciclopedia libre.* Wikipedia, la enciclopedia libre. https://es.wikipedia.org/wiki/Cuerpo_de_agua
- [11] Colaboradores de los proyectos Wikimedia. “*Índice de estado trófico - Wikipedia, la enciclopedia libre*”. Wikipedia, la enciclopedia libre. Accedido el 18 de abril de 2024. [En línea]. Disponible: https://es.wikipedia.org/wiki/Índice_de_estado_trófico

- [12] “*Categoría: Cuerpos de agua de Colombia* - Wikipedia, la enciclopedia libre”. Wikipedia, la enciclopedia libre. Accedido el 18 de abril de 2024. [En línea]. Disponible: https://es.wikipedia.org/wiki/Categoría:Cuerpos_de_agua_de_Colombia
- [13] Colaboradores de los proyectos Wikimedia. “*Porosidad* - Wikipedia, la enciclopedia libre”. Wikipedia, la enciclopedia libre. Accedido el 18 de abril de 2024. [En línea]. Disponible: <https://es.wikipedia.org/wiki/Porosidad>
- [14] Colaboradores de los proyectos Wikimedia. “*Permeabilidad* - Wikipedia, la enciclopedia libre”. Wikipedia, la enciclopedia libre. Accedido el 18 de abril de 2024. [En línea]. Disponible: <https://es.wikipedia.org/wiki/Permeabilidad>
- [15] *Recorrido virtual por la biodiversidad de colombiamuseo de historia natural universidad nacional de Colombia* (no date) *Museo de Historia Natural - Universidad Nacional de Colombia*. Available at: <http://historianatural.unal.edu.co/expo1/andina.html> (Accessed: 16 October 2023).
- [16] *Los Rios Mas Contaminados de Boyacá* (no date) *prezi.com*. Available at: <https://prezi.com/ivcpgemgutdp/los-rios-mas-contaminados-de-boyaca/> (Accessed: 16 October 2023).
- [17] Ramos-Parra, Y.J. *et al.* (2023) ‘*Luminescence toxicological analysis of water supply systems in dispersed rural areas: A case study in Boyacá, Colombia*’, *Water*, 15(13), p. 2474. doi:10.3390/w15132474.
- [18] Wen, Y., Schoups, G. and van de Giesen, N. (2017) ‘*Organic pollution of rivers: Combined threats of urbanization, livestock farming and global climate change*’, *Scientific Reports*, 7(1). doi:10.1038/srep43289.
- [19] Garcés-Ordóñez, O. *et al.* (2022) ‘*Microplastic pollution in water, sediments and commercial fish species from Ciénaga Grande de Santa Marta Lagoon Complex, Colombian caribbean*’, *Science of The Total Environment*, 829, p. 154643. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.154643.
- [20] Iberdrola (2021) *La contaminación Del Agua: Cómo no poner en peligro Nuestra Fuente de Vida*, Iberdrola. Available at: <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/contaminacion-del-agua> (Accessed: 16 October 2023).
- [21] Olivero-Verbel, J. (2011) ‘*Colombia: Environmental health issues*’, *Encyclopedia of Environmental Health*, 1, pp. 740–754. doi:10.1016/b978-0-444-52272-6.00395-0.
- [22] Quintero Cano, S.A. (2016) *Evaluación y Seguimiento de estrategias aplicadas por las comunidades rurales que hacen parte del proyecto cultura del árbol en el contexto de algunos municipios de los Departamentos de Cundinamarca y Boyacá Adscritos a La Corporación*

- Autónoma regional de Cundinamarca (CAR)- hdl:11349/3466*. Available at: <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/3466> (Accessed: 16 October 2023).
- [23] Cifuentes, G.R. *et al.* (2021) '*Damming induced natural attenuation of hydrothermal waters by runoff freshwater dilution and sediment biogeochemical transformations (Sochagota Lake, Colombia)*', *Water*, 13(23), p. 3445. doi:10.3390/w13233445.
- [24] Ambiente, R.M. (no date) *Sos de los Ríos del País: Contaminación Sigue Sin Control, El Nuevo Siglo*. Available at: <https://www.elnuevosiglo.com.co/ambiente-y-ciencia/sos-de-los-rios-del-pais-contaminacion-sigue-sin-control> (Accessed: 23 October 2023).
- [25] *Guía para la medición en Campo de Calidad del Agua* (no date) *Inicio*. Available at: <https://www.hannacolombia.com/blog/post/190/guia-para-la-medicion-en-campo-calidad-del-agua> (Accessed: 23 October 2023).
- [26] Hanna Instruments (2019) *Color del agua, parámetro indicador de calidad*. Available at: <https://higieneambiental.com/aire-agua-y-legionella/color-del-agua-parametro-indicador-de-calidad> (Accessed: 18 April 2024).
- [27] Chaquea, M.C. (2016) *Análisis físico y químico de la calidad del agua*. Bogotá, Bogotá: Ediciones USTA.
- [28] *Calibration check waterproof ph./mv/°C meter - hanna inst.* Available at: https://www.hannainst.com/hubfs/productmanuals/MAN9126_09_17.pdf?hsLang=en (Accessed: 24 October 2023).
- [29] *Acqua* (2017) *Sulfatos, Acqua Tecnologia*. Available at: <https://acquatecnologiaperu.com/sulfatos.html#:~:text=Presencia%20en%20el%20agua&text=Los%20sulfatos%2C%20tal%20y%20como,rechazable%20inmediatamente%20por%20los%20consumidores> (Accessed: 18 April 2024).
- [30] *Higiene Ambiental* (2019) *¿Qué nos indican los niveles de hierro y manganeso sobre la Calidad del Agua de Consumo?*, *Calidad del agua de consumo, indicadores hierro y manganeso*. Available at: <https://higieneambiental.com/calidad-del-agua-de-consumohierro#:~:text=Su%20presencia%20en%20el%20agua%20normalmente%20no%20representa%20un%20peligro,y%20las%20conducciones%20del%20agua> (Accessed: 18 April 2024).
- [31] *Cromo: Uno de los causantes de la contaminación del agua* (2019) *The Social Water*. Available at: <https://thesocialwater.org/contaminacion-del-agua-metales-pesados/> (Accessed: 18 April 2024).
- [32] *Dgeia-Dirección General de Estadística e Información Ambiental, S.* (2012) *Calidad de Agua, Informe 2012*. Available at:

https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_12/06_agua/cap6_3.html#:~:text=Otro%20contaminante%20frecuente%20en%20los,la%20materia%20org%C3%A1nica%20en%20descomposici%C3%B3n (Accessed: 18 April 2024).

- [33] DANE (2005) ‘Sistema de Información del Medio Ambiente – Anexo 5’. Bogotá: IDEAM.
- [34] J. E. Beltrán-Vargas y J. O. Rangel Churio, “*Modelación Dinámica De Los Sólidos Suspendidos Totales En El Humedal Jaboque, Bogotá (Colombia)*”, *Colomb. For.*, vol. 15, n.º 2, p. 191, diciembre de 2012. Accedido el 18 de abril de 2024. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2012.2.a04>
- [35] E. Cabrera Molina, L. Hernández Garciadiego, H. Gómez y M. d. P. Cañizares Macías, “*Determinación de nitratos y nitritos en agua. Comparación de costos entre un método de flujo continuo y un método estándar*”, *Rev. Soc. Química Mex.*, vol. 47, n.º 1, febrero de 2003, art. n.º 88-92. Accedido el 5 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.scielo.org.mx/pdf/rsqm/v47n1/v47n1a14.pdf>
- [36] Tecnal. “- *Nitrógeno amoniacal en agua y efluentes*”. - Nitrógeno amoniacal en agua y efluentes. Accedido el 18 de abril de 2024. [En línea]. Disponible: https://tecnal.com.br/es/blog/237_nitrogeno_amoniacal_en_agua_y_efluentes
- [37] Fern, M. and Guardado-Lacaba, R.M. (1970) *Evaluaci, Miner.* Available at: <https://www.redalyc.org/journal/2235/223566343008/> (Accessed: 23 October 2023).
- [38] Aquanova (2023) *¿Qué es el dbo y dco? - análisis de agua, Aquanova.* Available at: <https://www.aquanova.es/2020/04/que-es-el-dbo-y-dco/> (Accessed: 16 October 2023).
- [39] Lanjwani, M.F. *et al.* (2022) ‘*Photocatalytic degradation of eriochrome black t dye by zno nanoparticles using multivariate factorial, kinetics and isotherm models*’, *Journal of Cluster Science*, 34(2), pp. 1121–1132. doi:10.1007/s10876-022-02293-8.
- [40] Hunge, Y.M., Yadav, A.A. and Kang, S.-W. (2022) ‘*Photocatalytic degradation of eriochrome Black-T using BAWO4/mos2 composite*’, *Catalysts*, 12(10), p. 1290. doi:10.3390/catal12101290.
- [41] Hurtado, L. *et al.* (2015) ‘*Correlating the photocatalytic activity and the optical properties of livmoo6 photocatalyst under the UV and the visible region of the Solar Radiation Spectrum*’, *Chemical Engineering Journal*, 262, pp. 1284–1291. doi: 10.1016/j.cej.2014.10.052.
- [42] G. López. “*Naranja de metilo Fisher-Acros*”. Productos para profesionales en salud. Accedido el 18 de abril de 2024. [En línea]. Disponible: <https://instrumentalia.com.co/Instrumentalia-Infirma/Enviar/naranja-de-metilo->

fisher-

acros.html#:~:text=El%20Naranja%20de%20metilo%20es,rojo%20a%20amarillo%20naranja%20respectivamente

- [43] L. A. Ramírez Llamas, A. Jacobo Azuara y J. M. Martínez Rosales, “*Adsorción del naranja de metilo en solución acuosa sobre hidróxidos dobles laminares*”, *Acta Univ.*, vol. 25, n.º 3, pp. 25–34, julio de 2015. Accedido el 18 de abril de 2024. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.15174/au.2015.778>
- [44] Machado, C.M. *et al.* (2018) ‘*Effect of ethanol-dissolved rhodamine B marker on mechanical properties of non-simplified adhesives*’, *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 84, pp. 145–150. doi: 10.1016/j.jmbbm.2018.05.012.
- [45] *Rodamina* (2019) *Wikipedia*. Available at: <https://es.wikipedia.org/wiki/Rodamina> (Accessed: 23 October 2023).
- [46] F. S. I. d. I. A. Martínez Osorio, Pérez Espinoza, “*Calibración de un Espectrofotómetro UV-Visible y Evaluación de la Incertidumbre*”, Trabajo de Grado, UNIV. NAC. AUTON. NICAR. (UNAN-LEON), Nicaragua, 2009.
- [47] Labster Theory. “*Esquema del funcionamiento de un espectrofotómetro UV-VIS.*” Google. Accedido el 19 de abril de 2024. [En línea]. Disponible: https://labster-image-manager.s3.amazonaws.com/94951b92-a333-42b3-9cbd-28a0a4af79ec/Spectrophotometer2.es_ES.png
- [48] BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC. *Guide for to the expression of uncertainty* (GUM)
- [49] “*Colombia*”. *sectortextilblog*. Accedido el 18 de abril de 2024. [En línea]. Disponible: <https://sectortextilblog.wordpress.com/colombia/>
- [50] M. Van der Bruggen, “*El Sector Textil En Colombia*”, *Dirección Gen. Catalunya*, vol. 1, n.º 1, p. 33, 1998.
- [51] “*Descubre la Región Andina de Colombia y su Excepcional Geografía*”. Marca País Colombia. Accedido el 18 de abril de 2024. [En línea]. Disponible: [https://www.colombia.co/pais-colombia/geografia-y-medio-ambiente/region-andina-de-colombia/#:~:text=El%20clima%20de%20esta%20región,\)%20animales%20silvestres%20y%20demás](https://www.colombia.co/pais-colombia/geografia-y-medio-ambiente/region-andina-de-colombia/#:~:text=El%20clima%20de%20esta%20región,)%20animales%20silvestres%20y%20demás)
- [52] CAR. “*Rio Soacha*”. .: Observatorio de Agendas Interinstitucionales Ambientales .: Accedido el 18 de abril de 2024. [En línea]. Disponible: <https://oaica.car.gov.co/vercaso2.php?id=178>

- [53] Colaboradores de los proyectos Wikimedia. (2013). *Río Soacha* - Wikipedia, la enciclopedia libre [Imagen]. Wikipedia, la enciclopedia libre. https://es.wikipedia.org/wiki/Río_Soacha#/media/Archivo:Hidrografía_suachuna.png
- [54] CAR. “CAR / Río Bogotá”. Inicio | CAR. Accedido el 19 de abril de 2024. [En línea]. Disponible: https://www.car.gov.co/rio_bogota
- [55] Sanabria Martínez, L. F. (2020). *Estado del recurso hídrico en la cuenca del río Bogotá, en términos de calidad y cantidad* (DRN). CAR.
- [56] CAR. “Municipios de la cuenca del Río Bogotá”. Google. Accedido el 19 de abril de 2024. [En línea]. Disponible: <https://i2.wp.com/combo2600.com/wp-content/uploads/2012/09/rio-bogota.jpg>
- [57] Colaboradores de los proyectos Wikimedia. (2012, 8 de agosto). *Óxido de vanadio(V)* - Wikipedia, la enciclopedia libre. Wikipedia, la enciclopedia libre. [https://es.wikipedia.org/wiki/Óxido_de_vanadio\(V\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Óxido_de_vanadio(V))
- [58] Colaboradores de los proyectos Wikimedia. (2011, 10 de mayo). *Sistema cristalino ortorrómbico* - Wikipedia, la enciclopedia libre. Wikipedia, la enciclopedia libre. https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_cristalino_ortorrómbico
- [59] Yadav, A. A., Hunge, Y. M., Kang, S.-W., Fujishima, A., & Terashima, C. (2023). *Enhanced Photocatalytic Degradation Activity Using the V2O5/RGO Composite. Nanomaterials, 13(2)*, 338. <https://doi.org/10.3390/nano13020338>
- [60] Repsol. (2023, 11 de septiembre). *Grafeno: qué es, propiedades y aplicaciones* | Repsol. REPSOL. <https://www.repsol.com/es/energia-futuro/tecnologia-innovacion/grafeno/index.cshtml#:~:text=El%20grafeno%20es%20un%20material%20transparente%20y%20absorbe%20muy%20poca,rotura%20son%20mucho%20más%20bajas.>
- [61] Colaboradores de los proyectos Wikimedia. (2003, 3 de diciembre). *Niobio* - Wikipedia, la enciclopedia libre. Wikipedia, la enciclopedia libre. <https://es.wikipedia.org/wiki/Niobio>
- [62] *Archivo:Naranja de metilo.png* - Wikipedia, la enciclopedia libre. Accedido el 13 de mayo de 2024. [Imagen]. Disponible: https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Naranja_de_metilo.png
- [63] Colaboradores de los proyectos Wikimedia. *Negro de eriocromo T* - Wikipedia, la enciclopedia libre. (10 de agosto de 2015). Accedido el 13 de mayo de 2024. [Imagen]. Disponible: https://es.wikipedia.org/wiki/Negro_de_eriocromo_T
- [64] J. A. Díaz-Martínez y C. A. Granada-Torres, “Efecto de las actividades antrópicas sobre las características fisicoquímicas y microbiológicas del río Bogotá a lo largo del municipio de Villapinzón, Colombia”, *Rev. Fac. Medicina*, vol. 66, n.º 1, pp. 45–52, enero de 2018.

Accedido el 19 de mayo de 2024. [En línea].
Disponible: <https://doi.org/10.15446/v66n1.59728>

- [65] SIERRA GARCIA, S. C. (2018). *Efectos Ambientales Generados Por Los Vertimientos De Las Industrias De Curtido De Piel: Implicaciones En La Cuenca Alta Del Río Bogotá* [Trabajo de Grado, Universidad Militar Nueva Granada]. Repositorio Documental UMNG.
- [66] CAR. “CAR / Río Bogotá”. Inicio | CAR. Accedido el 19 de abril de 2024. [En línea]. Disponible: https://www.car.gov.co/rio_bogota
- [67] S. D. d. Ambiente, *Guía de producción más limpia para el sector curtiembres de Bogotá, enfoque en vertimientos y residuos*, Bogotá D.C., 2015.
- [68] D. Cuesta-Parra, C. Velazco-Rincón y J. Castro-Pardo, «Evaluación ambiental asociada a los vertimientos de agua residuales generados por una empresa de curtiembres en la cuenca del río Aburrá,» *Revista UIS Ingenierías*, vol. 17, n° 2, pp. 141-152, 2018.
- [69] C. A. R. d. Cundinamarca, *Boletín de calidad de las cuencas de la jurisdicción CAR*, Bogotá D.C, 2012.
- [70] O. Guarín-Villamizar, «Metodología para evaluación de la condición ambiental en microcuencas urbanas,» *Revista UIS Ingenierías*, vol. 16, n° 2, pp. 141-150, 2017.
- [71] LOZADA GÓMEZ, M. (2018). *Degradación Fotocatalítica De Colorantes Textiles Empleando Catalizadores Soportados En Zno* [Trabajo de Grado, BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA]. Google Scholar.
- [72] Ramírez García, A. d. P. (2018). *Estudio de la degradación fotocatalítica de naranja de metilo en agua mediante TiO2 soportado* [Proyecto de grado en Ingeniería Química inédita].
- [73] Restrepo, G. M. (2008). *Evaluation of photocatalytic treatment of industrial wastewater using solar energy. Universidad de Antioquia*, 1(155), Artículo 155.
- [74] Pérez Pucheta, M. F. (2015). *Decoloracion de Colorantes Orgánicos en solución acuosa con un reactor de plasma a presión atmosférica* (Publicación n.º 106) [Trabajo de Grado, UNiversidad de Guadalajara]. Google Schoolar.
- [75] Ávila de Navia MSC, S. L., & Estupiñán Torres MSC, S. M. (2010). *Calidad físico-química y microbiológica del agua del municipio de Bojacá, Cundinamarca. Nova*, 8(14), 206. <https://doi.org/10.22490/24629448.451>
- [76] Libretexts. (2022, 30 de octubre). 5.5: *Escisión homolítica y energías de disociación de enlaces*. LibreTexts español. [https://espanol.libretexts.org/Quimica/Química_Orgánica/Mapa: Químic a \(Wade\)/05: Introducción a las reacciones orgánicas mediante halogenación por radic](https://espanol.libretexts.org/Quimica/Química_Orgánica/Mapa: Químic a (Wade)/05: Introducción a las reacciones orgánicas mediante halogenación por radic)

