



**UNIVERSIDAD CATÓLICA**  
de Colombia

ELABORÓ: **Angie Rodríguez** CÓDIGO: 506914



**UNIVERSIDAD CATÓLICA**  
de Colombia

**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TÍTULO PROPUESTA DE GRADO:**

UTILIZACIÓN DE NANOPARTÍCULAS MAGNÉTICAS MULTIFUNCIONALES  
(ZnO@Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) Y OZONO PARA LA DEGRADACIÓN/ELIMINACIÓN DE AZUL DE  
METILENO EN AGUA RESIDUAL.

**PRESENTADO POR:**

**NOMBRE: ANGIE TATIANA RODRÍGUEZ TRUJILLO CÓDIGO: 506914**

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTÁ  
2021



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
de Colombia

ELABORÓ: Angie Rodríguez CÓDIGO: 506914

UTILIZACIÓN DE NANOPARTÍCULAS MAGNÉTICAS MULTIFUNCIONALES  
(ZnO@Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) Y OZONO PARA LA DEGRADACIÓN/ELIMINACIÓN DE AZUL DE  
METILENO EN AGUA RESIDUAL.

ELABORADO POR:  
ANGIE TATIANA RODRIGUEZ TRUJILLO CÓDIGO: 506914

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

DIRECTOR

PhD. WILFREDO MARIMON BOLIVAR

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTÁ  
2021



Nota de Aceptación

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

Bogotá D.C. 2021.



## Atribución-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0)

This is a human-readable summary of (and not a substitute for) the [licencia](#). [Advertencia](#).

### Usted es libre de:

**Compartir** — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

**Adaptar** — remezclar, transformar y construir a partir del material

La licenciente no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

### Bajo los siguientes términos:



**Atribución** — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciente.



**NoComercial** — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).

**No hay restricciones adicionales** — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia](#).



## DEDICATORIA

A MIS PADRES, Juan de Dios Orjuela que ahora está en el cielo cuidándome y dándome fuerza para seguir adelante ante cada obstáculo en mi vida y Nancy Esperanza Trujillo que, con sus enseñanzas, sus consejos, su apoyo y su amor incondicional, me han convertido en una mujer con ética y valores intachables. Que con su esfuerzo y dedicación me han permitido cumplir cada una de mis sueños y metas.

A MI HERMANO, Juan Sebastián Orjuela que siempre ha estado en mis momentos más difíciles siempre dándome amor y un apoyo emocional, eres un pilar fundamental en mi vida.

A MI ABUELA, Mónica Guanume por ser la cabeza de mi familia. Por el amor, la ternura, la paz que nos trasmites, porqué con sus oraciones me han llenado de calma y tranquilidad.

Los amos infinitamente agradezco que hagan parte de este proceso tan bonito de convertirme en Ingeniera Civil.



## AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradezco a Dios por darme la fortaleza emocional, la sabiduría el entendimiento que me permitieron terminar mi carrera profesional.

Agradezco a la Universidad Católica de Colombia quien fue mi casa durante cinco años donde aportaron todo el conocimiento necesario para poder hoy terminar mi proceso con éxito. Así mismo, por el esfuerzo y la dedicación que tienen hacia nosotros los estudiantes para facilitarnos el acceso a los laboratorios y demás herramientas que me permitieron culminar con gran satisfacción mi carrera profesional.

Agradezco a mi tutor El Doctor Wilfredo Marimon quien siempre estuvo presente en mi proceso de trabajo de grado guiándome y ayudándome en todos los altercados que se me presentaron, por ser un excelente profesor y tutor que con su conocimiento me facilito la entrega del mismo.

Agradezco Al laboratorista Javier Mendoza por su acompañamiento en los laboratorios que fue de gran importancia para terminar mi proyecto de grado.



## TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE TABLAS .....	10
LISTA DE IMÁGENES .....	10
LISTA DE ILUSTRACIONES.....	11
LISTA DE GRAFICAS .....	11
LISTA DE ANEXOS .....	11
GLOSARIO .....	12
1. INTRODUCCIÓN.....	13
2. FORMULACION Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	16
3. JUSTIFICACIÓN .....	18
4. ESTADO DEL ARTE.....	21
4.1 Referencias Nacionales.....	21
4.2 Referencias Internacionales.....	23
5. ANTECEDENTES .....	25
6. ALCANCE Y LIMITACIONES .....	27
6.1 Alcance .....	27
6.2 Limitaciones .....	27
7. OBJETIVOS.....	28
7.1 OBJETIVO GENERAL.....	28
7.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	28
8. MARCO TEORICO .....	29
8.1 Aguas residuales.....	29
8.2 Tipos de sustancias presentes en los contaminantes .....	32
8.2.1 Microorganismos patógenos .....	32
8.2.2 Desechos orgánicos.....	32
8.2.3 Sustancias químicas inorgánicas.....	32
8.2.4. Nutrientes vegetales inorgánicos .....	32
8.2.5 Compuestos orgánicos .....	33
8. 2.6. Materiales suspendidos y sedimentos.....	33
8.2.7. Sustancias radiactivas .....	33
8.2.8. Contaminación térmica .....	33



8.2.9. Contaminantes orgánicos persistentes.....	34
8.3 Métodos de desinfección de aguas residuales .....	36
8.3.1 Cloración.....	36
8.3.2 Ultravioleta.....	37
8.3.3 Ácido peracético (APA).....	37
8.3.4 Ozonización.....	37
8.3 Proceso de ozonización .....	40
8.4.1 Generación de ozono.....	40
8.4 Nanotecnología .....	42
8.6. Nanopartículas de ZnO .....	45
8.7 Nanopartículas De Magnetita .....	46
8.8 Factores que Influyen el proceso de Adsorción .....	47
9. MARCO CONCEPTUAL .....	48
10. MARCO LEGAL .....	49
11. METODOLOGIA.....	50
11.1 GENERALIDADES .....	50
11.1.2 Diseño De Investigación .....	50
11.1.3 Enfoque De La Investigación .....	50
11.2 METODOLOGÍA GRAFICA .....	51
11.3 SINTEISIS DE LA MUESTRA .....	51
11.3.1 Síntesis de la muestra de agua residual .....	51
11.3.2 Síntesis de nano partículas de óxido de zinc .....	53
11.3.4 Síntesis de nano partículas de (ZnO@Fe3O4 .....	54
11.3.5 Caracterización Nanopartículas ZnO-óxido de zinc .....	54
11.3.6 Caracterización Nanopartículas (Fe3O4) .....	55
11.3.7 Efecto del pH de la solución.....	56
11. 3.8 Efecto de la dosis de Adsorbente en la adsorción .....	56
11.3.9 Efecto de la temperatura.....	56
11.4 Modelación cinética e isotermas.....	56
15. Ecuaciones .....	58
15.1 Cinética Lineal .....	58
15.2 Isotermas de adsorción.....	58





15.3 Eficiencia de eliminación (E) % .....	59
15.4 Capacidad De Adsorción (qe) .....	59
15.5 Aplicación a escala .....	59
12. RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS .....	60
12.1 Síntesis de la muestra sintética de agua residual .....	60
12.2 características físico-químicas de agua residual sintética .....	60
12.3 Síntesis de nano partículas magnéticas con óxido de zinc .....	63
12.4 Caracterización .....	63
12.4. FTIR.....	63
12.5 XRD .....	65
12.7 Ensayo de adsorción .....	67
12.7.1 pH .....	67
12.8 Efecto del tiempo en la concentración de Nanoparticulas ZnO@Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> .....	68
12.10 Efecto de la cantidad de Nanoparticulas en nuestra agua residual sintética. ....	73
Isotermas de adsorción .....	73
12.11 Máxima capacidad de adsorción de alguno adsorbentes. ....	75
12.12 Efecto de combinación con ozono .....	76
12.13 Comparación características fisicoquímicas de agua residual después de tratamiento con ozono y ZnO@Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> .....	78
13. APLICACIÓN A ESCALA EN AGUAS RESIDUALES PARA ELIMINAR AZUL DE METILENO .....	81
14. RECOMENDACIONES.....	82
15. CONCLUSIONES.....	83
17. ANEXOS .....	84
18 . BIBLIOGRAFIA .....	86



## LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Tecnologías Avanzadas de Oxidación. ....	15
Tabla 2. Características de aguas residuales y fuentes de origen.....	31
Tabla 3. Grado de contaminantes en aguas residuales .....	35
Tabla 4. Propiedades del Ozono . ....	38
Tabla 5. Valores de concentración por tiempo (CT) para una desactivación del 99% de los microorganismos a 5 C. ....	38
Tabla 6. Capacidad desinfectante de los distintos agentes químicos .....	39
Tabla 7. Marco legal.....	49
Tabla 8. Componentes para sintetizar agua residual. ....	52
Tabla 9. Parámetros a evaluar. ....	53
Tabla 10. Modelos de isotermas de adsorción.....	57
Tabla 11. Modelos Cinética de adsorción.....	57
Tabla 12. Características físico-químicas agua residual sintética. ....	61
Tabla 13. Dilución azul de metileno.....	62
Tabla 14. Valores adsorción-variante pH. ....	67
Tabla 15. Concentración final. ....	69
Tabla 16. Tabla resumen Modelos de cinética de adsorción. ....	72
Tabla 17. Tabla Resumen Modelos isotermas.....	75
Tabla 18. Comparación de capacidad de adsorción entre algunos absorbentes .....	75
Tabla 19. Cuadro comparativo de características fisicoquímico .....	79

## LISTA DE IMÁGENES

Imanen No.1 compuestos orgánicos. Fuente Colbachenlinea.....	33
Imanen No.2 Compuestos orgánicos persistentes.....	34
Imagen No.3 Proceso general utilizado en el tratamiento de aguas con ozono (adaptado de Deininger, R. 1998) .....	39
Imagen No.4 Proceso de ozonización (Adaptada de E. Almeida, 2004.....	40
Imagen No.5 lámpara para efecto corona (Adaptado de CDTI (2016)) .....	41
Imagen No.6 Producción de ozono (Adaptada de Santiago, E.B, 2005) .....	42
Imagen No.7 Escala manométrica (Castro & Brito, 2012) .....	43
Imagen No.8 Enfoques de la nanotecnología Fuente. (Colonia, 2013) .....	44
Imagen No. 9 Nanotecnología para el tratamiento de agua (Adaptada de Corporación Ruta N (2016)) .....	44
Imagen No.10 Ilustración nanopartículas ZnO Fuente. (García, 2016) .....	45
Imagen No.11 Ilustración Estructura de espinela inversa de Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> .....	46



Imagen No.12 Marco Conceptual.....	48
Imagen No.13 Metodología. ....	51

#### LISTA DE ILUSTRACIONES


Ilustración No.1 Recuento procedimiento caracterización de agua sintética residual.....	60
Ilustración No.2 Recuento ensayos de caracterización físico-química agua residual sintética.....	61
Ilustración No.3 Recuento ensayos de caracterización físico-química agua residual sintética.....	63
Ilustración No.4 Toma de pH con pH-metro.....	67
Ilustración No.5 Agua residual con diferentes cantidades de Nanoparticulas.....	73
Ilustración No.6 Test de jarras con Ozono.....	76
Ilustración No.7 Diferencias de colores entre el agua residual sintética.....	79

#### LISTA DE GRAFICAS

Grafica No.1 Curva absorbancia azul de metileno.....	62
Grafica No.2 Espectros FTIR d ZO@Fe3O4.....	64
Grafica No.3 Diafragtograma ZnO@Fe3O4.....	65
Grafica No.4 Curva comparativa e saturación magnética .....	66
Grafica No.5 Comportamiento de la adsorción variando el pH.....	68
Grafica No.6 Efecto del tiempo en la concentración de nanoparticulas.....	69
Grafica No.7 Modelo de cinetica de adsorción pesado primer orden.....	70
Grafica No.8 Modelo de cinetica de adsorción pesado segundo orden.....	71
Grafica No.9 Modelo de cinética de adsorción Elotico.....	71
Grafica No.10 Modelo de cinética de adsorción intraparticular.....	72
Grafica No.11 Dosis de adsorbente.....	73
Grafica No.12 Modelo Isotermas Langumuir.....	74
Grafica No.13Modelo isotermas Frenduich.....	74
Grafica No.14 Porcentaje de remoción.....	77
Grafica No.15 Concentracion de azul de metileno.....	77
Grafica No.16 Porcentaje de remoción respecto al tiempo.....	78

#### LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. formato de prácticas de laboratorio.....	85
---------------------------------------------------	----

 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia	FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL	ELABORÓ: <u>Angie Rodríguez</u> CÓDIGO: <u>506914</u>
		DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO BOLIVAR</u> Director del proyecto de investigación

## GLOSARIO

**NANOMATERIALES:** son un producto nanotecnológico de creciente importancia. Contienen nanopartículas, de un tamaño que no supera los 100 nanómetros al menos en una dimensión.

**NANOPARTICULA:** Una nanopartícula (nanopolvo, nanoracimo, o nanocrystal) es una partícula que posee las tres dimensiones menores que 100 nm. . Las partículas finas están entre los 100 y 2,500 nanómetros.

**AGUA RESIDUAL:** Son cualquier tipo de agua cuya calidad está afectada negativamente por la influencia antropogénica. Se trata de agua que no tiene valor inmediato para el fin para el que se utilizó ni para el propósito para el que se produjo debido a su calidad, cantidad o al momento en que se dispone de ella.


**OZONO:** El ozono es un gas incoloro e inestable de tres átomos de oxígeno (su fórmula química es O<sub>3</sub>), además, es un oxidante fuerte, muy fácil de producir, pero a la vez muy frágil y fácil de destruir.

**COMPUESTO ORGANICO:** Son aquellos que proceden de los seres vivos, es decir, son compuestos de origen biológico, los cuales se caracterizan por tener carbono como elemento principal.

**CONTAMINANTES PERSISTENTES:** Son sustancias químicas tóxicas, resistentes a la degradación, que se acumulan en tejidos de seres vivos y que pueden transportarse a gran distancia de la fuente, rasgos que suponen una amenaza global para la salud humana y el medio ambiente.

**ABSORCION:** Es un fenómeno físico que implica la difusión de masa en el que uno o más componentes de una mezcla gaseosa se disuelven en un líquido. No implica cambios químicos, por lo que es reversible.

**ADSORCION:** Es un fenómeno físico, en donde un compuesto en fase líquida o gaseosa entra en contacto con un sólido adsorbente y se adhiere a la superficie del mismo, mediante una fuerza física (fuerza de dispersión de London), este proceso no implica intercambio de electrones, lo que lo hace reversible.

 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia	FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL	ELABORÓ: <u>Angie Rodríguez</u> CÓDIGO: <u>506914</u>
		DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO BOLIVAR</u> Director del proyecto de investigación

## 1. INTRODUCCIÓN

Según la ONU “actualmente se estima que todavía hay 768 millones de personas en el mundo que no cuentan con acceso a fuentes de agua potable o que haya pasado por algún proceso de purificación, aunque según algunas estimaciones, la cantidad de personas cuyo derecho al agua no se satisface podría llegar hasta 3.500 millones, y 2.500 millones siguen sin acceso a un saneamiento mejorado.” (ONU, 18 marzo 2019)

El agua salubre y de fácil acceso es de gran importancia para la salud pública, que sea utilizada para uso doméstico como para tomar, en la preparación de los alimentos o incluso para fines recreativos. Si se mejora el abastecimiento de agua, del saneamiento y la gestión de los recursos hídricos se puede aportar potencialmente en el crecimiento económico de los países y contribuir en la reducción de la pobreza.

En el 2010 reconoció el derecho humano al abastecimiento de agua y al saneamiento por la Asamblea General de las Naciones Unidas en el 2010. El cual dice “Todas y cada una las para personas en el mundo tienen el derecho a disponer de forma constante agua salubre de una calidad aceptable que sea suficiente, para abastecer sus necesidades de uso personal y doméstico, que sea físicamente accesible y asequible”. (OMS, 14 de junio de 2019)

La contaminación en aguas superficiales como también en aguas subterráneas se produce como resultado de la intervención del hombre en las mismas, en la que se introducen sustancias o compuestos que modifican su composición físico-química deteriorando su calidad convirtiéndola total o parcialmente inadecuada para el consumo humano.

Es fundamental conocer el origen y anticiparse a los posibles desastres medioambientales así previniendo los efectos que estos podrían causar como el deterioro en la calidad del agua.

Se debe recalcar la importancia de tratar adecuadamente las aguas residuales después del uso dado ya sea doméstico, comercial o industrial, ya que sus características físico-químicas han sido modificadas y al verterlas a un curso de agua no contaminadas se pone en riesgo el ecosistema acuático y esto traería la transmisión de posibles enfermedades. (Soluciones Medioambientales y Aguas, S.A ,20 de noviembre 2015)

La presencia de agentes patógenos que son entidades biológicas como bacterias, paracitos y virus son causantes de la contaminación en el agua estos agentes son capaces de causar enfermedades en los humanos incluso en las plantas, vegetales y animales.

Por otro lado, los Compuestos químicos orgánicos que son como su nombre lo indica son sustancias químicas que contienen carbono y han sido elaboradas o fabricadas por el hombre



como lo es el petróleo, la gasolina, los plásticos, los detergentes y los plaguicidas. (Soluciones Medioambientales y Aguas, S.A ,20 de noviembre 2015)

Según Weinberg en la guía para la ONG nos dice que Los contaminantes orgánicos persistentes (COP) son una clase de contaminantes químicos de alta persistencia que son reconocidos como una amenaza para la salud humana y el ecosistema a nivel mundial.

Algunos de estos contaminantes orgánicos persistentes son sustancias químicas utilizados en la industria, otros son subproductos de algunos procesos de combustión, otros son plaguicidas algunos ejemplos de estos COP son los PCB, Las dioxinas y los DDT. (Weinberg, 2009)

Existe evidencia medica que vincula los COP con enfermedades y discapacidades humanas como lo son tumores y cáncer de páncreas, la aparición de leucemia, algunas alteraciones neurológicas, tales como problemas de déficit de atención, conductas de agresividad, el deterioro en la memoria, sarcomas en tejidos blandos, supresión inmunológica; periodos de lactancia más cortos alteraciones menstruales, abortos espontáneos, partos prematuros, alteraciones reproductivas que incluyen esperma anormal , entre otras enfermedades, incluyendo una mayor incidencia de diabetes tipo II, endometriosis, hepatitis y cirrosis. (Weinberg, 2009)

El desarrollo de nuevas tecnologías para la descontaminación y la purificación de agua de diferentes orígenes se ha incrementado potencialmente ya que demanda de esta aumenta año tras año y las leyes que regulan de estos procesos son más estrictos al pasar el tiempo.

Los avances en el tratamiento químico en aguas residuales se están llevando a cabo procesos denominados como (PAOs) Procesos avanzados de oxidación para contaminantes acuosos de difícil degradación, Se reconoció en principios de 1970. los avances de oxidación han demostrado excelentes potenciales tratamientos descontaminantes en concentraciones bajas y altas han encontrado aplicaciones tan diversas como la destrucción y control de COV, el tratamiento de aguas subterráneas, lodos de aguas residuales.

Se debe tener en cuenta el origen, sus propiedades físico-químicas y la naturaleza de los efluentes a tratar para así saber con certeza la aplicabilidad de los métodos a utilizar.

Los efluentes contaminados por actividades humanas pueden, ser procesadas eficazmente por plantas de tratamiento biológico, por tratamientos químicos convencionales (Permanganato de potasio, ozonización, oxidación térmica, cloración, etc.) por adsorción con carbón activado u otros. (Guía para las ONG sobre los Contaminantes Orgánicos Persistentes 2009)

Sin embargo, en algunos casos estos procedimientos resultan ineficientes ya que no alcanzan el grado de potabilidad que por ley se exige para un efluente de uso doméstico, En estos casos y cada vez más regularmente ,En países industrializados se recurre las llamadas Tecnologías




o Procesos Avanzados de Oxidación ( PAOs), que son muy poco difundidos y peor aún muy poco aplicados en los países de América Latina. La mayoría de las PAOs puede aplicarse a la remediación y destoxificación de aguas especiales, generalmente en pequeña o mediana escala. Estos métodos pueden usarse con métodos convencionales, solos o combinados entre ellos, pudiendo ser aplicados también a contaminantes de aire y suelos. Permiten incluso la desinfección por inactivación de agentes patógenos como bacterias y virus.

La tabla a continuación es la clasificación de procesos no fotoquímicos y procesos fotoquímicos en Procesos avanzados de oxidación.

*Tabla 1 Tecnologías Avanzadas de Oxidación.*

<b>Tecnologías Avanzadas de Oxidación</b>	
<b>Procesos No Fotoquímicos</b>	<b>Procesos Fotoquímicos</b>
Ozonización en medio alcalino (O <sub>3</sub> -OH)	Oxidación en agua sub y supercrítica
Ozonización con peróxido de hidrogeno (O <sub>3</sub> -H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	Procesos fotoquímicos
	Fotólisis del agua en el ultravioleta de vacío (UVV)
Procesos Fenton (Fe <sup>2+</sup> -H <sub>2</sub> O) y relacionados	UV/Peróxido de hidrogeno
Oxidación electroquímica	UV/O <sub>3</sub>
Radiólisis y tratamiento con haces de electrones	Foto-Fenton y relacionados
Plasma no terminico	Fotólisis heterogenea
Descarga electrohidraulica-Ultrasonido	

**Fuente.** Adaptada de Domènech, Jardim y. Litter,2004.

 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia	FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL	ELABORÓ: <u>Angie Rodríguez</u> CÓDIGO: <u>506914</u>
		DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO BOLIVAR</u> Director del proyecto de investigación

## 2. FORMULACION Y PLANTEAMEAMIENTO DEL PROBLEMA

En los últimos tiempos ha aumentado en un 1% y se espera que la demanda mundial de agua potable aumente de forma continua hasta el año 2050 y después aumente potencialmente desde un 20% a un 30% del nivel actual de uso de agua esto por el aumento de demanda en la industria doméstica, comercial e industrial, esto debido al incremento exponencial en la población, el cambio en los modelos de consumo y el desarrollo socioeconómico

La escasez de agua seguirá aumentando de manera proporcional al crecimiento en la demanda del agua y se acrecienten los efectos del cambio climático se sabe que más de 4.000 millones de personas padecen una grave escasez de agua durante al menos un mes al año y aproximadamente 2.000 millones de personas habitan en países que se ven agobiadas por la escasez de agua, en la medida en que la abundancia y la escasez son construcciones sociales, el agua puede ser transferida fuera de los lugares que ya están sufriendo de estrés hídrico para satisfacer las necesidades de usuarios del agua más privilegiados.

La disponibilidad del agua no solo depende de la cantidad si no de su calidad. Puede que haya disponibilidad de agua suficiente, pero si se encuentra contaminada o en una condición tal que sea no acorde al uso que se le quiere dar, así que su empleo se limita.

La acción y el efecto de introducir sustancias de modo directo o indirecto que puedan alterar o perjudicar la calidad del efluente se le llama contaminación, la contaminación de los acuíferos y de los ríos tienen origen en las acciones como lo son aguas pluviales, lluvias, escorrentía agrícola que son aguas arrastradas de terrenos irrigados, escorrentía superficial de zonas urbanizadas agua arrastradas de centros urbanos, vertidos de agua procedentes del uso doméstico, descarga de vertidos industriales, agua proveniente de procesos industrializados

En muchos países en vía de desarrollo solo una fracción de menos del 5% se tratan las aguas residuales provenientes de áreas urbanas, domesticas o de industria para posteriormente verterse a los efluentes naturales en el medio ambiente. (WWAP, 2017).

En todo el mundo aproximadamente del 70% al 80% de todas las aguas residuales se vierten al medio ambiente sin ningún tipo de proceso que mitigue este impacto ambiental.

En los grupos más vulnerables y desfavorecidos en todo el mundo, especialmente en las poblaciones de bajos recursos o pobreza extrema se ven más fuertemente afectados por las enfermedades que acarrear los efluentes contaminados





UNIVERSIDAD CATÓLICA  
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL


ELABORÓ: Angie Rodríguez CÓDIGO: 506914

DIRECTOR:  
PhD. WILFREDO BOLIVAR  
Director del proyecto de investigación

En la actualidad, Con las nuevas tecnologías y los nuevos avances científicos se han desarrollado técnicas y procesos capaces de identificar y de eliminar una extensa lista de compuestos, a tal punto que es posible hacer agua “potable”.

Se ha aplicado exitosamente el ozono en la remoción de contaminantes bacterianos en aguas residuales ya que el ozono es un poderoso oxidante, donde se ve un mejoramiento en el color, el gusto y sus características físicas de filtración y biodegradabilidad.

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente se plantea la pregunta *¿la combinación de ozono y nanopartículas de  $ZnO@Fe_3O_4$  es eficiente a la hora de remover compuestos orgánicos persistentes en agua residual? ¿Qué tan eficiente es?*

 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia	FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL	ELABORÓ: <u>Angie Rodríguez</u> CÓDIGO: <u>506914</u>
		DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO BOLIVAR</u> Director del proyecto de investigación

### 3. JUSTIFICACIÓN

La demanda mundial de agua ha venido aumentando y seguirá este incremento de manera significativa en función del desarrollo económico, los cambios en los estándares de consumo, el aumento de población, entre muchos otros factores. La demanda de agua que genera la zona industrial y doméstica es mucha mayor y a un mayor aumento que la demanda de la zona agrícola, aunque el sector agrícola seguirá siendo el principal consumidor de agua en el mundo. La gran mayoría del aumento en la demanda del agua se producirá en países con economías emergentes o en desarrollo. Además, el cambio climático juega un papel importante en el ciclo global del agua debido a que a las regiones más húmedas se están volviendo aún más húmedas y esto genera inundaciones y las regiones secas se están volviendo aún más secas que esto general la extinción de algunas especies. En la actualidad, se estima que más de la mitad de la población mundial unos 3.600 millones de habitantes están en riesgo de vivir en áreas con escasez de agua al menos un mes al año, y estas poblaciones podría llegar a alcanzar entre 4.800 millones y 5.700 millones en el año 2050.

A partir de los años 90, la contaminación del agua a empeorar exponencialmente en casi todos los ríos de África, Asia y América Latina. En las próximas décadas se espera que la calidad del agua se deteriore aún más, lo que es una constante amenaza para la salud humana, el desarrollo sostenible y el medio ambiente.

A nivel mundial el desafío más grande y con más frecuente que se enfrenta en cuanto a la calidad del agua es la carga de nutrientes o su carga de patógenos de carácter bacteriano o virulento, Además de miles de productos químicos que pueden afectan la calidad del agua.

Según el informe de la OMS UNICEF informo que el año 2015 el 65% de la población de América Latina y el Caribe contaba con acceso a servicios hídricos gestionados de forma segura, pero tan solo el 22% a servicios de saneamiento gestionados de forma segura. (OMS/UNICEF, 2017). Esto quiere decir que además de faltar el 35% de las poblaciones de américa latina y el caribe por contar con servicios hídricos falta el 88% por servicio de saneamiento es una cifra alarmantemente alta.

A el 2015 el 96% de la población utilizaba como mínimo un servicio de agua básico, y el 86% de la población poseen un servicio de saneamiento básico (OMS/UNICEF, 2017).

En las zonas rurales los niveles de suministro de agua y servicios de saneamiento son significativamente más bajos que en las áreas urbanas. En cuanto al acceso como mínimo a un servicio básico la diferencia entre las zonas urbanas y rurales es del 13% para el suministro de agua y del 22% para los servicios de saneamiento (OMS/UNICEF, 2017)



El gastroenterólogo Ángel Alberto Castro menciona que los compuestos orgánicos son sustancias químicas que contienen carbono. Existen de dos tipos de compuestos orgánicos: que son los compuestos naturales, que son elaborados por los seres vivos tratados en los apartados materia orgánica e hidrocarburos y esta el tipo de forma artificial, que han sido fabricados o sintetizados por el hombre, como los plásticos. En aguas residuales se encuentran compuestos orgánicos contaminantes como, detergentes, colorantes fenoles y pesticidas, entre otros.

Se evidencian dos tipos de tecnologías que han sido desarrolladas para tratar materiales orgánicos en el agua: fisicoquímicas como, filtración, adsorción, intercambio iónico, electrólisis filtración por membranas y biológicas, sean por vía aeróbica o anaeróbica esto quiere decir con presencia o ausencia de oxígeno.

Y se tiene la Ósmosis Inversa es un procedimiento en el cual se fuerza al agua a pasar a través de una membrana semi-permeable, desde una solución con más concentración de sales disueltas u otros contaminantes a una solución menos concentrada, mediante la aplicación de presión.

Las dificultades al usar este procedimiento es que las unidades solo pueden hacer unos pocos galones de agua al día, por lo que requieren un tanque de almacenamiento que ocupa espacio y necesita mantenimiento, tiene una alta tasa de desperdicio de tres a diez galones de agua por cada galón de agua tratada. La eficiencia de la membrana puede degradarse debido al ataque de algunos contaminantes y los daños en las membranas son difíciles de detectar, lo que puede ocasionar que el agua no tratada fluya a través del sistema.

Mediante el sistema de filtración se van a obtener la eliminación de los sedimentos sólidos que van a encontrar suspendidos en el agua. El filtro solamente va a atrapar las partículas grandes como lo son ramas, puede ser la tierra, la arena y otro tipo de desecho orgánica. Se debe tener en cuenta que la filtración no va a retirar sales minerales, o cal la que puedan estar disueltas en el agua. Este sistema de purificación de agua solo se recomienda para las aguas que tengan poco contenido de sales y minerales, es decir, aguas blandas o poco duras. Es de gran importancia iniciar con el procedimiento de filtración del agua en el proceso de purificación y potabilización, ya que así se eliminar las partículas grandes que pueden ensuciar los demás equipos utilizados en el resto de las etapas de purificación.

El ozono en una solución acuosa como el agua puede reaccionar de forma eficaz combatiendo la mayoría de los contaminantes que están presentes en las aguas residuales industriales y domésticas. Además de ser el tratamiento de potabilización que menos residuos orgánicos deja en el agua. El contaminante se va transformando y a su vez destruyendo hasta que se mineraliza

por lo general, no se generan subproductos que posteriormente requieran procesamiento.



Para los contaminantes refractarios que suelen resistir a otros métodos de tratamiento son de gran utilidad, ya que aumentan la biodegradabilidad es ideal para preparar las corrientes a tratamientos convencionales.


La nanotecnología, y en específico, los nanomateriales que son materiales con propiedades morfológicas más pequeñas que un micrómetro en al menos una dimensión, pueden ayudar a resolver los inconvenientes con los que se encuentran los sistemas actuales de tratamiento de las aguas: desinfección, potabilización, depuración, desalinización, etc. Estos estudios se centran, de manera general, en estos cuatro principios :

- Los nanomateriales se pueden utilizar como adsorbentes
- las membranas se pueden utilizar como nanomateriales
- Para fotocatalisis se pueden utilizar nanoparticulas católicas
- Los usos de nanomateriales como sensores de la calidad del agua

Los nanomateriales permiten retener una mayor tasa de contaminantes que los adsorbentes convencionales gracias a la reactividad de la superficie y a su gran área superficial, Por otro lado, la utilización de nanomateriales poliméricas permite aumentar la permeabilidad de las membranas, mejorar su selectividad, y con este adquiere superficies más resistentes al ensuciamiento (fouling y scaling), reduciendo con ello el consumo de energía. Sin mencionar que los nanomateriales presentan una alta fotoactividad, destacando las nanopartículas catalíticas de dióxido de titanio, permitiendo así tasas de eliminación de contaminantes más altas a las de los productos catalíticos comerciales. Como sensores, los nanomateriales presentan maravillosas propiedades luminiscentes que permiten su uso como sondas ópticas, presentando una mayor fluorescencia que los sensores tradicionales. (Suarez,2016).

Los nanomateriales que muestran actividades antimicrobianas superiores son los nanotubos de carbono, las nanoparticas de dióxido de titanio o las nanopartículas de plata, que permiten acabar con aquellos microorganismos que no se desean tener en el aguas Además,

los nanomateriales tiene múltiples capacidades de adsorción para eliminar del agua agentes que no se desean tener en ella como lo son metales pesados, disolventes orgánicos, aceites, y contaminantes emergentes que en ocasiones escapan de los sistemas actuales de tratamiento. (Suarez,2016)

 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia	FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL	ELABORÓ: <u>Angie Rodríguez</u> CÓDIGO: <u>506914</u>
		DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO BOLIVAR</u> Director del proyecto de investigación

## 4. ESTADO DEL ARTE

### 4.1 Referencias Nacionales

Los recursos hídricos en Colombia, al igual que en gran parte del mundo, se encuentran bajo un alarmante aumento demográfico, ya que el aumento en la urbanización el incremento en el consumo de agua en los hogares, la industria agricultura, la industria ganadera y el industrialismo han aumentado significativamente el uso global del agua.

En Colombia al menos 6,2 millones de personas recolectan y toman en sus casas agua que representa un inminente riesgo para la salud, y otras 368.000 personas están expuestos a que esta agua contenga altas concentraciones de bacterias fecales, virus, elementos no biológicos, parásitos y, como minerales y sustancias químicas, lo que lo hace que se convierta en un inminente peligro para el consumo humano.

Se ha convertido en un problema a gran escala cuya solución debe aplicarse de la manera más rápida e instantánea que vendría siendo la eliminación efectiva de contaminantes orgánicos de las aguas residuales industriales en los hogares y negocios colombianos.

El primer artículo del cual me referencie pertenece a Henry Casierra, a Jafeth Casalins a Ximena Vargas Ramírez y por ultimo a Aracelly Caselles Osorio, de la Universidad del Atlántico, Colombia (2016) donde hablan acerca de la desinfección de agua residual doméstica mediante un sistema de tratamiento acoplado con fines de reúso

Las nuevas tecnologías avanzadas (AOT) se pueden combinar con los sistemas biológicos ya conocidos para el tratamiento de aguas residuales. Es indispensable evaluar todas las posibles combinaciones de estas tecnologías que sean lo suficientemente eficientes, esto ajustando los diseños y las condiciones de funcionamiento. Este proyecto de investigación se enfatizó en la desinfección de aguas residuales domésticas donde se evalúa el potencial de un sistema de humedales construidos de flujo subterráneo horizontal (HSSF CW) con la combinación de un proceso foto catalítico solar utilizando peróxido de hidrógeno (Solar UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) como alternativa para reutilización de aguas residuales domésticas. Construyeron un foto reactor hecho por tubos de polimetilmetacrilato (PMMA) fue expuesto a la radiación solar UV, operando por lotes, se evaluó la adición de peróxido de hidrogeno y el efecto de fotolisis. Se aplicaron dosis de 3, 30 y 300 mg l<sup>-1</sup> de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Los factores que se evaluaron fue la eficiencia de remoción de coliformes totales y fecales se consideraron la radiación ultravioleta, la dosis de peróxido de hidrógeno y el tratamiento con HSSF CW.

Los resultados ante este ensayo fue que se obtienen una grado de desinfección del 99.99% cuando el sistema biológico esta acoplado por un tiempo de retención mínimo de 3 días y 5 horas en el fotoreactor.




El segundo artículo que me base para mi investigación fue elaborado por de Freddy L. Alfonso Moreno, Mónica Z., Sara Mendoza Urrea, William pulido, publicado en el año 2015 donde nos hablan sobre la propuesta de diseño para un sistema de tratamiento y reutilización de efluentes textiles combinando tecnologías convencionales con el proceso de oxidación avanzada ( $O_3 / H_2 O_2 / UV$ )

Se propuso un sistema de tratamiento de aguas residuales aplicado a una industria textil ubicada en Bogotá, en donde se combinan tecnologías de oxidación avanzada (TOA). Se generó un sistema de tres etapas: la etapa de pretratamiento, que consiste en un proceso de cribado, un vertedero de inspección, un tanque de homogeneización y regulación del caudal, y por ultimo una torre de enfriamiento; En el tratamiento primario se encuentra el proceso de coagulación-floculación con una posterior clarificación o sedimentación primaria; y por ultimo de tratamiento terciario, Se hace una revisión bibliográfica definiendo el proceso de ( $O_3/H_2O_2/UV$ ) como la mejor opción para tratar y eliminar colorantes sintéticos complejos utilizados en la industria textil .

Como resultados de esta infestación la eliminación de coliformes totales y fecales fue de 99.99% en el sistema acoplado, mostrando un efecto sinérgico del acoplamiento de ambos sistemas.

El tercer documento que me sirvió de guía para mi investigación fue la tesis de María Umbarila, Juan Prado y Rafael Agudelo publicado en el año 2019 que nos habla acerca de la eliminación de sulfuro empleando ozono como agente oxidante en aguas residuales, provenientes del proceso de pelambre o depilado de pieles. Los variables que se tuvieron en cuenta fue el efecto del pH inicial sobre el proceso de remoción, el pH del agua a tratar se varió entre un rango de 10 a 13, La otra variable que se tuvo en cuenta fue el tiempo de exposición con ozono en una dosificación de  $0,5 \text{ g h}^{-1}$  por un periodo de 3 horas tomando muestras cada 30 minutos. para este proyecto se utilizaron dos tipos de agua el agua residual, suministrada por una curtiembre y agua residual sintética, con el fin de comparar la remoción alcanzada en cada caso. Como resultados se obtuvo que la mayor remoción se logró a pH 11 en el agua residual real, alcanzando un valor de 77,78%, aproximadamente 39% superior al alcanzado al mismo pH para el agua residual sintética. Después de cada ensayo se presentó una disminución en el pH, lo cual confirma lo que químicamente debería suceder, formación de  $H_2SO_4$  por la oxidación de sulfuros a sulfatos. Finalmente, se llegó a la conclusión que esta técnica de remoción es más eficiente para pH alcalinos, permitiendo reducir tiempos de oxidación y convirtiéndose en una alternativa viable para aplicar en la industria del curtido de pieles


 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia	FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL	ELABORÓ: <u>Angie Rodríguez</u> CÓDIGO: <u>506914</u>
		DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO BOLIVAR</u> Director del proyecto de investigación

#### 4.2 Referencias Internacionales

El Artículo publicado en el año 2008 por la universidad Grana Hospital real de autoría de rivera Utrilla, José y Sánchez Polo, Manuel España hablan sobre el sistema de eliminación de micro contaminantes orgánicos de las aguas mediante el uso de ozono y carbón activado.

Donde se aprovecha la dosis de carbón activado en polvo, que ya es comúnmente aplicada en el tratamiento de agua potable, para la eliminación de micro contaminantes orgánicos de gran toxicidad se potencio la eficacia depurativa del ozono. Con un sistema que consta de un ozonizador, para favorecer la transferencia de ozono se utilizó un contacto desde la fase gaseosa hasta la fase acuosa, Además de un sensor de ozono en fase acuosa con el propósito de evaluar de forma continua la concentración de ozono en el reactor, una bomba peristáltica para bombear el agua a través del reactor en columna, un depósito de carbón activado con una válvula para controlar la dosis de carbón adicionada al sistema y, finalmente, un sistema de separación de fases, que permita la completa eliminación del carbón activado en polvo adicionado.

En el artículo de J.A.Sánchez Pérez publicado en el 2011 hace una crítica a la combinación de procesos avanzados de oxidación y tratamientos biológicos para la descontaminación de agua residual donde se evidencia la preocupación global que va en aumento día con día sobre el desarrollo de tecnologías que traigan alternativas para la reutilización del agua, principalmente centradas en la agricultura y la industria. En este contexto, los Procesos Avanzados de Oxidación (AOPs) son considerados una tecnología de tratamiento de agua altamente competitiva para la remoción de aquellos contaminantes orgánicos no tratables por técnicas convencionales debido a su alta estabilidad química y / o baja biodegradabilidad. la oxidación química utilizada para la mineralización completa suele ser costosa, se sabe que su combinación con un tratamiento biológico reduce los costos significativamente. En este artículo se tienen en cuenta investigaciones recientes que combinan AOP (como etapa de pretratamiento o postratamiento) y tecnologías de biorremediación para la descontaminación y purificación de una amplia gama de diferentes aguas residuales ya sean industriales sintéticas o reales. También se enfatiza en estudios recientes y esquemas combinados a gran escala desarrollados en países mediterráneos para el tratamiento y reutilización de aguas residuales no biodegradables. Las conclusiones a las que se llegó de la evaluación general de la literatura son que es necesario trabajar más en la cinética de degradación y el modelado del reactor del proceso combinado, y también en la dinámica del ataque inicial a los contaminantes primarios y la generación de especies intermedias. Además, se deben desarrollar mejores modelos económicos para estimar cómo varía el costo de este proceso combinado con las características específicas de las aguas residuales industriales, la

 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia	FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL	ELABORÓ: <b>Angie Rodríguez</b> CÓDIGO: <u>506914</u>
		DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO BOLIVAR</u> Director del proyecto de investigación


eficiencia general de descontaminación y el costo relativo del AOP versus el tratamiento biológico

Otra investigación guía fue la tesis de Cruz Rivera Mosqueda donde se utiliza ZnO para la degradación del triclosan mediante irradiación de luz UV , mediante el proceso de oxidación avanzada (POA) pretende estudiar la degradación del TCS disuelto en agua a través del uso de óxido de zinc (ZnO) como foto catalizador, el cual será activado con luz UV para eliminar el triclosan buscando su completa mineralización.

En este trabajo de investigación se llegó a la conclusión que es eficiente la modificación de % nanoaglomerados de ZnO con nanopartículas de plata, a unos porcentajes óptimos de 2%, 4% y 6 % en peso mediante la foto irradiación y la impregnación, obteniéndose materiales en donde la plata permanece en el ZnO.

El último artículo que tuve en cuenta en mi investigación fue acerca de la alternativa para tratamiento de agua residual con Nanotecnología además de que menciona los avances, las ventajas y Desventajas del mismo elaborado por Chávez Georgina Aurelia proveniente de la ciudad de Bolivia publicado en el año 2018 ,donde se resalta la importancia de la nanotecnología en el cuidado de fuentes hídricas, nos brinda un conocimiento básico de nanociencia, nanotecnología, el cómo las nanopartículas pueden ser usadas efectivamente en el tratamiento de aguas residuales, haciendo énfasis en su utilidad en el sistemas de desalinización. También describe las propiedades de los nanomateriales utilizados para desinfección de aguas, en el desarrollo de sistemas de filtración por membrana describiendo las características de estas, En el sistema de catálisis y nanocatálisis y en el proceso de oxidativos avanzados se utiliza nanopartículas nanocatálisis. Además de brindar un panorama acerca del uso de las nanotecnologías en tratamiento de aguas residuales a nivel mundial. -Para finalizar se mencionan los efectos dañinos de las nanopartículas y nanomateriales en ecosistemas acuáticos.



 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia	FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL	ELABORÓ: <b>Angie Rodríguez</b> CÓDIGO: <u>506914</u>
		DIRECTOR: <b>PhD. WILFREDO BOLIVAR</b> Director del proyecto de investigación

## 5. ANTECEDENTES

En el grupo de investigación o Semillero Nanotecnología, Se desarrollaron estos trabajos investigativos por parte de los estudiantes de la Universidad Católica de Colombia que me ha servido de textos base para mi investigación

El primero trabajo de investigación de Medina y Nieto publicado en el año 2019 busca implementar las nano partículas de arcilla para utilizarlas posteriormente para potabilizar el agua proveniente del rio cauca, esto con el fin de prevenir posibles contaminantes emergentes que se puedan producir de manera imprevista en un procedimiento convencional

Los resultados de las nano partículas de arcilla modificadas magnéticamente en procesos de adsorción con el mercurio, se tuvo un efecto positivo respecto a su remoción y eliminación de los contaminantes , garantizando la eficiencia de este material creado, lo cual promueve la implementación de este compuesto en procesos de potabilización de agua. (Medina & Nieto,2019)

El segundo trabajo de investigación realizado por Garcia y Escobar publicado en el año 2019 busco optimizar de un sistema de filtración con la utilización de nanomateriales para mejorar de los índices de calidad del agua a tratar. En donde se pretendía reducir los parámetros fisicoquímicos que determinan la calidad del agua comparando los resultados obtenidos en la filtración mediante el carbón activado estándar y modificado con nanopartículas magnéticas donde se tuvo en cuenta dos muestras de agua, agua lluvia y agua contaminada. Esto con el fin de poder comparar los resultados al utilizar o no utilizar nanoparticas y si depende de tipo de efluente a tratar.

Donde se realizó la síntesis y caracterización del carbón activado con el fin de impregnar las nanopartículas al carbón activado y determinar qué porcentaje de carbón activado, nanopartículas magnéticas y otros elementos se encontraban en la muestra, se determinaron los parámetros fisicoquímicos de cada muestra de agua en sus condiciones iniciales, después del proceso de coagulación-floculación y después del proceso de filtración mediante el carbón activado estándar y el modificado con las nanopartículas con el fin de determinar que parámetros fisicoquímicos se redujeron y el índice de calidad del agua para cada muestra.

Como resultados en esta investigación se obtuvo una reducción entre 65% al 90% en los parámetros de turbiedad, color y solidos totales, de igual manera los valores del índice de calidad del agua para cada muestra se encuentran en un valor 0,865 lo cual significa que las muestras sometidas a procesos de carbón activado con nanopartículas magnéticas son aceptables. (García & Escobar,2019)

Por último, la investigación de Blaguera y cruz publicadas en el 2019 donde se utilizó nano partículas magnéticas para modificar la coagulación para proceso de tratamiento de agua



**UNIVERSIDAD CATÓLICA**  
de Colombia


FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

ELABORÓ: **Angie Rodríguez** CÓDIGO: 506914

DIRECTOR:  
PhD. WILFREDO BOLIVAR  
Director del proyecto de investigación

lluvia donde se evaluó la efectividad de nano partículas magnéticas verdes en la modificación de un coagulante para el proceso del tren de coagulación, floculación y sedimentación para tratamientos de aguas lluvias.

Donde se llegó a conclusión que pese a la disminución de turbidez en la muestra de nanopartículas con el paso del tiempo, el dato final obtenido no es mejor o más óptimo en comparación con la muestra de solamente coagulante. (Balaguera&Cruz,2019)

 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia	FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL 	ELABORÓ: <b>Angie Rodríguez</b> CÓDIGO: <u>506914</u> DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO BOLIVAR</u> Director del proyecto de investigación
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

## 6. ALCANCE Y LIMITACIONES

### 6.1 Alcance


Al tener la aprobación del anteproyecto para el trabajo de grado, se llevó a cabo las competencias necesarias para cumplir con los objetivos de esta investigación, la cual consiste en evaluar la eficiencia de la combinación de ozono y ZnO-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> para remover el compuesto azul de metileno (C<sub>16</sub>H<sub>18</sub>CIN<sub>3</sub>S)

### 6.2 Limitaciones

El retraso en la reapertura de los laboratorios de la Universidad Católica de Colombia fue la mayor limitante de este proyecto de investigación ya que los cupos eran limitados con horarios muy estrictos no había flexibilización en cambiar horarios.

Esto generó una demora en la entrega del documento final a los evaluadores que implica menor tiempo para hacer las correcciones pertinentes.

Se implementaron ciertas estrategias para culminar con éxito este proyecto de grado como lo fue ampliar el plazo de entrega del documento final del proyecto de grado y en caso de necesitarlo hacer uso de programas de modelación para datos faltantes.

 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia	FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL 	ELABORÓ: <b>Angie Rodríguez</b> CÓDIGO: <u>506914</u> DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO BOLIVAR</u> Director del proyecto de investigación
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

## 7. OBJETIVOS

### 7.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la eficiencia en la combinación de ozono y nanopartículas de ZnO@Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> para remover compuestos orgánicos persistentes en aguas residuales industriales.

### 7.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar las características fisicoquímicas de agua residual sintética.
- Producir y caracterizar las nano partículas magnéticas de óxido de zinc
- Evaluar la capacidad de eliminación de los compuestos orgánicos persistentes con ozono y ZnO@Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticulado.



## 8. MARCO TEORICO

### 8.1 Aguas residuales

Existen muchas variables en razón de los diversos factores que componen las aguas residuales. Entre estos se puede contemplar el consumo promedio de agua por diario que afecta su concentración cantidad y los hábitos alimenticios de la población que caracteriza su composición química calidad (ESPIGARES GARCÍA M & PÉREZ LÓPEZ J. A.)

La composición de las aguas residuales es aproximadamente en un 99% de agua y en un 1% de sólidos en suspensión, coloidales y disueltos, No se sabe su composición exacta en aguas residuales ya que varía, según las diferentes fuentes y a lo largo del tiempo, el agua sigue siendo, sin duda, su principal componente. Las distintas fuentes de aguas residuales pueden presentar otros tipos de componentes en concentraciones variables. (MONICA GALLARDO,2017)

Se puede clasificar las aguas residuales en dos tipos: De tipo industriales y de tipo municipales. En la mayoría de los casos las aguas residuales industriales requieren tratamiento antes de ser descargadas en el sistema de alcantarillado municipal; como las características de estas aguas residuales cambian de una a otra industria, los procesos de tratamiento son asimismo variables. Muchos de los procesos empleados para tratar aguas residuales municipales se emplean también con las industriales. Existen aguas residuales industriales que tienen características compatibles con las municipales, por lo que se descargan directamente en los sistemas públicos de alcantarillado, pero siempre se debe hacer una verificación que estas aguas residuales sean compatibles, ya que de no serlo se incurriría en contaminar el afluente.

La probabilidad de que las aguas residuales domésticas y municipales contengan altas cargas bacterianas, es elevada ya que la mayoría de las bacterias presentes en las heces humanas no son inherentemente patógenas. No obstante, cuando se produce una infección, un gran número de microorganismos patógenos como bacterias, helmintos y virus, protozoos se propagan en el medio ambiente a través de las heces. Eliminar los agentes patógenos es a menudo uno de los principales objetivos de los sistemas de tratamiento de aguas residuales con el fin de reducir enfermedades y la mortalidad producto de las misma.

Las aguas residuales provenientes de actividades industriales y mineras, como lo es la gestión de los desechos sólidos por ejemplo, lixiviados de vertederos, también pueden contener compuestos orgánicos tóxicos como, bifenilos policlorados (PCB) ,Hidrocarburos, contaminantes orgánicos persistentes (COP), compuestos orgánicos volátiles (COV) y disolventes clorados. Con cantidades muy pequeñas de algunos compuestos orgánicos pueden contaminar grandes masas de agua.

En la publicación de Alvarez,Chicaiza ,Ramirez y ramos en el 2019 nos mencionan que se podría llegar a observa la presencia de restos de fármacos de la misma manera como se



**UNIVERSIDAD CATÓLICA**  
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

ELABORÓ: **Angie Rodríguez** CÓDIGO: 506914

DIRECTOR:  
PhD. WILFREDO BOLIVAR  
Director del proyecto de investigación


encuentran remanentes de distintos tipos de contaminantes en las aguas residuales urbanas, plaguicidas y otras sustancias, las cuales son comúnmente conocidas como contaminantes emergentes (CE), compuestos que son vertidos por el hombre en fuentes de agua y que no se encuentran regulados. Los contaminantes emergentes, también llamados micro contaminantes, Algunos son compuestos químicos producto de las actividades diarias del ser humano, como la higiene personal o el cuidado de la salud, que pueden provocar efectos negativos en el ecosistema, generando alteraciones sobre el medio ambiente. Se trata de sustancias de diferentes orígenes y composiciones químicas de las que se conoce relativamente poco con respecto al impacto que tienen en el ambiente y en el ser humano, sustancias que son reconocidas con el nombre de contaminantes emergentes (Álvarez ,Ramírez; Chicaiza; Ramos,2019).



Tabla 2. Características de aguas residuales y fuentes de origen.

Características	Fuente de Origen
<b>Características Físicas</b>	
Sólidos	Suministro de agua, residuos industriales y domésticos
Temperatura	Residuos Domésticos y Residuos industriales
Color	Residuos Domésticos y Residuos industriales
Olor	Descomposición de residuos líquidos
<b>Características Química Orgánicos</b>	
Proteínas	Residuos Domésticos y Residuos industriales
Carbohidratos	Residuos Domésticos y Residuos industriales
Aceites y grasas	Residuos Domésticos y Residuos industriales y Comerciales
Pesticidas	Residuos agrícolas
<b>Inorgánicos</b>	
pH	Residuos industriales
Cloruros	Suministro de agua, residuos industriales e infiltraciones
Nitrógeno	Residuos agrícolas y domésticos
Fósforo	Suministro de agua y residuos domésticos e industriales
Aufre	Suministro de agua y residuos y domésticos
Tóxicos	Residuos industriales
Metales pesados	Residuos industriales
<b>Gases</b>	
Oxígeno	Suministro de agua e infiltraciones
Hidrógeno sulfurado	Residuos domésticos
Metano	Residuos domésticos
<b>Características Biológicas</b>	
Virus	Residuos domésticos
Bacterias	Residuos domésticos
Protozoarios	Residuos domésticos

Fuente. Adaptada Ricardo Rojas (2002)

 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia	FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL	ELABORÓ: <u>Angie Rodríguez</u> CÓDIGO: <u>506914</u>
		DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO BOLIVAR</u> Director del proyecto de investigación

## 8.2 Tipos de sustancias presentes en los contaminantes

### 8.2.1 Microorganismos patógenos

A rededor del mundo se encuentra gran variedad de microorganismos, que pueden ocasionar contaminación en el agua y, esto nos conlleva a enfermedades e infecciones y en el peor de los casos puede causar la muerte. Los tipos de diferentes de patógenos son:

- Bacterias: representan el grupo más importante de patógenos cuando se habla de contaminación microbiológica. Son microorganismos con un tamaño de hasta 5  $\mu\text{m}$ .
- Virus: elementos biológicos subcelulares su rango de tamaño va entre los (20 nm-200 nm) . Existen dos tipos sin envoltura y con envoltura que pueden causar infecciones graves.
- Priones: Son los patógenos más pequeños, con un tamaño por debajo de los 5 nm. Que contienen partículas proteicas infecciosas.
- Los hongos, levaduras y protozoos, con hasta 200  $\mu\text{m}$  de diámetro, son tres grupos adicionales de fuentes de infección que causan enfermedades graves como el cólera, tifus, hepatitis, entre otros.

### 8.2.2 Desechos orgánicos

Se originan de los residuos producidos por las acciones y actividades del ser humano, como la ganadería. La existencia en agua de materia biodegradable donde se crea un ambiente ideal para el crecimiento de bacterias aeróbicas donde pueden consumir el oxígeno existente. La falta de oxígeno dificulta la vida de los organismos aerobios, y los anaerobios liberen sustancias tóxicas tales como amoníaco o sulfuros.

### 8.2.3 Sustancias químicas inorgánicas

Sustancias que en grandes concentraciones pueden causar graves daños en los seres vivos. Pueden ser sales, ácidos y metales tóxicos.

### 8.2.4. Nutrientes vegetales inorgánicos

Este tipo de contaminación induce a la eutrofización de las aguas, lo que conlleva el uso de todo el oxígeno presente. Ello dificulta la actividad de otros organismos, disminuyendo la biodiversidad en el agua. Son sustancias solubles como son los nitratos y fosfatos.

que las plantas necesitan para su desarrollo y que estimulan el crecimiento de algas y otros organismos.

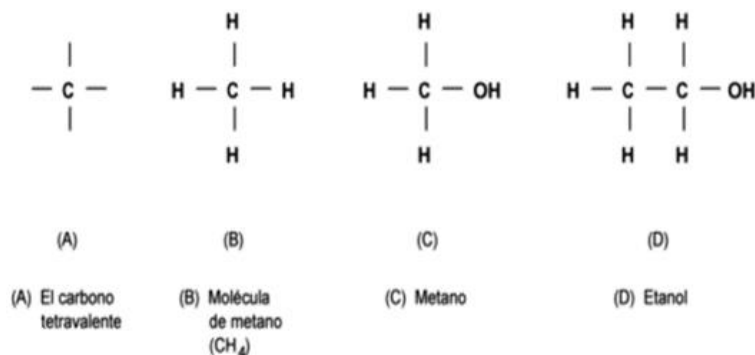




### 8.2.5 Compuestos orgánicos

Los contaminantes orgánicos del suelo son de naturaleza muy variable fitosanitarios, aceites, petróleos, gasolinas, entre otros y su presencia en los suelos se debe a muy diversas actividades humanas (agricultura, industria, transporte, etc.) permanecer largos periodos de tiempo en el agua, al ser difíciles de degradar por los microorganismos.

**Imagen No.1** compuestos orgánicos.



**Fuente.** Colbachenlinea.

### 8. 2.6. Materiales suspendidos y sedimentos

Estas partículas generan turbidez, que dificulta la vida de los organismos bajo el agua. Además, son partículas que no se disuelven fácilmente en el agua.

### 8.2.7. Sustancias radiactivas

Como son los isótopos radiactivos solubles. Cuando están presentes en el agua, pueden acumularse en las cadenas tróficas durante largos periodos de tiempo, y acumularse en los tejidos de los organismos vivos.

### 8.2.8. Contaminación térmica

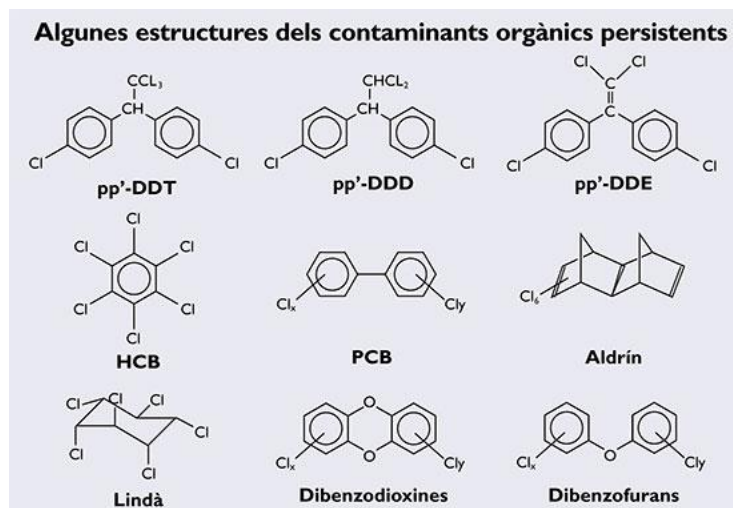
Es provocada por las centrales de energía u otras industrias que liberan agua a altas temperaturas, pudiendo disminuir la capacidad de mantener oxígeno afectando gravemente a los organismos acuáticos.



### 8.2.9. Contaminantes orgánicos persistentes

Los contaminantes orgánicos persistentes, conocidos como COP, son compuestos químicos de alta resistencia a la degradación fotolítica, biológica y química. Se distinguen por ser semivolátiles, se puede presentar en forma de vapor o adsorbidos por partículas de la atmósfera, facilitando su transporte a grandes distancias en la atmósfera.

**Imagen No.2** Compuestos orgánicos persistentes



Fuente. Mètode (2013)

Las propiedades que caracterizan a los COP tienen un nivel de toxicidad muy elevado además de ser persistentes, esto quiere decir que pueden durar muchos años e incluso décadas antes de degradarse en otras formas menos peligrosas.

Aunque existen algunas fuentes naturales de hidrocarburos organoclorados la mayor parte de los contaminantes orgánicos persistentes deben su origen a fuentes antropogénicas, asociadas con la fabricación, uso y eliminación de determinados productos químicos.

Los COP tienen el potencial para causar daño a los seres humanos y a otros organismos, incluso a concentraciones como las que se encuentran habitualmente en los alimentos corrientes. Existe evidencia médica sustantiva que vincula a las siguientes enfermedades y discapacidades humanas con uno o más COP: Cánceres y tumores, incluyendo el sarcoma de los tejidos blandos, el cáncer de mama, el cáncer del páncreas y la aparición de la leucemia en la edad adulta.

Ante estos contaminantes se debe tener en cuenta que para que haya una efectiva remoción de los compuestos orgánicos se requiere de una combinación de tratamientos básicos tales como la oxidación



química, despojo por aire, extracción líquido-líquido, absorción, ósmosis inversa, ultrafiltración, o tratamiento biológico. Estos son clasificados como destructivos y no destructivos y son usados según el elemento contaminante, la concentración y el caudal de la corriente a tratar.

En la siguiente tabla se muestra el grado de contaminantes en aguas residuales (Gómez y Hontoria 2003)

Tabla 3. Grado de contaminantes en aguas residuales.

<b>Grados de contaminación</b>			
<b>Parámetros</b>	<b>Alta</b>	<b>Media</b>	<b>Baja</b>
Sólidos totales	1000	500	200
sólidos totales fijos	300	150	80
sólidos totales volátiles	700	350	120
sólidos en suspensión	500	300	100
sólidos en suspensión fijos	100	50	30
sólidos en suspensión volátiles	400	250	70
sólidos disueltos	500	200	100
sólidos disueltos fijos	200	100	50
sólidos disueltos volátiles	300	100	50
sólidos sedimentables	250	1180	24
sólidos sedimentables fijos	150	108	24
sólidos sedimentables volátiles	100	72	16
DBO <sub>5</sub>	400	220	110
DQO	1000	500	250
COT	290	160	80
N <sub>total</sub>	86	50	25
N <sub>orgánico</sub>	35	20	10
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	50	30	15
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,4	0,2	0,1
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,1	0,05	0
P <sub>Total</sub>	15	8	4
P <sub>Orgánico</sub>	5	3	1
P <sub>Inorgánico</sub>	10	5	1
pH	6-7	6-9	6-9

Fuente. Gómez y Hontoria (2003)



### 8.3 Métodos de desinfección de aguas residuales

Los procesos de oxidación más eficientes son los Procesos AOP o Los Procesos Avanzados de Oxidación los cuales se pueden aplicar en mediana o pequeña escala y especialmente en donde los métodos convencionales dejan de ser eficientes. Este es el caso de aguas con concentración de contaminantes tóxicos no biodegradables muy altas mayor a 1 mg/l, o muy bajas menor a 5 mg/l. Los procesos avanzados de oxidación generalmente pueden usarse solos o combinados entre ellos, pudiendo ser aplicados también a contaminantes de aire y suelos.

#### 8.3.1 Cloración

la cloración juega un papel muy importante al momento de evitar infecciones ya que el método de desinfección más común de todos los tiempos es la utilización de cloro por su economía y fácil acceso, además se utilizan numerosos derivados del cloro para llevar a cabo estas desinfecciones cómo pueden ser dióxido de cloro, cloro gas, hipoclorito ; el ácido hipocloroso es el que efectúa una función germicida.

El cloro y sus derivados son sustancias de tipo oxidante, las cuales actuaran por mecanismos de oxidación destruyéndolas células tras provocar la rotura de los pares celulares. Para una correcta desinfección con cloro hay que tener en cuenta una serie de variables, como son el tipo de microorganismos que se quiere eliminar, concentración del desinfectante y tiempo de contacto, pH que podría influir en presencia o no de ácido hipocloroso, sulfuro de hidrogeno temperatura, turbidez, compuesto nitrogenados o hierros, magnesio ((Hontoria et al.,2003)

Una de las principales desventajas de la cloración es la concepción de subproductos de alta toxicidad, fenómeno descubierto y ampliamente investigado desde hace varios años producto de dichas investigaciones se han encontrado subproductos como los trihalometanos, ácidos haloaceticos y halógenos orgánicos disueltos, que han sido identificados potencialmente cancerígenos en concentraciones menores de 0,1mg/l (Aboarnou y Miossec,1992)

Otro problema significativo de la cloración es la influencia de la turbidez y concentración en los sólidos en suspensión (SS) o la concentración de compuestos nitrogenados que pueden afectar la eficiencia del proceso, Además de la resistencia que pueden presentar determinados organismos a la cloración, Sin contar la formación de subproductos provenientes de la cloración, la formación de cloraminas, la necesidad de cloración aumenta su valor de ejecución de un 20 a un 30 %.



### 8.3.2 Ultravioleta

Y Uno de los métodos más eficientes y practico de desinfección de agua residual es la desinfección con ultravioleta (UV) debido a que es capaz de inactivar bacterias, virus, esporas y quistes de protozoos.

Para aguas residuales provenientes de la industria es altamente eficaz tratarlas con radiación ultravioleta, en cambio para agua residual doméstica es recomendable utilizar un sistema que sea más eficaz, y económico.

### 8.3.3 Ácido peracético (APA)

los residuos de APA son “amigables con el medio ambiente” ya que o es reconocido como toxico y/o mutagénica, Son primariamente ácidos carboxílicos (Monarca S, 2002). Su acción desinfectante no se ve afectada por los sólidos suspendidos, la dependencia del pH es insignificante, con tiempos de contacto cortos, con alta efectividad en tratamiento de efluentes primarios y secundarios (Flores, Nieres, Cassano, & Labas, 2010).

### 8.3.4 Ozonización

El poder oxidante que tiene el ozono es una de sus características más representativas siendo superior a el cloro y sus derivados lo que, sumado a la capacidad de penetración y poder de bloqueo de rutas respiratorias o metabólicas, le convierten en una excepcional sustancia desinfectante: Su capacidad germicida supera por más de veinte veces a la del ácido hipocloroso y el tiempo de contacto necesario para ejercer su acción es relativamente corto siendo tan solo unos minutos , aunque ciertamente, depende de la dosis aplicada. Asimismo, es un buen viricida y, su capacidad de destrucción de quistes de protozoos es limitada. (Manuel iglesias,2014)

La determinación del empleo que se le dará al ozono depende de su capacidad de oxidación de sustancias orgánicas, la obtención de compuestos oxigenados, el tratamiento de mezclas de compuestos orgánicos para aumentar su biodegradabilidad, para disminuir y eliminar los contaminantes químicos de agua residuales domesticas y/ industriales.

En la siguiente tabla se puede observar el poder oxidante que tiene el ozono conjunto a sus características.


 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia	FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL	ELABORÓ: <b>Angie Rodríguez</b> CÓDIGO: <u>506914</u>
		DIRECTOR: <b>PhD. WILFREDO BOLIVAR</b> Director del proyecto de investigación

Tabla 4. Propiedades del Ozono .

PROPIEDAD	Ozono (O <sub>3</sub> )
Color	Azul claro altas concentraciones
Olor	Picante y Penetrante (umbral olfativo 0.001-0.015 ppmv)
Peso Especifico	2144
Peso Molecular	48
Potencial de ebullicion 100 Kpa	-112
Potencial de Oxidación	2.07 V
Solubilidad	0.64

Fuente. Adaptada de Laphan (2011)

La eficiencia del ozono y cloro además de los factores que influyen a los mismos tienen cierta similitud pero tienen diferentes rangos: el rango óptimo en función del pH es muy amplio ya que va desde un ácido 5.5 a un alcalino 9,5. La temperatura varía entre 5 °C y 35 °C no afectan significativamente a su eficiencia y la presencia de materia orgánica no supone riesgo de formación de subproductos indeseables, ya que degrada a las sustancias precursoras de los trihalometanos THM.

Tabla 5. Valores de concentración por tiempo (CT) para una desactivación del 99% de los microorganismos a 5 C.

Microorganismo	Desinfectante			
	Cloro libre (pH-6-7)	Cloramita (pH-8-9)	Dioxido de cloro (pH 6-7)	Ozono (pH 6-7)
E. coli	0,034-0,05	95-180	0,40-0,75	0,02
Polio 1	1,1-2,5	770-3,740	0,2-6,7	0,1-0,2
Rotavirus	0,01-0,05	3,810-6,480	0,2-2,1	0,006-0,060
Fago f2	0,08-0,18	-	-	-
G.Lambliia	47>150	-	.	0,5-0,6
G.Muris	30-630	1,4	7,20-18,5	1,8-2,0

Fuente. Adaptada Rodríguez (2003)

En la siguiente imagen se puede ver la capacidad desinfectante de distintos agentes químicos

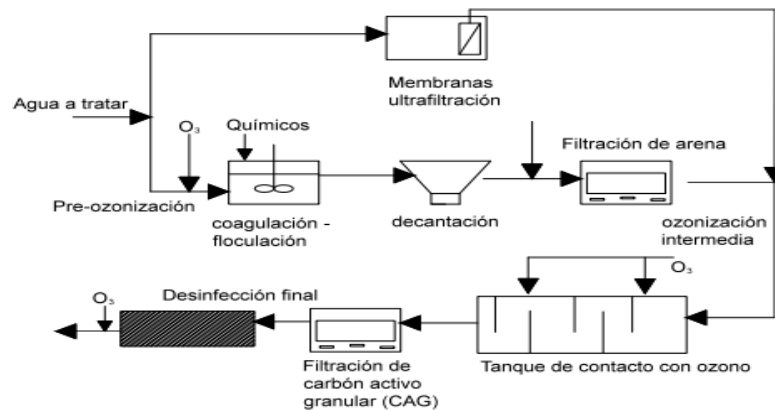
Tabla 6. Capacidad desinfectante de los distintos agentes químicos .

Compuesto	General	Bacterias	Virus	Quistes
Ozono	XXXX	XXXX	XXX	XX
cloro/hipoclorito	xxx	XXXX	XX	X
Dioxido cloro	xxx	XXXX	XX	X
Permanganato	XX	XXX	XX	-
xxxx Muy buena	xxx Buena	xx Regular	x Escaso	- Nulo

Funte. Adaptada Rodriguez (2003)

En la siguiente imagen se puede observar Proceso general utilizado en el tratamiento de aguas con ozono.

Imagen No.3 Proceso general utilizado en el tratamiento de aguas con ozono.



Fuente. Deininger, R. (1998)

Las diferentes etapas del proceso de potabilización de aguas residuales o domesticas son:

**Pre ozonización:** Se realiza en la primera etapa de desinfección donde se incorpora ozono al agua bruta donde se degrada el magnesio y el hierro, en aguas con alta dureza ayuda a el proceso de coagulación.

**Ozonización intermedia:** Por lo general se utiliza antes del proceso de filtración, ayuda en la oxidación de materia orgánica natural y favorece la degradación biológica en los filtros.

**Post ozonización:** Por lo general se lleva a cabo al finalizar el proceso de potabilización de tratamiento de agua.



### 8.3 Proceso de ozonización

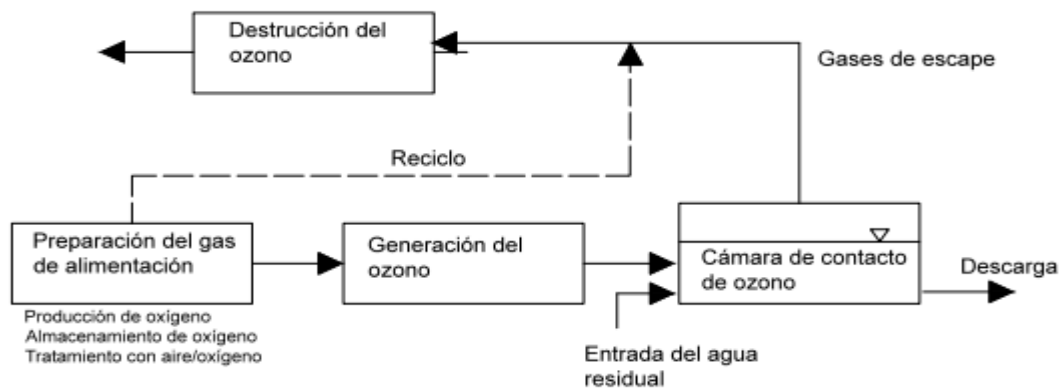
El proceso de ozonificación según el manual de procesos de oxidación avanzada se aplica en el tratamiento de aguas residuales de uso doméstico, comercial e industrial.

El nivel de eficiencia en la remoción del contaminante depende gran parte del tipo de contaminante si es químico o biológico, del tipo de agua a tratar, del tiempo y cantidad de la concentración del ozono utilizado en el agua a tratar.

En la imagen No. 4 se observa un sistema de ozonización estándar conformado por

1. Se prepara el gas de alimentación
2. Se genera el ozono
3. El Contacto del ozono que por lo general se realiza por difusores de burbuja o mediante inyectores del tipo Venturi
4. Destrucción del ozono puede ser por destrucción térmica o por destrucción catalítica con catalizadores de paladio, óxido de níquel o manganeso

**Imagen No.4** Proceso de ozonización.



**Fuente.** E. Almeida( 2004).

#### 8.4.1 Generación de ozono

El ozono se puede producir en un aparato generador de ozono, Los generadores de ozono son de uso múltiple. Hay generadores de ozono cuyo lugar de aplicación es el aire, y otros que se pueden utilizar en el agua y algunos son mixtos. El gas de alimentación de dichos generadores puede ser aire u oxígeno puro en un rango del 1 a 10 % del oxígeno que fluye por los electrodos se transforma en ozono (Santiago, E.B 2005)

Al utilizar aire, la concentración final de ozono a la salida del ozonizador puede variar entre en 1 y el 4 % y si se emplea oxígeno puro, la concentración puede variar entre el 4 y el 12% en peso.





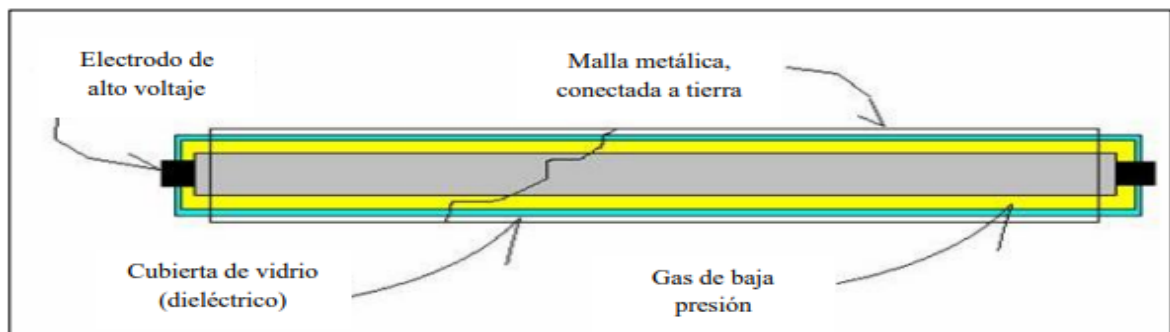
Hay gran variedad en los métodos para la producción de ozono que se dividen en estos tres grandes grupos:

- La descarga de corona
- La descarga electroquímica
- Utilización de rayos ultravioleta (UV)

#### Efecto Corona

Esto se debe a la acumulación de cargas eléctricas en los conductores, Al llegar a la saturación por acumulación de cargas eléctricas, el aire circulante se vuelve ligeramente conductor y las cargas eléctricas escapan produciendo un sonido característico y emitiendo luz. Para que el efecto corona sea posible con el aire seco al nivel del mar, se necesita un potencial de 3000000 de voltios por metro (CDTI, 2016)

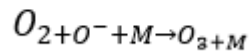
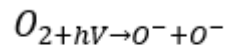
**Imagen No.5** lámpara para efecto corona



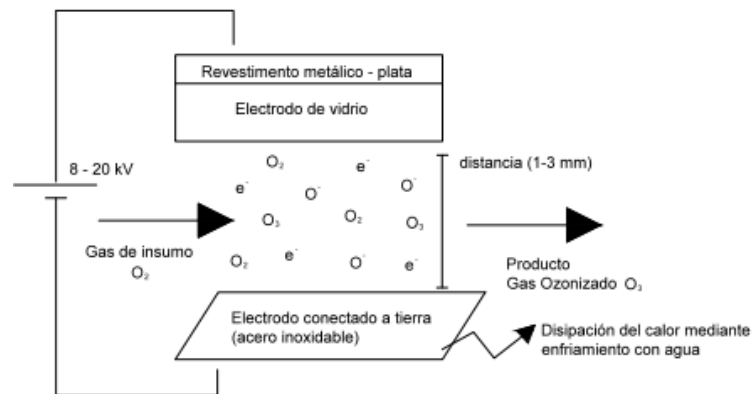
**Fuente.** CDTI (2016)

La lámpara que se utiliza para el efecto corona es una herramienta que permiten una concentración de altos voltajes en su interior, que facilitan las descargas eléctricas hacia una malla metálica conectada a tierra, la cual cubre toda la superficie del cuerpo de la lámpara. Estas descargas de alto voltaje destruyen las moléculas de oxígeno y producen ozono

La descarga de corona entre los de electrodos causa que un electrón fluya a través del hueco de descarga, como se muestra en la imagen No. 5. Esos electrones suministran la energía para disociar las moléculas de oxígeno, produciéndose así la formación de ozono mediante las ecuaciones.



**Imagen No.6** Producción de ozono.



**Fuente.** Santiago, E.B,( 2005)

#### 8.4 Nanotecnología

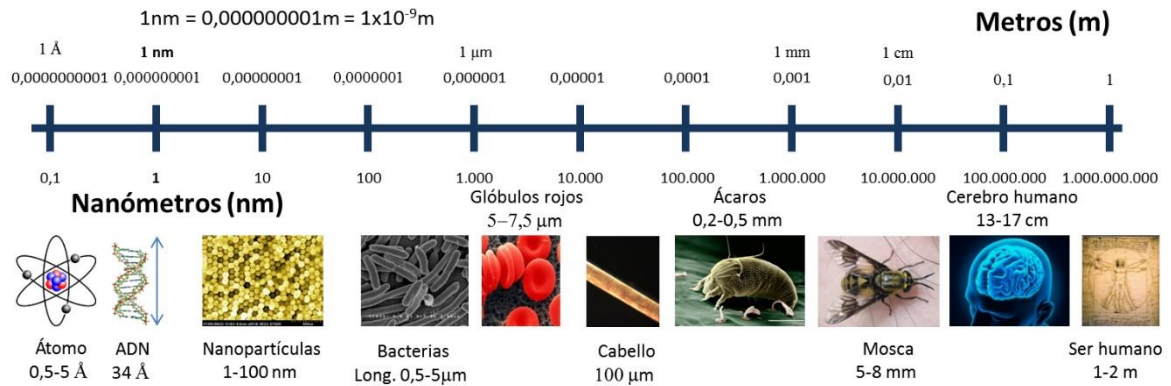
Es la rama de la ciencia aplicada al desarrollo con el potencial de hacer contribuciones significativas en diversos campos, como lo es la ingeniería, la informática y la medicina

La nanotecnología envuelve la modificación del material logrando con ello nuevas estructuras, nuevos artefactos y nuevos materiales, en una escala de partículas entre 1-100 nm (Morose 2010). Por lo tanto, las nanopartículas pueden ser transportadas efectivamente por el flujo de agua (Zhang 2003).

Para tener una referencia los átomos y los enlaces químicos tienen tamaños en el rango de unas decenas de un nanómetro, las estructuras más pequeñas tienen dimensiones de unos pocos nanómetros (Chaturvedi 2012). Esto es porque tan pronto unos cuantos átomos están cercanos unos a otros, la estructura resultante es de unos pocos nanómetros en tamaño.



Imagen No.7 Escala manométrica.



Fuente. Castro & Britto, (2012)

La nanotecnología es una novedosa alternativa para diseñar sistemas de tratamiento de aguas residuales, gracias a sus características y a el tamaño de cada nanopartícula hacen que sean aprovechables en varios campos de la ingeniería

Con su capacidad de optimizar y mejorar las características de fuente efluentes se podría llegaría a ahorrar gran cantidad de agua y permitiría el uso de recursos hídricos que hasta ahora no se han podido aprovechar correctamente.

Los filtros porosos pueden llegar a eliminar hasta el 100% de virus y bacterias. Una tecnología de separación eléctrica que atrae a los iones a láminas especiales, puede eliminar sales y metales pesados

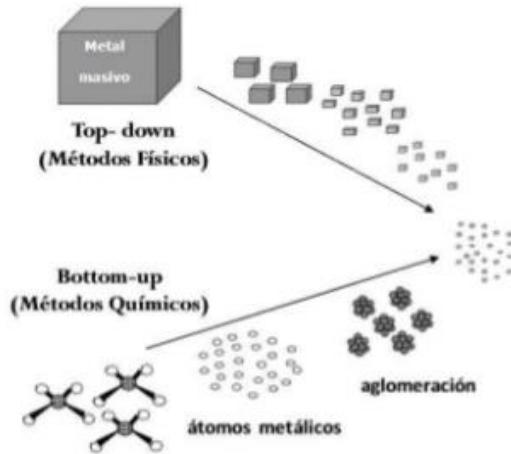
Hay dos enfoques que se usan actualmente en nanotecnología.

En la construcción de materiales, artefactos y demás donde se construyen a partir de componentes moleculares que se van ensamblando químicamente por los principios de reconocimiento molecular puede ser por micela reversa, interacción encima-sustrato, germinación y algunos principios biométricos.

O La mal llamada la destrucción es cuando los nano-objetos son construidos a partir de entidades más grandes sin ningún control del nivel atómico (nano-litografía, grabado químico, etc.).



Imagen No.8 Enfoques de la nanotecnología

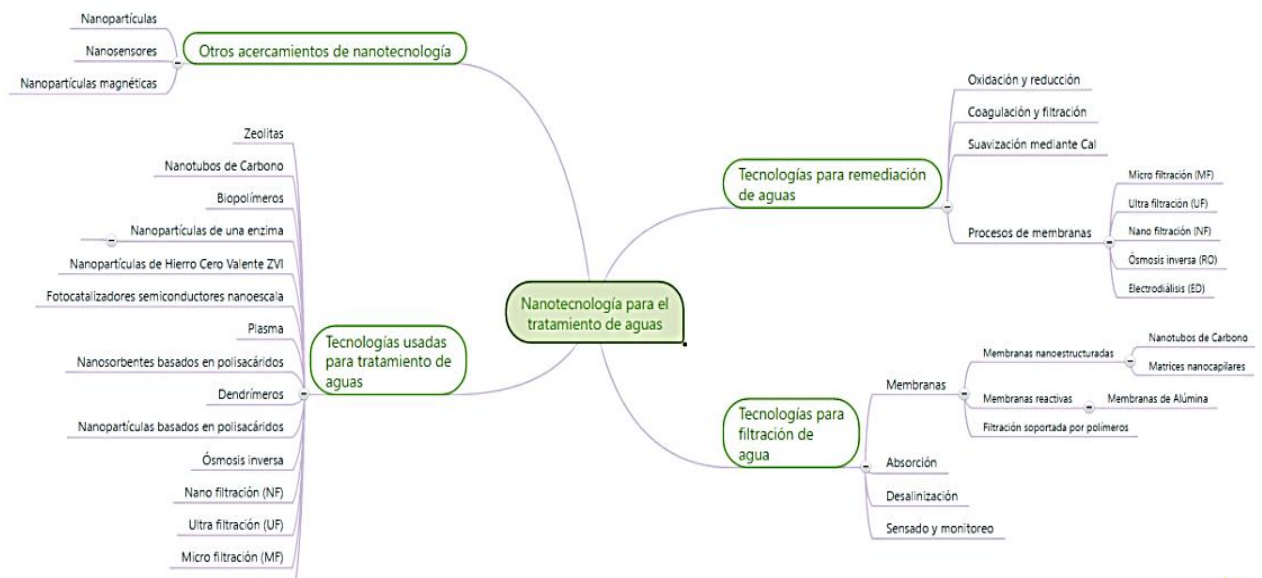


Fuente. Colonia (2013)

Las nanopartículas se forman como resultado de sobresaturación de fases solubles cuando ocurre un cambio de solubilidad (Simeonidis et al. 2016).

El siguiente diagrama nos muestra de forma amplia y concisa que tecnologías son usadas en el tratamiento de aguas y como con el uso de nanotecnologías se efectúan soluciones más efectivas.

Imagen No. 9 Nanotecnología para el tratamiento de agua.



Fuente. Adaptada de Corporación Ruta N (2016)



## 8.6. Nanopartículas de ZnO

El óxido de zinc (ZnO) es un compuesto relativamente abundante, de fácil preparación, químicamente estable y de baja toxicidad que es soluble en ácidos y bases, pero insoluble en el agua, con un punto de ebullición extremadamente alto con  $1975^{\circ}\text{C}$ , de temperatura a la que también se puede descomponer (ACS, 2014)

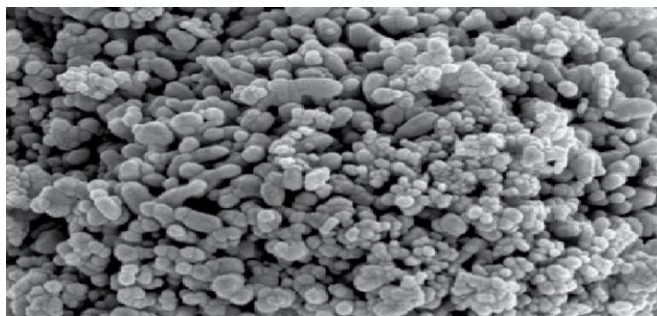
Es un semiconductor formado por los elementos del grupo-II<sup>b</sup> ( $30^{\text{Zn}}$ ) y el grupo-VI 8<sup>o</sup> ). El zinc tiene cinco isótopos estables de los cuales los más comunes son el zinc 64 (48.89%), zinc 66 (27.81%), y el zinc 68 (18.57%) mientras que el oxígeno consiste casi puramente en el isótopo de Oxígeno 16 (99.76%) (Stein, M., 2015).

ZnO se describe como un material versátil inorgánico con una amplia gama de aplicaciones. Se conoce como semiconductor, ZnO posee un sistema óptico único, detección, semiconductora, conductividad eléctrica y propiedades piezoeléctricas. Se caracteriza por una brecha de banda (3,3 eV) en el espectro cercano a los rayos UV, una alta energía de unión excitónica (60 meV) a temperatura ambiente y una conductividad eléctrica natural de tipo n.

Estas características permiten a ZnO tener aplicaciones notables en diversos campos. La amplia brecha de banda de ZnO tiene un efecto significativo en sus propiedades, como la conductividad y absorción óptica.

Las nanopartículas de ZnO se consideran no tóxicas, bioseguras e incompatibles y se han encontrado en muchas aplicaciones biológicas de la cotidianidad, tales como vehículos de fármacos, cosméticos y como rellenos en materiales o dispositivos médicos (Cioffi y Rai, 2012). Las nanopartículas de ZnO se han mantenido en la vanguardia debido a su durabilidad, alta selectividad y biocompatibilidad (Meghana et al., 2013). Por último, adicionalmente a sus aplicaciones como sensores de gas, foto-detectores y demás aplicaciones fotocatalíticas, las nanopartículas de ZnO exhiben excelentes propiedades de bloqueo UV (Vaseem et al., 2009).

**Imagen No.10** Ilustración nanopartículas ZnO



**Fuente.** Garcia,2016

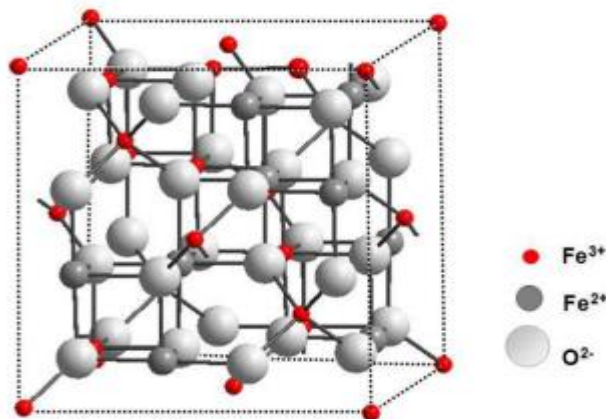


## 8.7 Nanopartículas De Magnetita


La magnetita  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  o también ( $\text{FeFe}_2\text{O}_4$ ) es un óxido mixto de hierro su composición corresponde a 27.6% de oxígeno y 72.4% de hierro. Cristaliza en un sistema cúbico con estructura de espinela inversa

La magnetita pertenece al grupo de las espinelas ya que su configuración molecular es del tipo  $\text{AB}_2\text{O}_4$  donde A es el catión divalente ( $\text{Fe}^{+2}$ ) y B el catión trivalente lo que le da un empaquetamiento cubico centrado en las caras por parte de los átomos de oxígeno. Es espinela inversa debido a que los espacios tetraédricos se encuentran ocupados por el ion trivalente y los espacios octaédricos repartidos entre los trivalente y divalentes. Gracias a los electrones desapareados que tiene el hierro, ( $\text{Fe}^{+2}$  tiene 4 electrones no apareados y  $\text{Fe}^{+3}$  tiene 5 electrones no apareados en la capa 3d, los cristales formados con átomos de hierro en su configuración pueden experimentar comportamiento ferromagnético, ferromagnético o antiferrimagnético debido a los fuertes momentos magnéticos generados por estos electrones que minimizan los efectos causados por la repulsión columbiana (Marimon,2018)

**Imagen No.11** Ilustración Estructura de espinela inversa de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$



**Fuente.** Noval et al (2016)

 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia	FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL	ELABORÓ: <b>Angie Rodríguez</b> CÓDIGO: <u>506914</u>
		DIRECTOR: <b>PhD. WILFREDO BOLIVAR</b> Director del proyecto de investigación

## 8.8 Factores que Influyen el proceso de Adsorción

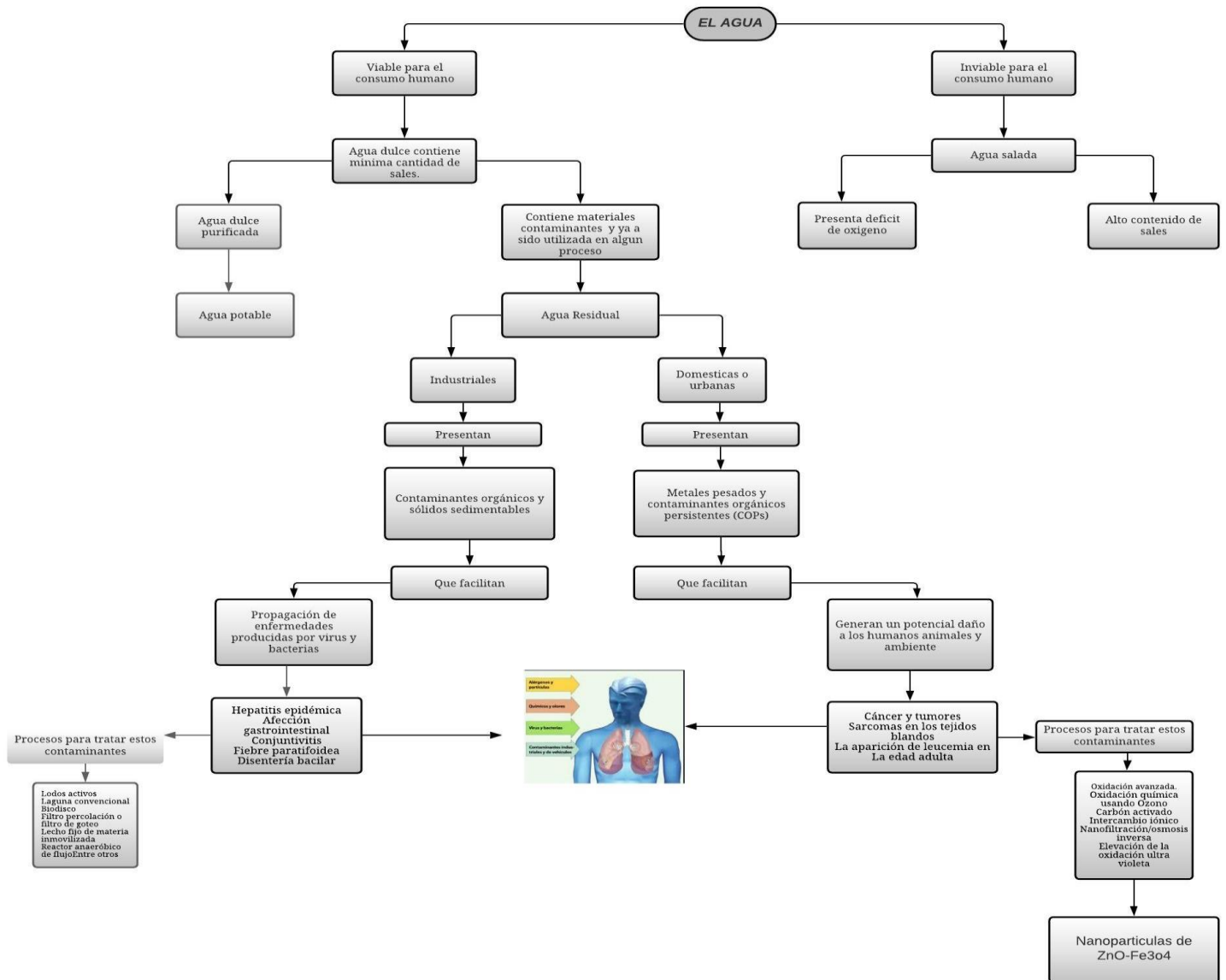
Las propiedades físico-químicas del adsorbido y del medio en el cual la adsorción debe efectuarse puede ser mediante solubilidad, carga superficial, o carácter hidrófilo/ hidrófobo, su estructura del adsorbete y depende en gran parte de su naturaleza.

Que modifican la accesibilidad a los sitios de adsorción por recubrimiento de la superficie externa del adsorbente o introduciendo compuestos susceptibles de entrar en competición con la molécula cuya eliminación se busca. Es el caso de las aguas naturales, que contienen numerosas sustancias orgánicas o minerales que pueden modificar la adsorción de una molécula específica. son susceptibles de ser adsorbidos por el carbón activo y, por lo tanto, los micropoluentes a eliminar entran en competición con esas sustancias (Sánchez, 200)



### 9. MARCO CONCEPTUAL

Imagen No.12 Marco Conceptual.



Fuente. Autoría Propia






## 10. MARCO LEGAL

Los beneficios de poseer agua de calidad son incontables, por esta razón, en Colombia se ha establecido una normativa nacional para la administración y planificación ambiental del agua.

Tabla 7. Marco legal.

NORMA	
Constitución Política De Colombia 1991	
Decreto 3930 de 2010	
Decreto 1575 de 2007	
Resolución No.1207 2014	
Resolución 0631 de 2015	
Resolución No. 1096 de 17 de noviembre de 2000	
Ley 373 De 1997	Decreto 1076 de 2015 "Sector ambiente y Desarrollo sostenible"
Ley 9 De 1979	Ley 373 de 1997
Residuos líquidos	Decreto 1541 de 1978
	Decreto 1594 de 1984 "usos del agua y residuos líquidos "

Fuente. Autoría propia

 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia	FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL	ELABORÓ: <u>Angie Rodríguez</u> CÓDIGO: <u>506914</u>
		DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO BOLIVAR</u> Director del proyecto de investigación

## 11. METODOLOGIA

### 11.1 GENERALIDADES

Esta investigación se fundamenta en una metodología, la cual debe definir el uso de técnicas, métodos, estrategias, instrumentos y procedimientos a utilizar en el estudio que se desarrollara.

En el libro de Balestrini publicado en el 2006, en la página 125 menciona “el marco teórico como la instancia referida a los métodos, las diversas reglas, técnicas, registros y protocolos con los cuales una teoría y su método calculan las magnitudes reales.

#### 11.1.2 Diseño De Investigación

Dado que el objetivo del estudio será evaluar la eficiencia en la combinación de ozono y ZnO-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> para remover compuestos orgánicos persistentes en aguas residuales industriales. Se recurrió a un tema de investigación cuantitativa no experimental. considerando que el tema de investigación tiene un sustento teórico suficiente.

De acuerdo a Sampieri la investigación no experimental cuantitativa es (p.152) “Podría definirse como la investigación que se realiza sin manipular deliberadamente variables. Es decir, se trata de estudios en los que no hacemos variar en forma intencional las variables independientes para ver su efecto sobre otras variables. Lo que hacemos en la investigación no experimental es observar fenómenos tal como se dan en su contexto natural, para analizarlos” (Sampieri p.152)

#### 11.1.3 Enfoque De La Investigación

Este trabajo será diseñado bajo el planteamiento metodológico del enfoque cuantitativo, ya que este es el que mejor se adapta a las características y necesidades de la investigación.

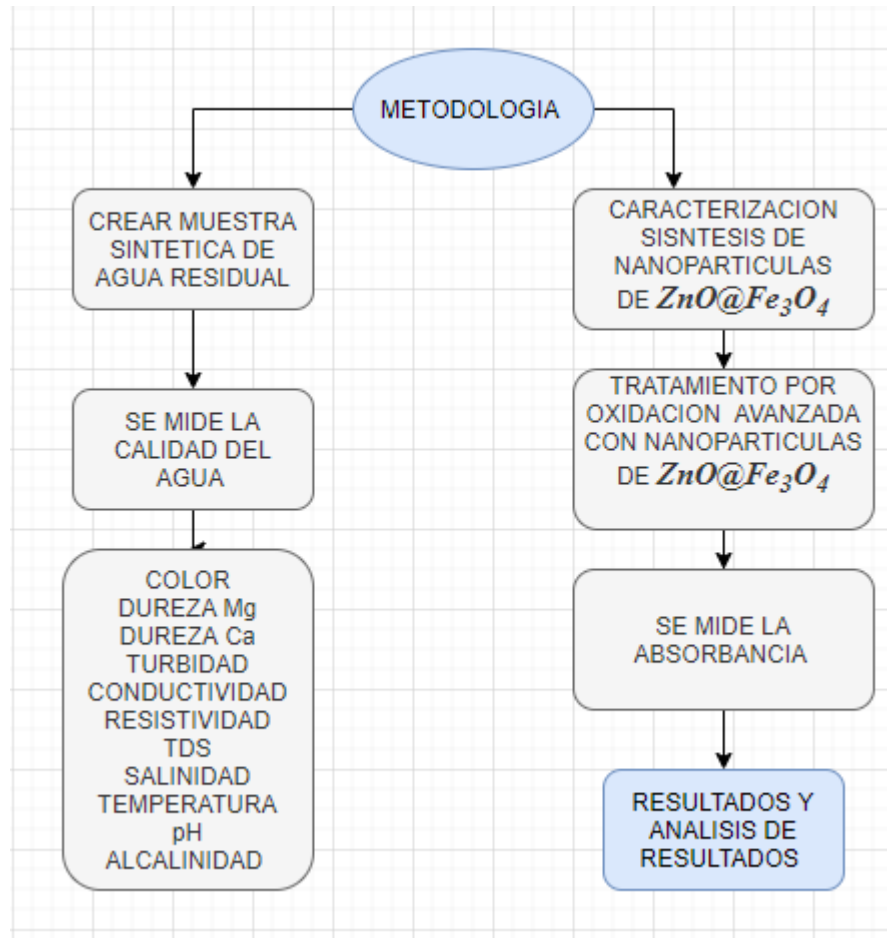
Sampieri nos dice que “El enfoque cuantitativo el cual representa un conjunto de procesos es secuencial y probatorio. Cada etapa precede a la siguiente y no podemos “brincar” o pasar de un paso sin haber terminado el anterior . El orden es acotándose y una vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigaciones revisa la literatura y se construye un marco o una perspectiva teórica. De las preguntas se establecen hipótesis y determinan variables; se



traza un plan para probarlas (un diseño); se miden las variables en un determinado contexto, se analizan las mediciones obtenidas utilizando métodos estadísticos y se extrae una serie de conclusiones.

## 11.2 METODOLOGÍA GRÁFICA

Imagen No.13 Metodología



Fuente. Autoría propia.

## 11.3 SÍNTESIS DE LA MUESTRA

### 11.3.1 Síntesis de la muestra de agua residual

Para caracterizar la muestra de agua sintética utilizamos (0,5 g) Urea ( $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$ ), (0,5 g) de Hidrogenofalato de potasio ( $\text{C}_8\text{H}_5\text{KO}_4$ ), (0,04g) de Cloruro de cinc ( $\text{ZnCl}_2$ ) (0,017g ) de Sulfato de magnesio ( $\text{Mg SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ .), (0,0010g) de Azul de metileno( $\text{C}_{16}\text{H}_{18}\text{N}_3\text{ClN}_3\text{S}$ )cada uno disuelto en una solución de 20mL se lleva al sonicador por 3 minutos aproximadamente.



En una pipeta de 500 mL se agrega todas las soluciones mencionadas anteriormente se agita durante un minuto para que se homogenice.

Se realizará la sintonización de agua residuales industrial teniendo en cuenta los siguientes componentes con su debida concentración adaptado de (Erkan et al,2020)

Tabla 8.componentes para sintetizar agua residual.

INGREDIENTE AGREGADO	NOMBRE	CONCENTRACIÓN (mg / L)
$C_6H_{12}O_6 \cdot H_2O$	-----	1000
$NaHCO_3$	Bicarbonato de sodio	1000
$NH_4Cl$	Cloruro de amonio	230
$CaCl_2 \cdot 2H_2O$	Cloruro de calcio dihidrato	4
$MgCl_2 \cdot 6H_2O$	Magnesio Cloruro hexahydrate	3.4
$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	Sulfato de Hierro (II)	5,92
$MnSO_4 \cdot H_2O$	Sulfato de manganeso monohidrato	0,4289
$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	Sulfato de Zinc	0.1053
$Na_2SO_3$	Sulfito de sodio	0.2811
$NiSO_4 \cdot 6H_2O$	Sulfato de níquel (II) hexahidratado	0,1
$CoCl_2$	Cloruro de oxalilo	0.5457
$NaCl$	Cloruro de Sodio	50
$ClC_6H_4OH$	Cloruro de Sodio	10

Fuente. Adaptado de(Erkan et al., 2020)



Al tener ya caracterizada el agua sintética, se procedió a analizar el agua con el fin de determinar los parámetros de calidad del agua; estos parámetros mencionados en la Tabla No.9

Tabla 9. Parámetros a evaluar. .


PARAMETRO	UNIDADES	METODO
Alcalinidad	mg/l	Potenciometria
Color	Pt Co	2120
Conductividad	$\mu$ S/cm	2510-2520
Dureza Ca	Mg/l CaCo <sub>3</sub>	2340
Dureza Mg	mg/l CaCo <sub>3</sub>	5220
TDs	mg/l	5210
pH		4500-H
Turbidez	NTU	SM2130 B
Temperatura	°C	2550
Resistividad		2540
Dureza Total	mgC/l	5310

Fuente. Autoría propia

### 11.3.2 Síntesis de nano partículas de óxido de zinc

Para la preparación de nano partículas de óxido de zinc (ZnO), se llevará acabo la sintonización utilizando el método de co-precipitación mencionado por (Marimona,2018)

En 50 ml de agua se disolvió 10 g de hexahidrato de nitrato de zinc ( $N_2O_6Zn \cdot 6H_2O$ ) (0.1 mol/L) a una temperatura 110 °C, utilizando agitación mecánica en un vaso de precipitados de 250 ml. mediante una placa calefactora se añadieron con un gotero 20 mL de una solución acuosa de L-Glutatión con una concentración de 0,214 mol/L al vaso de precipitado, hasta que la solución mezclada llegara a un valor de pH de 10,inmediatamente se llevó la mezcla a las temperaturas de 80°C, 85°C y 90°C se agitó la solución durante aproximadamente dos

 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia	FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL	ELABORÓ: <b>Angie Rodríguez</b> CÓDIGO: <u>506914</u>
		DIRECTOR: <b>PhD. WILFREDO BOLIVAR</b> Director del proyecto de investigación

horas. Finalmente, los precipitados se separaron de la mezcla usando filtración al vacío. Los precipitados de color marrón oscuro se transfirieron a un crisol y se mantuvieron en un horno de mufla a 250 ° C durante 6 h. De este modo, se obtuvieron nano partículas de ZnO de color blanco. ( Arcila,Achury,2020)

#### 11.3.4 Síntesis de nano partículas de (ZnO@Fe3O4)

Para llevar a cabo la sintonización de nanopartículas de magnetita se está utilizando el método de síntesis verde, se usó la modificación del glutatión descrita por Marimon (Marimon, 2018).

En una solución de 20 mL se le agregaron (3.6 g) de Cloruro de Hierro ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), (1.3 g) de Sulfato ferroso ( $\text{FeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ), (1g) de cisteína  $\text{C}_3\text{H}_7\text{NO}_2\text{S}$  y en una solución de 40 mL se le agrego (6 g), de soda cáustica (NaOH) enseguida se llevaron las soluciones al sonicador por 5 min aproximadamente.

Se añadió 50 mL de agua destilada en un vaso de precipitado de 250 ml se coloca en una chaqueta de calentamiento para empezar a calentar el agua. Esto sometido a agitación mecánica (120 rpm), Al alcanzar la temperatura de 75 °C se añadieron gota a gota 20 mL de una solución acuosa de soda cáustica (NaOH) con una concentración de 0,214 mol/L al vaso de precipitado hasta cuando se obtuvo un valor de pH de 10. Posterior a esto, se llevó la mezcla a unas temperaturas de 80°C, 85°C y 90°C y se agitó la solución durante una hora. Se le adicionó la solución de cisteína al pasar 1 min de adicionado la solución de cisteína se le agregar 3 ml de la solución de soda para mantener el pH alcalino.

A los 30 min después se le adiciona el ZnO y se dejó reaccionar 30 minutos aproximadamente. Al acabar estos 30 min parar de calentar y agitar, se retiró el balón de la chaqueta después, las nanopartículas se separaron por aplicación de campo magnético, se lavaron varias veces con agua desionizada y alcohol, y se secaron en vacío a 40°C durante 12 horas

#### 11.3.5 Caracterización Nanopartículas ZnO-óxido de zinc

Para efectuar la caracterización de las nanopartículas de óxido de zinc por medio del estudio de (Amit Kumar Chauhan, 2019) se utilizó Cristalografía difracción de rayos X emitidos de un ánodo de Cu con longitud de onda 1.5418 Å a 40kV teniendo un flujo de corriente igual a 40mA, se registra el espectro infrarrojo de transformada de Fourier y se identifica los grupos de




funcionales presentes en la superficie de absorción por medio de Shimadzu IR AFFINITY-I, Japón), la determinación de la forma de la superficie y la caracterización de cada nanopartículas de óxido de zinc se realizó por medio del microscopio electrónico de barrido de emisión de campo y también se utilizó las técnicas de espectroscopia de rayos X de energía dispersa con (FESEM Carl Zeiss Merlin Compact, Alemania). El área superficial de

las nanopartículas de óxido de zinc se determina utilizando el analizador BET (Brunauer-Emmett-Teller) (Belsorp mini II, MicrotracBEL Corp., Japón). Con el método de adsorción desorción de N<sub>2</sub>, se realiza el secado de la muestra agregándole constantemente N<sub>2</sub>, a una temperatura de 60° C a lo largo de 24 horas, por medio del análisis termo gravimétrico (TGA) (analizador TG-DTA Shimadzu C305751) se establece la estabilidad térmica de las nanopartículas de óxido de zinc, se va utilizar el microscopio de FEI Tecnai G2 20 TWIN (USA), que trabaja a 200kV.

### 11.3.6 Caracterización Nanopartículas (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>)

Las propiedades magnéticas de las nanopartículas se estudiaron por medio del magnetómetro de muestra vibratoria (VSM Lakeshore, Modelo 665) a una temperatura de 300K y con mediciones de magnetización en función del campo aplicado en un rango entre -30 kOe a 30 kOe. El recubrimiento orgánico adherido a la superficie de la partícula se determinó mediante espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier en un equipo SHIMADZU IR Prestige21 FTIR Spectrometer, donde la muestra se diluyó en KBr y se hicieron 150 barridos leídos por un detector de nitrógeno líquido en el método de transmitancia. El tamaño físico de las partículas se midió a través de microscopia electrónica de barrido SEM en un CARL ZEISS MODELO EVO HD MA 15 donde se requirió un recubrimiento de oro para la conductividad de la muestra. La caracterización cristalográfica se realizó a través de un análisis de difracción de rayos x en un PROYECTO X`PERT PRO MPD PANalytical, donde las MNPs secas son sometidas a bombardeo con rayos x emitidos de un ánodo de Cu con longitud de onda 1.54 Å en un rango de 10° - 90° con tamaño de paso de 0.026 y un tiempo de paso de 20 s. El análisis termo gravimétrico fue llevado a cabo en (TGA, DMSE SDTQ600). Las mediciones de pérdida de masa fueron tomadas en un rango de temperatura de 25°-600°C, donde unos pocos miligramos de la muestra fueron puestos en un soporte de aluminio y sometidos a la velocidad de calentamiento de 10°C/min. El potencial electro cinético superficial de las partículas y el tamaño hidrodinámico fue determinado por mediciones de potencial Zeta en un Nano Zvernizador Malvern (ZS90), los valores reportados son el promedio de 5 mediciones las cuales cada una fue realizada en medio acoso celdas de plástico y bajo un potencial a diferentes valores de pH. El radio hidrodinámico se determinó por la técnica de Dynamic Light Scattering (DLS) que arrojó el índice de polidispersidad (PDI) en cada una de las mediciones (Marimon, 2018).

 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia	FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL	ELABORÓ: <u>Angie Rodríguez</u> CÓDIGO: <u>506914</u>
		DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO BOLIVAR</u> Director del proyecto de investigación

### 11.3.7 Efecto del pH de la solución

Se sabe que la distribución de fase acuosa es el factor más importante tanto en la adsorción de cationes como de aniones, siendo el efecto distinto en ambos casos. Así, mientras que la adsorción de cationes suele estar favorecida para valores de pH superiores a 4,5, la adsorción de aniones prefiere un valor bajo de pH, entre 1,5 y 4 (Kuyucak N. & Volesky B. 2008) Por ende, se hicieron las pruebas de adsorción a siete valores de pH para determinar el valor de pH favorable. Este se halla con el equipo pH-tometro.

### 11. 3.8 Efecto de la dosis de Adsorbente en la adsorción

La cantidad de adsorbente es el factor que va a limitar hasta cierto punto la concentración que se adsorbe, es decir a mayor cantidad de adsorbente, obtendremos una mayor adsorción, pero lo ideal es llegar a una relación de equilibrio, entre la cantidad de adsorbente y la concentración, para un óptimo resultado de adsorción. (L .Garcés S Romero,2012).

Se debe variar la dosis de adsorbente desde (0 hasta 3.8 g)

### 11.3.9 Efecto de la temperatura

Un aumento elevado de la temperatura puede causar un cambio en la textura del sorbente y un deterioro del material que desembocan en una pérdida de capacidad de sorción. ( C. Tejada, A. Villabonay L. Garcés015)se halla con termómetro o con multiparametro.

### 11.4 Modelación cinética e isotermas

Para el tratamiento de los datos experimentales y el análisis de los procesos de adsorción, los datos de equilibrio se expresan normalmente como isotermas de adsorción, relacionando analíticamente la cantidad de un determinado componente adsorbido en una interface con la concentración (C. Tejada-Tovar, A. Villabona-Ortiz y L. Garcés-Jaraba,2015)

La isoterma de adsorción Langmuir, tradicionalmente se ha utilizado para cuantificar y comparar el desempeño de diferentes biosorbentes. En su formulación, este modelo empírico asume una monocapa de adsorción, donde esta solo puede producirse en un número finito de áreas definidas localizadas, que son idénticas y equivalentes. Gráficamente, se caracteriza por una meseta, un punto de saturación de equilibrio en el que una vez que una molécula se encuentra en un sitio, no se da más el proceso de adsorción (Hossain M A, Ngo H N, Nghiem, Hai, Vigneswaran ,2014)





El modelo de Langmuir puede expresarse como: Donde  $q_e$  es la concentración del metal adsorbido en el bioadsorbente,  $q_{max}$  es la adsorción máxima correspondiente a los sitios de saturación, desorción (Liang S, Guo X, Feng N, Tian Q. Isotherms ,2010)

El modelo de Freundlich, es la relación que describe la no idealidad y la adsorción reversible, el cual no se limita a la formación de una monocapa. Este modelo empírico se puede aplicar a múltiples capas de adsorción, con una distribución no uniforme de calor y afinidades de adsorción sobre la superficie heterogénea

En la actualidad la isoterma de Freundlich se aplica ampliamente en sistemas heterogéneos, especialmente para compuestos orgánicos o especies altamente interactivas sobre carbón activado.

Tabla 10. Modelos de isotermas de adsorción.

Isotermas	Ecuación	Parametros
Isoterma de Freundlich	$q_e = k_F \cdot C_e^{1/n}$	$k_F$ es el indicador de la capacidad de absorcion, $n$ es la intensidad de absorcion, $C_e$ es la concentración del material
Isoterma de Langmuir	$q_e = \frac{q_{max} b C_e}{1 + b C_e}$	$q_{max}$ es la cantidad máxima metal/peso de biomasa, $b$ es la afinidad de los sitios de union, $C_e$ es la concentración del metal

Fuente. Adaptado (R. K. Gautam, A. Mudhoo, G. Lofrano, and M. C. Chattopadhyay)

Tabla 11. Modelos Cinetica de adsorción.

Modelo cinetico	Ecuación	Parametros
Pseudo-primer orden	$q_t = q_e(1 - e^{-k_1 t})$	$q_e$ es la capacidad de adsorción en equilibrio (mmol/g) $k_1$ es la constante de pseudo primer orden (min <sup>-1</sup> )
Pseudo-Segundo orden	$q_t = \frac{t}{\left(\frac{1}{(k_2 q_e^2)}\right) + (t/q_e)}$	$K_2$ es la constante de pseudo segundo orde (g/mmol.min) $q_e$ es la capacidad de adsorción en equilibrio (mmol/g)
Elovich	$q_t = \frac{1}{\beta} \ln(\alpha \beta) + \frac{1}{\beta} \ln t$	$\alpha$ es la constante de la ecuación Elovich (mmol/gmin) $\beta$ es el exponente en la ecuación de Elovich (g/mmol)
Intraparticular	$q_t = k \sqrt{t}$	$k$ es la constante de difusión



Fuente. (R. K. Gautam, A. Mudhoo, G. Lofrano, and M. C. Chattopadhyay)

## 15. Ecuaciones

### 15.1 Cinética Lineal

#### Pseudo-First order

##### Forma lineal

$$\text{Log}(q_e - qt) = \log q_e - \left(\frac{k_1}{2.303}\right) * t \quad \text{Ecuación No.1}$$

#### Pseudo-Second order

##### Forma lineal

$$\frac{t}{qt} = \left(\frac{1}{kqe^2}\right) + \left(\frac{1}{qe}\right)t \quad \text{Ecuación No.2}$$

#### Intraparticular

##### Forma lineal

$$qt = k * t^{0,5} + x \quad \text{Ecuación No. 3}$$

#### Elovich

##### Forma lineal

$$qt = \frac{1}{B} * \ln B + \frac{1}{B} * \ln t \quad \text{Ecuación No. 4}$$

### 15.2 Isotermas de adsorción

#### Langmuir

##### Forma lineal

$$\left(\frac{ceq}{qeq}\right) = \frac{ceq}{qm * l} + \frac{1}{Klqml} \quad \text{Ecuación No.5}$$



## Freundlich

### Forma lineal

$$\ln q_{eq} = \ln K_f + \frac{1}{n} * \ln C_{eq} \quad \text{Ecuación No.6}$$

### 15.3 Eficiencia de eliminación (E) %

$$E(\%) = \frac{C_o - C_e}{C_o} * 100 \quad \text{Ecuación No.7}$$

Donde:

E: Muestra el porcentaje de eficiencia de eliminación (%)

C<sub>o</sub>: Concentración Inicial

C<sub>e</sub>: Concentración Final

### 15.4 Capacidad De Adsorción (q<sub>e</sub>)

$$q_e = \frac{(C_o - C_e) * V}{m} \quad \text{Ecuación No.8}$$

Donde:

C<sub>o</sub> = concentración de colorante inicial (mg / L).

C<sub>e</sub> = concentración de colorante en equilibrio (mg / L).

q<sub>e</sub> = cantidad de tinte adsorbido por unidad de adsorbente en equilibrio (mg / g)

m = la masa del adsorbente (g)

V = volumen de la solución de tinte (L).

### 15.5 Aplicación a escala

No.9

Ecuación

$$\dot{m} = \frac{Q(C_i - C_f)}{q_m} F$$



## 12. RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS

### 12.1 Síntesis de la muestra sintética de agua residual

Para realizar la caracterización de mi agua residual se llevó a cabo el proceso descrito en el ítem 13.3 en la ilustración 1. Se puede ver los materiales utilizados (urea, Azul de metileno, Cloruro de cinc, Hidrogenoftalato de potasio, sulfato de magnesio.) disueltos en 20 mL de agua destilada y posteriormente mezclado en una pipeta de 500mL.

**Ilustración No.1** Recuento procedimiento caracterización de agua sintética residual,



**Fuente.** Autoría propia

### 12.2 características físico-químicas de agua residual sintética

En la ilustración 2 se puede observar diferentes ensayos que se le tomaron a la muestra de agua residual sintética con el fin de conocer sus características fisicoquímicas.

En el Espectrofotómetro Dr 2800 Hachi Tomamos los datos de absorbancia, Dureza Mg, Dureza Ca, En el TURBIQUANT 3000 obtuvimos el valor de la turbidez, y en el Multiparametrico C862Consort se hallaron los siguientes parámetros: Conductividad, Resistividad, TDs, Salinidad Temperatura, pH.



**Ilustración No.2** Recuento ensayos de caracterización físico-química agua residual sintética.



Fuente. Propia

Tabla 12. Características físico-químicas agua residual sintética. .

Agua Residual Sintetica	
Color (Pt Co)	20
Dureza Mg (Mg/l CaCo3)	3,39
Dureza Ca (Mg/l CaCo3)	7
Turbiedad (NTU)	6,08
Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	674
Resistividad ( $\Omega\cdot\text{cm}$ )	1484
TDS (Mg/l)	359
Salinidad	0,4
Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	20,8
pH	3,3
Alcalinidad	-----
Magnesio(Mg/l Fe)	0,61

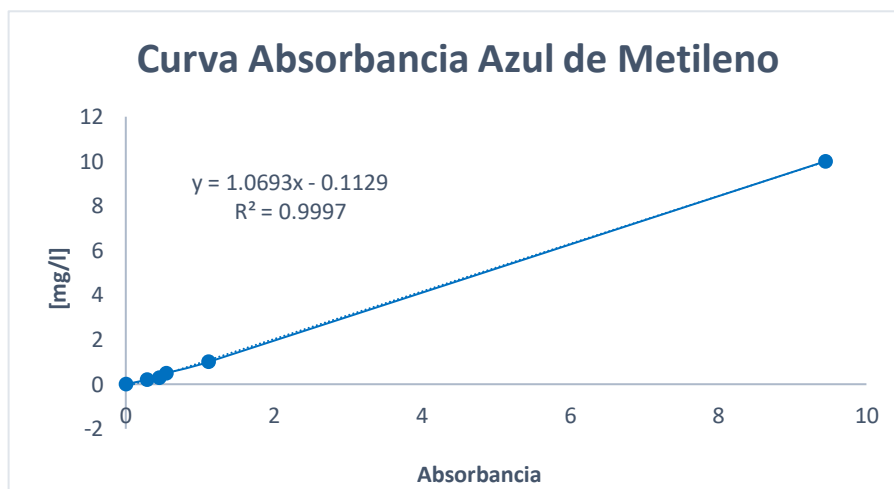
Fuente. Propia

Adicionalmente, para la determinación de la concentración de azul de metileno en el agua residual se realizó una curva de calibración para relacionar la absorbancia con la cantidad del compuesto orgánico. En la Tabla No.14 se ven las diferentes concentraciones de azul



de metileno utilizadas en las soluciones con sus respectivas absorbancias esto con el fin de crear la curva de calibración que posteriormente nos sirvió para calcular mis datos de concentración final.

**Grafico No. 1** Curva absorvancia Azul de metileno



**Fuente.** Propia

*Tabla 13. Dilución azul de metileno..*

DATOS DILUCIÓN AZUL DE METILENO	
[mg/l]	Absorbancia 600-663
0	0
0,2	0,292
0,3	0,455
0,5	0,545
1	1,117
10	9,447

**Fuente.** Propia



12.3 Síntesis de nano partículas magnéticas con óxido de zinc  
se realizó el procedimiento descrito en el ítem 13.3

**Ilustración No 3.** Proceso síntesis de nano partículas magnéticas



Fuente. propia

Se evidencia el proceso de la elaboración de las nanopaticulas  $ZnO@Fe_3O_4$  donde se controló minuciosamente las cantidades de  $CH_4N_2O$ , (0,5 g) de Hidrogenoftalato de potasio ( $C_8H_5KO_4$ ), (0,04g) de Cloruro de cinc ( $ZnCl_2$ ) (0,017g ) de Sulfato de magnesio ( $Mg SO_4 \cdot 7H_2O$ .), (0,0010g) de Azul de metileno( $C_{16}H_{18}N_3ClN_3S$ )Se cuidó que la temperatura las revoluciones de mezclado fuera la óptima, Al terminar el tiempo de mezclado con ayuda de un campo magnético se pudo separar el precipitado de color negro posteriormente secar en horno y almacenar en el refrigerador ,para posteriormente ser usado en los ensayos siguientes.

## 12.4 Caracterización

### 12.4. FTIR

En la Grafica No. 3 se muestran los espectros infrarrojos de las nanopartículas de  $ZnO@Fe_3O_4$  caracterizados por espectroscopia FTIR en el rango del número de onda de 400-3900  $cm^{-1}$ . Esta caracterización se utilizó para investigar los grupos funcionales de las



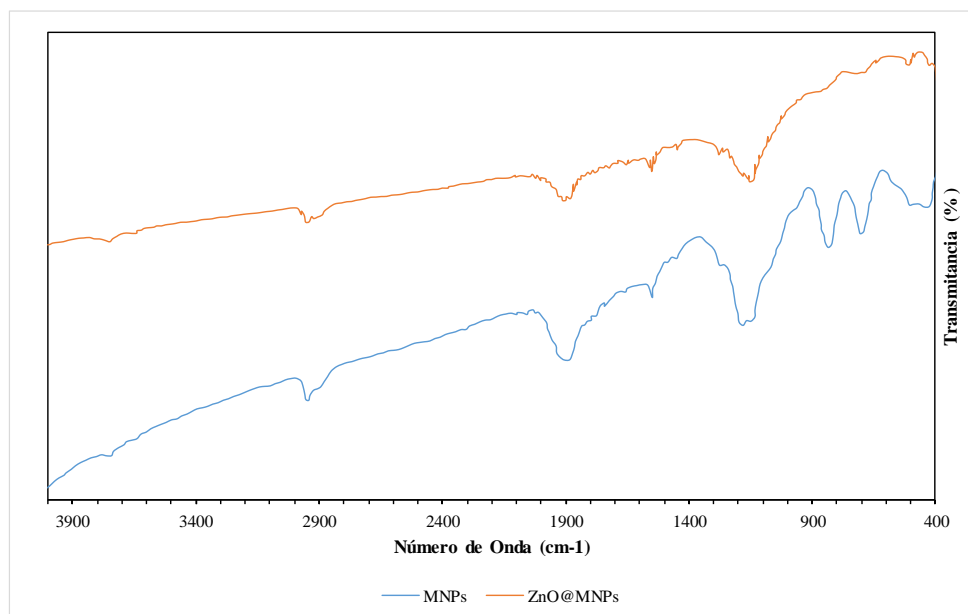
nanopartículas de ZnO/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> en los enlaces orgánicos e inorgánicos (Taufiq, Ulya, Sunaryono, 2019)

El enlace orgánico del compuesto de nanopartículas de ZnO/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> se muestra por el pico de absorbancia de 1100, 1900 y 3000 cm<sup>-1</sup> que representan el modo de vibración del enlace O-H causado por la vibración de la absorbancia del agua y la superficie del hidroxilo.

Se puede evidenciar que la única diferencia entre partícula magnética y la partícula con óxido de zinc, es el mismo óxido de zinc y sabiendo que el óxido de zinc no es orgánico por lo tanto no se ve reflejado en la gráfica, en 582,78 / cm y 820,21 cm<sup>-1</sup> se pudo unir a la partícula por un grupo funcional de Fe-O.

Primer pico en 400 cm<sup>-1</sup> nos dice que la partícula tiene hierro y oxígeno, el pico de 1100 es de hidroxilos

**Grafica No.2** Espectros FTIR de ZnO@Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>.



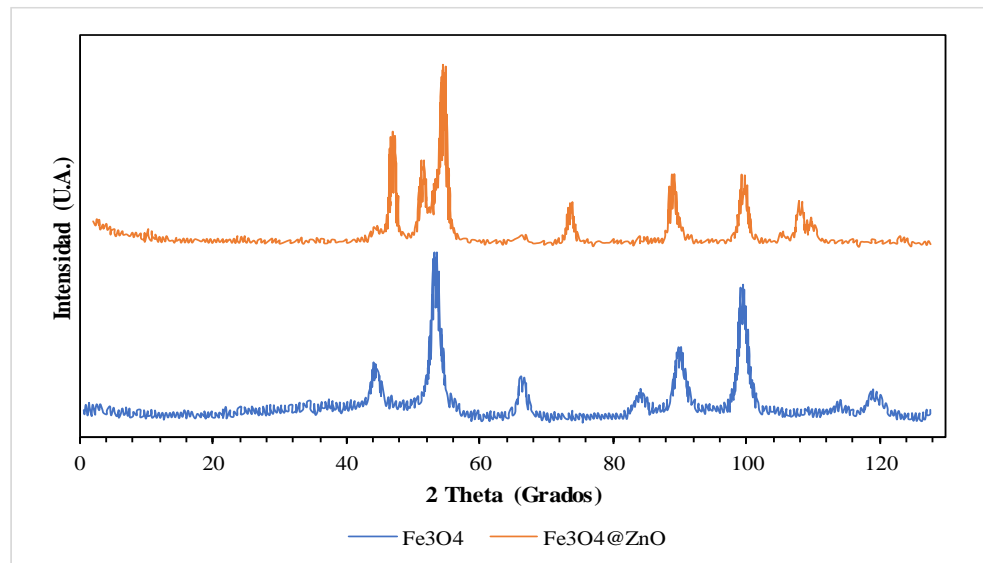
**Fuente.** Propia





## 15.5 XRD

Grafica No.3 Difractograma Zn@Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>



Fuente. Propia

La difracción de rayos X (XRD) es una de las técnicas más eficaces para el análisis cualitativo y cuantitativo de fases cristalinas de cualquier tipo de material, tanto natural como sintético.

Por medio de XRD se realizó la caracterización cristalográfica fue llevada a cabo por radiación con CrK $\alpha$  y Cu (1.5406 Å). El rango angular fue ajustado entre 20 y 120 grados con una velocidad de escaneo de 0.04°/s y un ancho de paso de 0.02. En la gráfica No. 3 muestran los difractogramas de MNPs obtenidas por síntesis convencional y Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@ZnO respectivamente.

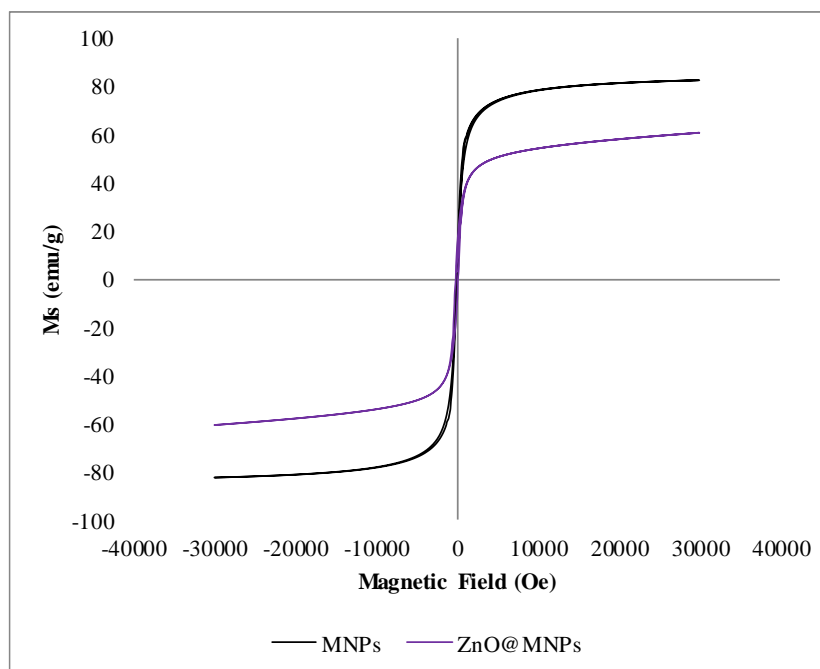
Se puede evidenciar que ambos espectros muestran picos como (220), (311), (400), (422), (511) y (440). Estos picos corresponden a una estructura cubica espinela. Los picos de XRD fueron indexados usando datos de International Center for Diffraction Data (ICDD) database. (Marimon, 2018)

Al comparar los dos espectros en el espectro Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@ZnO se puede ver la presencia de óxido de zinc en la molécula ya que se ve la diferencia de picos entre los dos espectros estos picos son 44, 46, 47, 76 desde 104 hasta 112 grados.

## 12.6 Magnetización



**Grafica No. 4** Curva comparativa de saturación magnética.



Fuente. propia

El parámetro de magnetización se obtiene a través de una curva de saturación magnética de las nanopartículas sintetizadas a una temperatura de 14 °C. En la curva de la gráfica 4 en donde su rango de actuación es como valor máximo de 82,679 emu/g, y el valor mínimo es de -82,679 emu/g.

Se evidencia una disminución de los átomos de hierro (III) a hierro (II) con la relación molar adecuada para una reacción de precipitación y por ende un ordenamiento adecuado de los momentos magnéticos (Marimon, 2018).

Esto es un comportamiento esperado ya que al agregarle nanopartículas de ZnO que es un material no magnético esto hace que disminuya el magnetismo de un valor de 82,679 emu/g a 60,61 emu/g



## 12.7 Ensayo de adsorción

### 12.7.1 pH

El valor inicial del agua residual sintética utilizada para este proyecto oscila en pH 4-5 en donde utilizamos una base (Sodio hidróxido) o un ácido (ácido sulfúrico) para ir cambiando el pH conforme lo estuviéramos necesitando.

#### Ilustración No.4 Toma de pH con pH-metro



Fuente. Propia

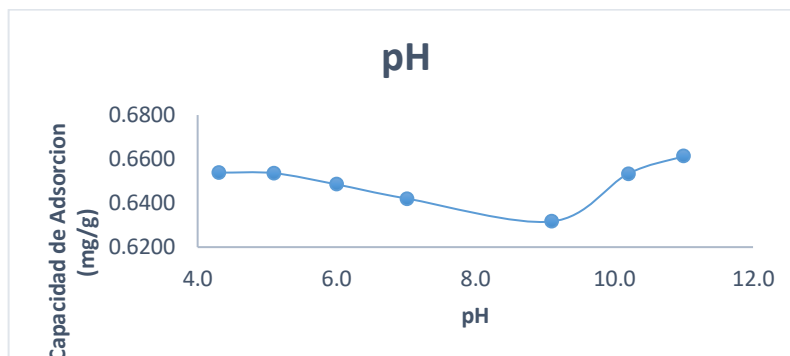
Tabla 14. Valores adsorción-variante pH..

pH	Qt
4,3	0,6538
5,1	0,6536
6,0	0,6485
7,0	0,6421
9,1	0,6317
10,2	0,6533
11,0	0,6613

Fuente. Propia



**Grafico No.5** Comportamiento de la adsorción variando el pH.



Fuente. propia

La protonación o desprotonación del grupo amino y carboxilo depende del pH. Para la glicina el pKa para el grupo carboxilo y amino es respectivamente 2,3 y 9,6. esto significa que a pH inferiores a 2,3 los grupos carboxilo y amino estarán protonados, la carga neta de la molécula será positiva. A pH entre 2,3 y 9,6 el grupo carboxilo esta desprotonado y el grupo amino protonado, siendo la carga neta del aminoácido cero. A pH superiores a 9,6 ambos grupos estarán desprotonados, siendo la carga neta negativa. (Urdiales,2005)

Esto quiere decir que la capacidad de adsorción es más alta en pH ácidos mientras más se acerca al pH neutro tiende a disminuir. En los pH extremos remueve mejor que a pH neutros.

#### 12.8 Efecto del tiempo en la concentración de Nanoparticulas Zno@Fe3O4

la capacidad de adsorción se tomó de nuestra agua residual sintética con 1 Ml de azul de metileno en donde se varió el tiempo de agitación en 3,5,10,15,20,30,45,60 minutos se esperaba 5 minutos para que las nanoparticulas se asentaran y poder se tomaba los datos de absorción con más exactitud que posteriormente estos datos nos servirían para calcular nuestro valor de qt a diferentes tiempos.

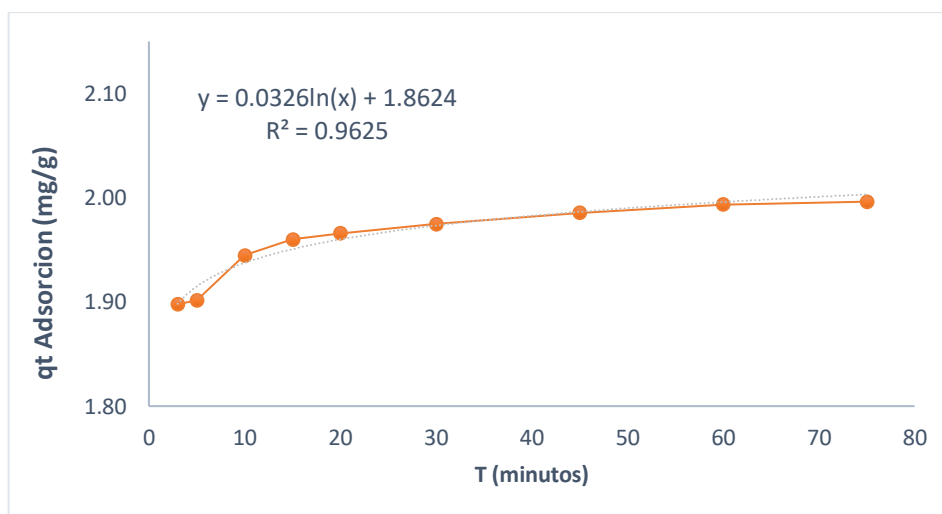


Tabla 15. Concentración final.

Tiempo (min)	qt
3	1,90
5	1,90
10	1,94
15	1,96
20	1,97
30	1,97
45	1,99
60	1,99
75	2,00

Fuente. propia

Grafico No. 6 Efecto del tiempo en la concentración de nanoparticulas.



Fuente. propia

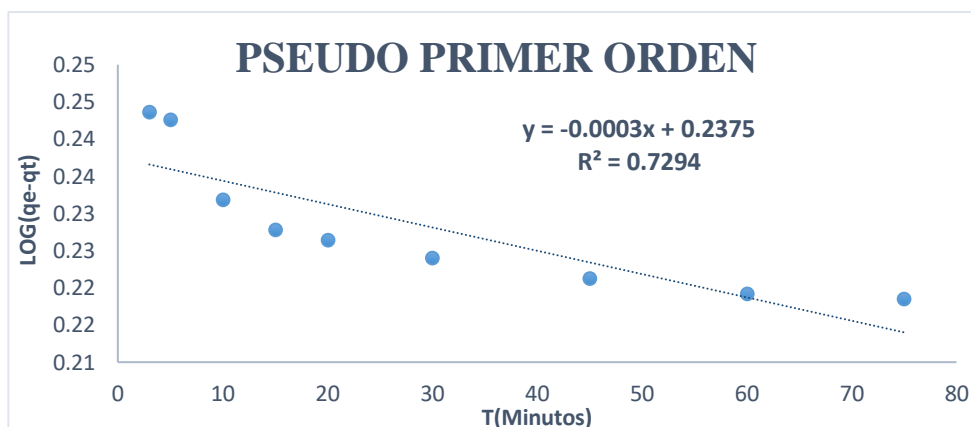
En el grafico No. 6 se puede ver el comportamiento de la concentración donde se ve el comportamiento cinético de la adsorción de azul de metileno sobre ZnO@Fe3O4.



Se determina el tiempo de equilibrio y el comportamiento cinético de la adsorción de Azul de metileno sobre  $ZnO@Fe_3O_4$ . Estos estudios se realizan con pH 5 ya que era el que naturalmente tenía mi agua residual sintética. Como se puede observar en el gráfico No.6 los tiempos de equilibrios alcanzados para la adsorción de Azul de metileno es de aproximadamente 30 minutos, dado que no existe una diferencia significativa con tiempos de adsorción de 24 horas.

### 12.9 Ajuste lineal de los modelos cinéticos de adsorción

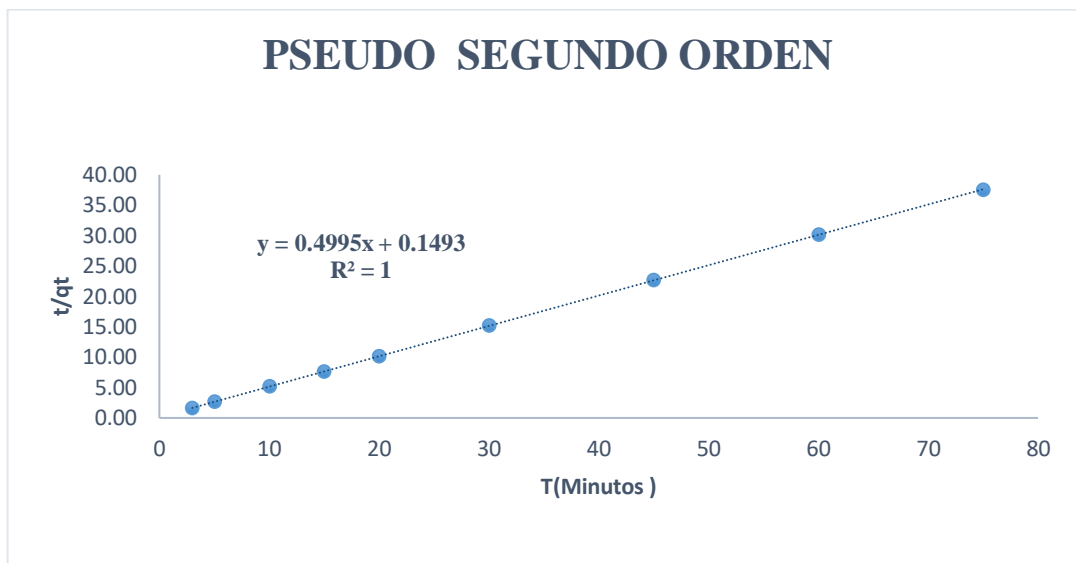
**Gráfico No.7** Modelo de cinética de adsorción pseudo primer orden



Fuente. propia

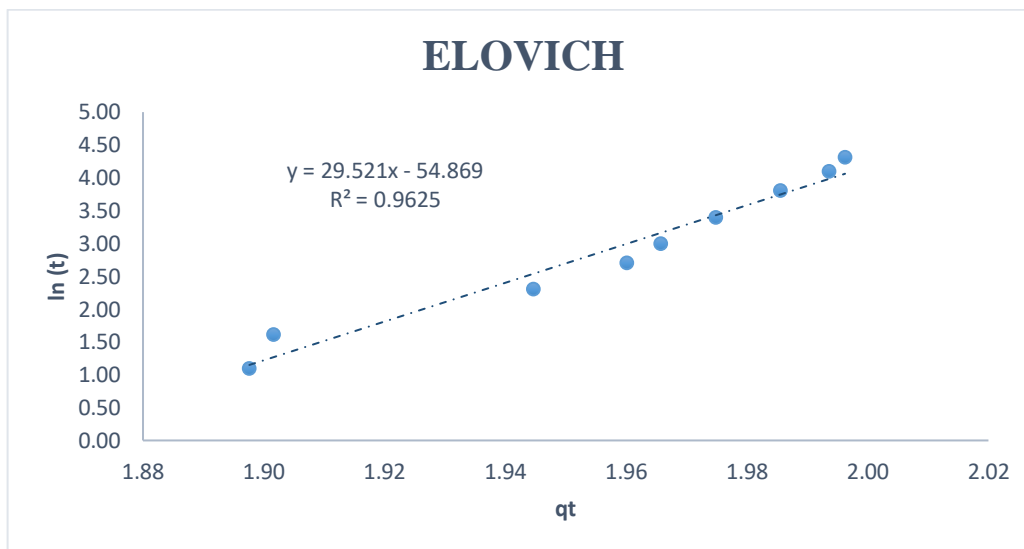


**Gráfico No.8** Modelo de cinética de adsorción pseudo segundo orden.



Fuente. Propi

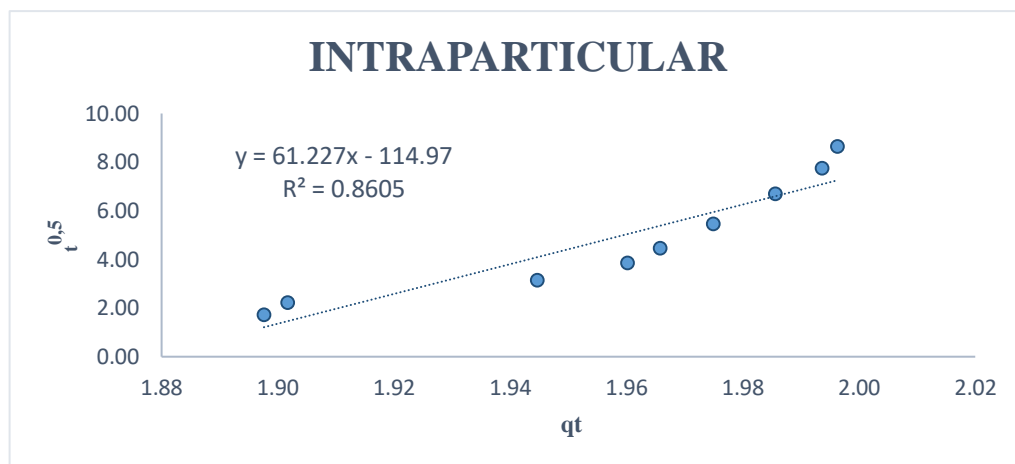
**Gráfico No.9** Modelo de cinética de adsorción Elovich



Fuente. propia



**Grafico No.10** Modelo de cinética de adsorción Intraparticular



Fuente. propia

Del ajuste linealizado se puede concluir que el modelo cinético que tiene un mejor ajuste con los datos experimentales y puede ser utilizado para describir la cinética de adsorción de azul de metileno sobre  $ZnO@Fe_3O_4$  es el modelo de Pseudo Segundo Orden ya que tiene un valor de  $R^2=1$ . Esto significa que la velocidad con la que se da la interacción entre el adsorbato y adsorbente es dominado por las interacciones de orden químico (quimisorción), predominando sobre el transporte de adsorbato del seno de la fase líquida a la capa hidrodinámica localizada alrededor de la partícula, así como el transporte de esta capa hidrodinámica hasta la superficie de del adsorbente (Marimon, 2018)

Tabla 16. Tabla resumen Modelos de cinética de adsorción.

Modelo cinético	qe	R <sup>2</sup>	K
Pseudo Segundo orden	-3,90,E-15	0,7794	0,0003
Pseudo primer orden	2,0020	1	1,6711
Interparticular	x	R <sup>2</sup>	K
	144,97	0,8605	61,27
Eolith	α	R <sup>2</sup>	β
	2,52E+24	0,9625	0,03387419

Fuente. propia





### 12.10 Efecto de la cantidad de Nanoparticulas en nuestra agua residual sintética.

#### Isotermas de adsorción

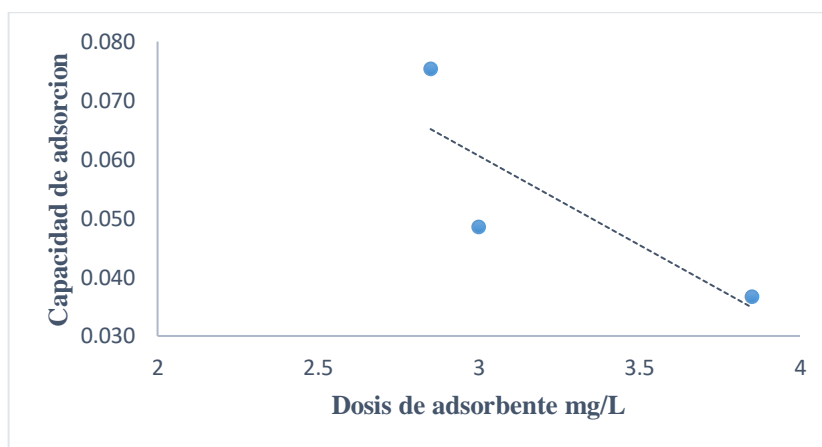
la capacidad de adsorción se tomó de nuestra agua residual sintética con 1 MI de azul de metileno en función de la concentración del adsorbente en donde se varió la cantidad de Nanoparticulas de  $ZnO@Fe_3O_4$  con valores de ;1.14g, 1.42, 2.14, 2.85,3 y 3.85gr

**Ilustración No.5** Agua residual con diferentes cantidades de Nanoparticulas



Fuente. propia

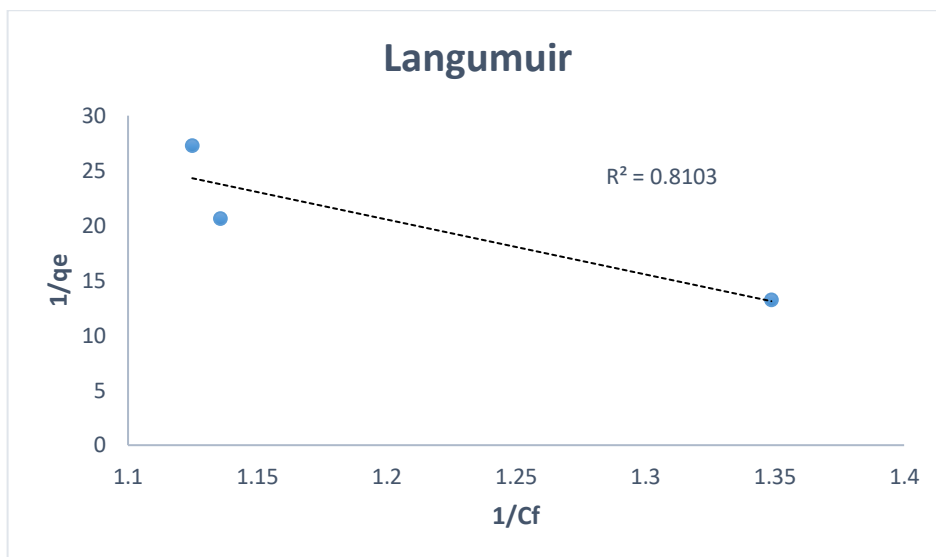
Grafico No. 11 Dosis de adsorbente



Fuente. propia

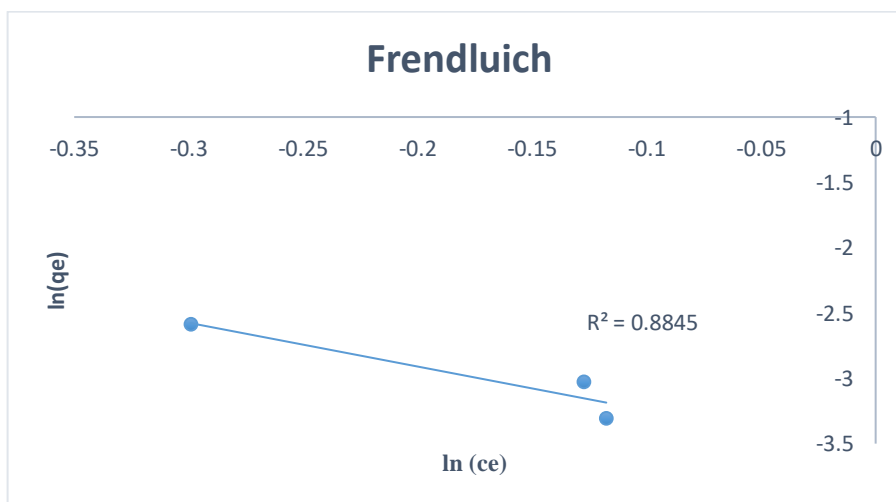


**Grafico No. 12** Modelo Isotermas Langumuir



Fuente. propia

**Grafico No.13** Modelo Isotermas Frencluich



Fuente. propia


 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia	FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL	ELABORÓ: <b>Angie Rodríguez</b> CÓDIGO: <u>506914</u>
		DIRECTOR: <b>PhD. WILFREDO BOLIVAR</b> Director del proyecto de investigación

Tabla 17. Tabla Resumen Modelos isotermas.

PARAMETRO		VALOR
Langmuir	qm.	0,012412
	$K_L$	1,610688
	$R^2$	0,8103
Freundlich	$K_F$	35,887
	N	0,298499
	$R^2$	0,8845

Fuente. propia

La diferencia entre los valores de  $R^2$  de Langmuir y Freundlich no es tan significativa, pero para una mayor precisión en el de adsorción del azul de metileno es el método de Freundlich

### 12.11 Máxima capacidad de adsorción de algunos adsorbentes.

Tabla 18. Comparación de capacidad de adsorción entre algunos adsorbentes

Material	qm (mg/g)	Co(mg/L)	Relación (qm/Co)	Referencia
Nanopartículas de óxido de zinc	21,79	60	0,363166667	42
Bicarbonato magnético y carbón activado mediante extrusión en molino de bolas con nanopartículas de Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	18,3	250	0,0732	43
Nanopartículas magnéticas Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> y carbón activado	57,47	100	0,5747	44
Compuesto de grafito expandido modificado/Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	79,05	100	0,7905	45
Este estudio	0,01241234	1	0,0124	-

Fuente. propia



### 12.12 Efecto de combinación con ozono

Utilizando la ecuación No.7

$$E = \frac{C_i - C_f}{C_f} * 100$$

Para calcular el porcentaje de remoción de azul de metileno en mi agua sintética que tenía una concentración inicial de 1 mg/L y una concentración final de 0.628 mg/L proveniente del ensayo de cinética de adsorción en el que se varió el tiempo de 1 a 20 minutos se usaron 4 soluciones de 250mL de agua con 10 mL de  $ZnO@Fe_3O_4$  donde la primera solución era solo mi agua residual sintética, la segunda tenía agua residual sintética mas nanoparticulas de  $ZnO@Fe_3O_4$ , la tercera era agua residual sintética más nanoparticulas mas O<sub>3</sub> y por ultimo agua residual sintética mas O<sub>3</sub>.

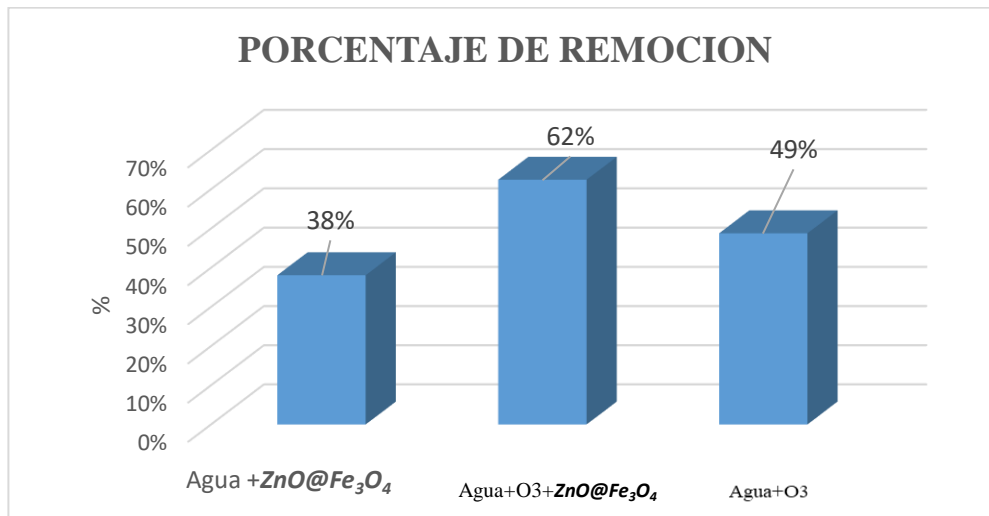
**Ilustración No 6** Test de jarras con Ozono



Fuente. propia

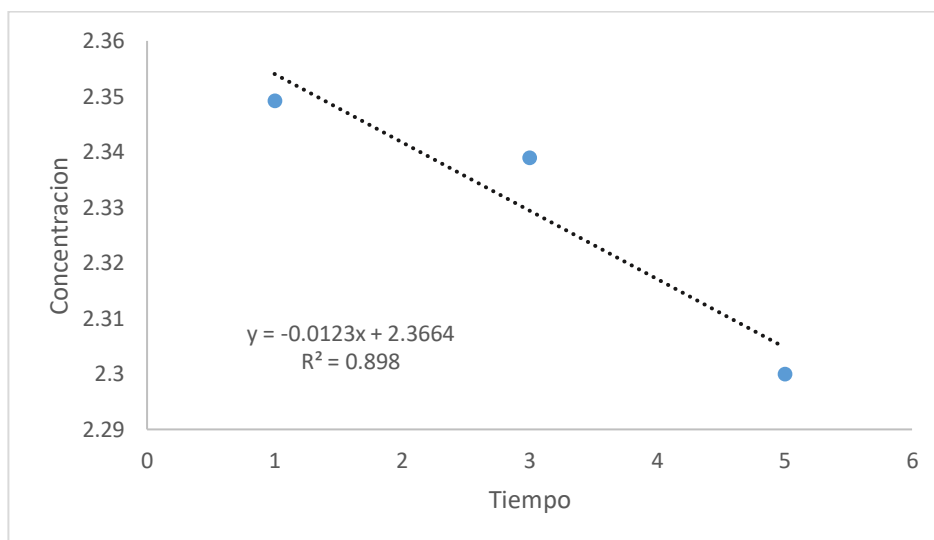


**Grafico No.14** Porcentaje de remoción.



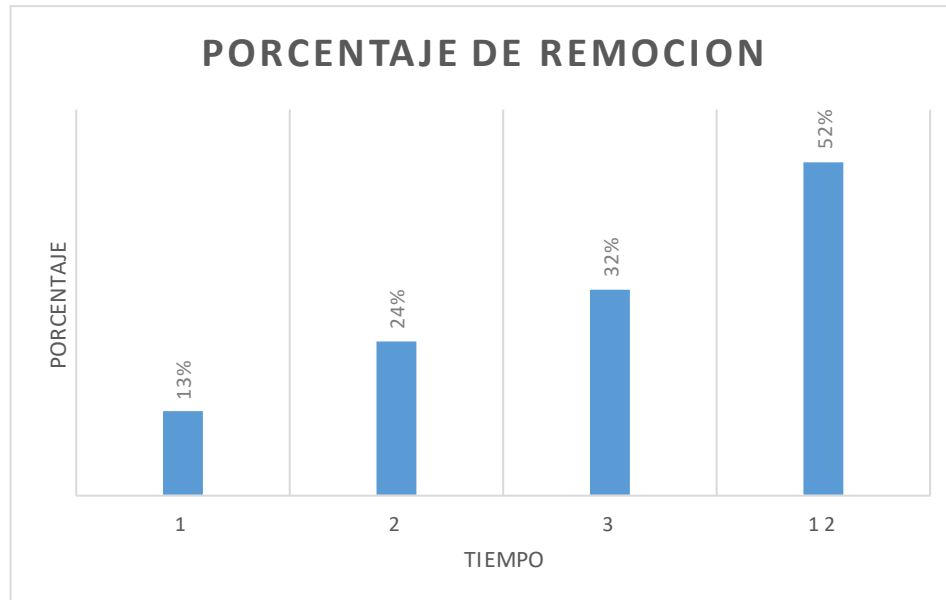
**Fuente.** Propia

**Grafico No.15** Concentración de azul de metileno.



Fuente. propia

**Grafico No.16** Porcentaje de remoción respecto al tiempo.



Fuente. propia

Se evidencia del grafico No .16 es que tiene mejor respuesta de porcentaje de remoción de azul de metileno de nuestra agua residual sintética es la combinación de Ozono+nanoparticulas ZnO@Fe3O4 la segunda alternativa más efectiva es el Ozono ya que se evidencio que elimina el colorante a gran rapidez y con gran eficacia, y por ultimo las nanoparticulas ZnO@Fe3O4 ya que a la hora de tomar los datos de la absorbancia se podría generar un margen de error ya que las nanopartículas no se sedimentaban a gran rapidez y quedaban flotando en el agua y esto afecta la toma de datos.

El grafico No.15 nos dice que a mayor tiempo menor concentración de azul de metileno va poseer nuestra agua residual.

Y el grafico No.16 se evidencia que a mayor exposición de nuestra agua residual con el Ozono se va a tener un mejor porcentaje de remoción de colorante.

12.13 Comparación características fisicoquímicas de agua residual después de tratamiento con ozono y ZnO@Fe3O4

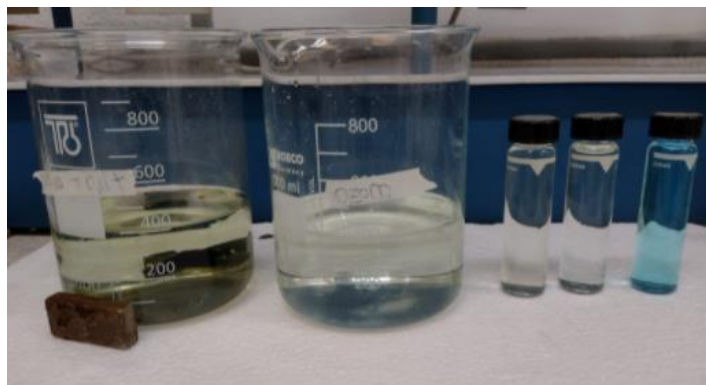


Tabla 19. Cuadro comparativo de características físicoquímico

Agua Residual Sintetica		Agua residual+Ozono +	Ozono
		Nanoparticulas	
Color (Pt Co)	20	69	32
Dureza Mg(Mg/l CaCo3)	3,39	3,35	3,75
Dureza Ca (Mg/l CaCo3)	7	0,23	8
Turbiedad (NTU)	6,08	1,06	0,488
Conductividad ( $\mu$ S/cm)	674	852	826
Resistencia ( $\Omega \cdot$ cm)	1484	1174	1210
TDS (Mg/L)	359	453	440
Salinidad	0,4	0,4	0,4
Temperatura ( $^{\circ}$ C)	20,8	20,4	20,5
pH	3,3	3,0	2,7
Alcalinidad	-----	300	350
Magnesio Mg/l Fe)	0,61	0,41	0,74

Fuente. propia

Ilustración No.7 Diferencias de colores entre el agua residual sintética



Fuente. propia



En la ilustración No. 7 se puede ver las diferentes tonalidades que puedes obtener nuestra agua sin tratar y las tratadas el frasco con agua azul es el agua residual inicial sin ningún tipo de tratamiento las dos de al lado ya fueron tratadas con Ozono+ ZnO@Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> y la otra solo con ozono en este caso la que fue tratada con ozono dio un color menor que la que tiene nano partículas esto porque las partículas no sedimentan bien en corto tiempo y las nanoparticulas pueden quedar flotando y afectando la toma de datos.

Hay valores que no tienen gran cambio como la Dureza Mg, El pH, cantidad de Magnesio, Resistencia.

Los valores que si tienen cambios significativos son la turbiedad, la dureza Ca, la conductividad, un factor que no cambie a es la salinidad su valor es igual con o sin tratamiento.

El ozono demuestra optimizar las características físico químicas del agua residual, Las nanoparticulas conjunto con ozono es una muy buena alternativa, pero se tendrá que implementar un buen campo magnético que retenga nuestras nanoparticulas para evitar que queden esparcidas por nuestra agua residual.





### 13. APLICACIÓN A ESCALA EN AGUAS RESIDUALES PARA ELIMINAR AZUL DE METILENO

Se utiliza la ecuación No. 9 donde se va a tratar un emisario contaminado con colorante azul de metileno de flujo promedio  $3000 \text{ m}^3/\text{día}$  y concentración inicial del tinte de  $3000 \text{ ppb}$  esto con el fin de lograr una concentración que cumpla con la regulación colombiana (Decreto 1594 de 1984) de  $500 \text{ ppb}$  ( $0.5 \text{ mg/L}$ )

Donde la cantidad de nano material requerido está dado por la ecuación:

$$\dot{m} = \frac{Q(C_i - C_f)}{q_m} F$$

$\dot{m}$ = cantidad de nano material necesario para el tratamiento ( $\text{g/día}$ ),


$Q$  = caudal a tratar ( $\text{m}^3/\text{día}$ )

$C_i$  =concentración inicial de AM (ppb)

$C_f$  = concentración a la que se quiere llevar el contaminante en el efluente de salida (ppb)

$F$ = factor de seguridad de tratamiento con valores entre 1.3 y 1.7 (Marimon, 2018)

$$\dot{m} = \frac{3000(3000-500)}{q_m 0,012412} 1,5 = 906,38 \times 10^6 \text{ g/día}$$

 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia	FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL	ELABORÓ: <b>Angie Rodríguez</b> CÓDIGO: <u>506914</u>
		DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO BOLIVAR</u> Director del proyecto de investigación

#### 14. RECOMENDACIONES

- Se recomienda tomar como mínimo 10 datos en cada ensayo a realizar ya que esto disminuirá el porcentaje de error en cada calculo.
- Se debe tener un campo magnético con las características optimas que permitan que las nanoparticulas se asienten bien y no queden flotando en el fluido ya que esto afectara en la toma de la absorbancia dando como resultado datos erróneos.
- Se recomienda esperar un tiempo mínimo de 10 minutos antes de tomar los datos de absorbancia para que estos sean más precisos.
- Tener precisión en las cantidades de cada componente para la sintetización del agua residual es de gran importancia ya que puede variar drásticamente el resultado.
- Se recomienda después de cada ensayo realizado en el laboratorio pasar los datos obtenidos en una hoja de cálculo, para así saber si los resultados están dando correctamente o se requiere repetir el ensayo.
- Se recomienda siempre tener en cuenta el pH inicial del agua residual antes de iniciar con cada ensayo de laboratorio ya que el pH influye en los resultados, se recomienda un pH en 9-11.



## 15. CONCLUSIONES

- Se evidencia es que al utilizar el ozono en conjunto con las nanopartículas de  $ZnO@Fe_3O_4$  se puede potenciar el efecto del ozono.
- Al adicionarle 10 ml de solución de nanopartículas de  $ZnO@Fe_3O_4$  a 1000ml de agua residual sintética aumenta la remoción en un 13 % el porcentaje de remoción que tiene el ozono solo
- Se evidencian que las características fisicoquímicas que más cambian a la hora de tratarse con Ozono y nanopartículas  $ZnO@Fe_3O_4$  son la turbiedad, el color, TDs. El pH es un factor que puede variar, pero no es un valor muy significativo. Los valores que no tuvieron cambio después del tratamiento fueron la salinidad, temperatura y Dureza Mg.
- la metodología que fue utilizada para sintetizar las nanopartículas  $ZnO@Fe_3O_4$  fue optima debido a que en la gráfica de espectros FTIR se evidencia que la partícula tiene Hierro, oxígeno, Hidroxilos que certifica que mi partícula si tenía lo que yo pensaba.
- De la gráfica de Difractograma  $ZnO@Fe_3O_4$  se obtuvo casi el mismo patrón en los dos espectros cristalográficos a excepción de en los picos 44,46, 47,76 desde 104 hasta 112 grados en donde presuntamente la molécula tendría óxido de zinc.
- La grafica de la curva de comparación de magnética tiene el comportamiento esperado ya que al agregarle nanopartículas de ZnO que es un material no magnético esto hace que disminuya el magnetismo de un valor de 82,679 emu/g a 60,61 emu/g
- El modelo cinético que tiene un mejor ajuste con los datos experimentales y puede ser utilizado para describir la cinética de adsorción de azul de metileno sobre  $ZnO@Fe_3O_4$  es el modelo de Pseudo Segundo Orden ya que tiene un valor de  $R^2=1$
- El modelo de isotermas que tiene un mejor comportamiento en cuanto a el ajuste de datos es Freundlich con un  $R^2=0,88$  que es superior al valor de Langmuir.
- la capacidad de adsorción es más alta en pH ácidos mientras más se acerca al pH neutro tiende a disminuir. En los pH extremos remueve mejor que a pH neutros. En este caso los pH más óptimos fueron el 4 y el 11.
- El porcentaje más alto de remoción de azul de metileno de nuestra agua residual sintética es la combinación de Ozono+nanopartículas  $ZnO@Fe_3O_4$  con 62% de remoción.
- A mayor cantidad de tiempo con Ozono+nanopartículas  $ZnO@Fe_3O_4$  mas alto va a ser el grado de remoción del colorante.



**UNIVERSIDAD CATÓLICA**  
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

ELABORÓ: **Angie Rodríguez** CÓDIGO: 506914

DIRECTOR:  
PhD. WILFREDO BOLIVAR  
Director del proyecto de investigación

## 17. ANEXOS

Anexo A




**UNIVERSIDAD CATÓLICA**  
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

ELABORÓ: Angie Rodríguez CÓDIGO: 506914

DIRECTOR:  
PhD. WILFREDO BOLIVAR  
Director del proyecto de investigación

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

**NOMBRE DE LA ASIGNATURA/PROYECTO DE INVESTIGACIÓN/SEMILLERO DE INVESTIGACIÓN/TRABAJO DE GRADO QUE SUSTENTA LA SOLICITUD DE TIEMPO DE LABORATORIO: UTILIZACIÓN DE NANOPARTÍCULAS MAGNÉTICAS MULTIFUNCIONALES (ZnO-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) Y OZONO PARA LA DEGRADACIÓN ELIMINACIÓN DE 4-CLOROFENOL EN AGUA RESIDUAL GANADERA(4).**

**IDENTIFICACIÓN DE LOS SOLICITANTES DE TIEMPO DE LABORATORIO:**

CÓDIGO	NOMBRES Y APELLIDOS	E-MAIL @ucatolica.edu.co	TELÉFONO
506914	ANGIE TATIANA RODRIGUEZ TRUJILLO	Atrodriguez14@ucatolica.edu.co	3222654725
	WILFREDO MARIMON BOLIVAR	wmarimon@ucatolica.edu.co	300 829 7875

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

ID	HORARIO IDEAL			HORARIO OPCIONAL			ESPACIO SOLICITADO <sup>(2)</sup> (A-B-C-D-E)	ENSAYO(S) A REALIZAR EN CADA LAPSO
	FECHA (dd/mm/AA)	HORA INICIO <sup>(1)</sup> (HH:MM)	HORA FIN <sup>(1)</sup> (HH:MM)	FECHA (dd/mm/AA)	HORA INICIO <sup>(1)</sup> (HH:MM)	HORA FIN <sup>(1)</sup> (HH:MM)		
1	22/02/2021	3:00PM	5:00PM	24/02/2021	8:00AM	10:00AM	D	PREPARACION DE LA SOLUCION
2	23/02/2021	3:00PM	5:00PM	26/02/2021	8:00AM	10:00AM	D	PREPARACION DE LA SOLUCION
3	01/03/2021	3:00PM	5:00PM	03/03/2021	8:00AM	10:00AM	D	ENSAYO DE ADSORCION
4	02/03/2021	3:00PM	5:00PM	05/03/2021	8:00AM	10:00AM	D	ENSAYO DE ADSORCION
5	08/03/2021	3:00PM	5:00PM	10/03/2021	8:00AM	10:00AM	D	ENSAYO DE ADSORCION

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

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

MATERIALES /EQUIPOS/ INSUMOS A USAR	UND	CANT	A CARGO:	
			LAB	USU
Agitador	U	1	X	
Vaso de precipitado	U	2	X	
Placa calefactora	U	1	X	
Papel cinta tornasol para pH	U	10	X	
Papel de filtro circular	U	10	X	

OBSERVACIONES
Se utilizaras los reactivos y equipos asociados al proyecto de investigación

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

FIRMAS

Tatiana Rodriguez

Ve a C



## 18 . BIBLIOGRAFIA

1. Weinberg. Febrero del (2009). *Guía para las ONG sobre los Contaminantes Orgánicos Persistentes*, México. [en línea].  
[https://ipen.org/sites/default/files/documents/ngo\\_guide\\_pops-es.pdf](https://ipen.org/sites/default/files/documents/ngo_guide_pops-es.pdf)
2. UNESCO World Water Assessment Programme (2019) *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos*. [en línea].  
<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367304>
3. ORGANIZACIÓN DE NACIONES UNIDAS, (2019). *Agua* | Naciones Unidas. [en línea].  
Disponible en: <https://www.un.org/es/sections/issues-depth/water/index.html>.
4. GONZÁLEZ, R., (2011). *La Contaminación Del Agua*. Twenergy [en línea]. Disponible en: <https://twenergy.com/a/la-contaminacion-del-agua-412>.
5. María Teresa Oré, Gerardo Damonte (2014). *¿Escasez Del Agua?* Fondo Editorial de la pontificia Universidad Católica de Perú.
6. Sustentabilidad, *Ganadería Y Manejo Sustentable Del Agua*, [En línea]. Disponible <https://www.publitec.com/wp-content/uploads/GANADERIA-Y-MANEJO-SUSTENTABLE.pdf>
7. Mamani Q, W., Suarez R, N., & García T, C. (2003). *Contaminación del agua e impacto por actividad hidrocarburífera en aguaragüe*. FUNDACIÓN PIEB.)
8. Blanca Elena (2005) *la contaminación ambiental en México*, LIMUSA S.A, México D.C
9. Espinoza, M. A. (2016). *Tecnología Del Tratamiento Magnético Del Agua*. Obtenido [en línea]. De <https://www.linkedin.com/pulse/tecnolog%C3%ADa-del-tratamiento-magn%C3%A9tico-agua-marco-antonio-espinoza/>
10. Engineering, T. R. (Julio de 2004). *Nanotechnology and Nanoscience*. Obtenido de Nanotechnology and Nanoscience. [en línea]. Disponible en <http://www.nanotec.org.uk/finalReport.htm>



11. Cruz Rivera Mosqueda (septiembre 2011) *Uso del ZnO en la degradación del triclosan mediante irradiación de luz UV*, San Luis Potosí [en línea] Disponible <https://ipicyt.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1010/577/3/TMIPICYTR5U72011.pdf>
12. Monge, S.B., Silva M.T., Bengoa C. (sin fecha). *Manual técnico sobre procesos de oxidación avanzada aplicados al tratamiento de aguas residuales industriales* [en línea]. Disponible: [http://www.cyted.org/sites/default/files/manual\\_sobre\\_oxidaciones\\_avanzadas\\_0.pdf](http://www.cyted.org/sites/default/files/manual_sobre_oxidaciones_avanzadas_0.pdf)
13. Xavier Domenici, Wilson F. Jardim y Marta I. Litter (2004) *International PhD School on Advanced Oxidation Processes Removal of inorganic pollutants by heterogeneous photocatalysis*.
14. CHAUHAN, A.K., KATARIA, N. y GARG, V.K., 2020. *Green fabrication of ZnO nanoparticles using Eucalyptus spp. leaves extract and their application in wastewater remediation*. *Chemosphere*, vol. 247, pp. 125803. ISSN 18791298. [en línea]. DOI 10.1016/j.chemosphere.2019.125803. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125803>.
15. WANG, F., VAN HALEM, D., LIU, G., LEKKERKERKER-TEUNISSEN, K. y VANDER HOEK, J.P., 2017. *Effect of residual H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> from advanced oxidation processes on subsequent biological water treatment: A laboratory batch study*. *Chemosphere*, vol. 185, pp. [en línea]. 637-646. ISSN 18791298. DOI 10.1016/j.chemosphere.2017.07.073.
16. SANZ, A., 2016. *Nanopartículas de óxido de zinc para la mejora de dispositivos de almacenamiento de energía.*, (pp 8-10)
17. NARAYAN, R., 2010. *Use of nanomaterials in water purification*. *Materials Today* [en línea], vol. 13, no. 6, pp. 44-46. [Consulta: 24 marzo 2019]. ISSN 1369-7021. DOI 10.1016/S1369-7021(10)70108-5. [en línea]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1369702110701085#!>.
18. Sarai Bes Monge, A. M. (s.f.). *Manual técnico sobre procesos de oxidación avanzada aplicados al tratamiento de aguas residuales industriales*. [en línea]. Disponible CYTE: [http://www.cyted.org/sites/default/files/manual\\_sobre\\_oxidaciones\\_avanzadas\\_0.pdf](http://www.cyted.org/sites/default/files/manual_sobre_oxidaciones_avanzadas_0.pdf)



19. MONGE, S., TORRES, A., RIBEIRO, R., SILVA, A. y BENGOA, C., 2018. *Manual técnico sobre procesos de oxidación avanzada aplicados al tratamiento de aguas residuales industriales*. S.l.: s.n. ISBN 978-84-09-08637-5. [en línea]. Disponible en: <http://triton-cyted.com/wp-content/uploads/2019/04/Manual-sobre-oxidaciones-avanzadas.pdf>.
20. MARICELLY, M., CORTES, F. y CAMILO, F., 2013. *Tratamiento de agua basado en la adsorción de crudo en nanopartículas polares y no polares*. Informador Técnico (Colombia), vol. 77, pp. 59-68.
21. MEDINA, M., GALVÁN, L. y REYES, R., 2015. *Las Nanopartículas Y El Medio Ambiente*. Universidad, Ciencia y Tecnología [en línea], vol. 19, no. 74, pp. 49-58. ISSN 1316-4821. [en línea]. Disponible en: [http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1316-48212015000100005](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-48212015000100005).
22. Domènech, J. y. (enero de 2004). *Procesos Avanzados De Oxidación Para La Eliminación De Contaminantes*. Obtenido. [en línea]. de [https://www.researchgate.net/publication/237764122\\_Procesos\\_avanzados\\_de\\_oxidacion\\_para\\_la Eliminacion\\_de\\_contaminantes](https://www.researchgate.net/publication/237764122_Procesos_avanzados_de_oxidacion_para_la Eliminacion_de_contaminantes)
23. Marimón-Bolívar, W., & González, E. E. (2018). *Green synthesis with enhanced magnetization and life cycle assessment of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles*. *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*, 9,10 58–62. [en línea] <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2017.12.003>.
24. Marimón-bolívar, W., & González, E. E. (2018). *Study of agglomeration and magnetic sedimentation of Glutathione @ Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles in water medium* DYNA, 85(205), 20–27. [en línea] <https://doi.org/10.15446/dyna.v85n205.68245>.
25. ZOUHIER, M., TANJI, K., NAVIO, J.A., HIDALGO, M.C., JARAMILLO-PÁEZ, C. y KHERBECHE, A., (2020). *Preparation of ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/ZnO composite: Effect of operational parameters for photocatalytic degradation of dyes under UV and visible illumination*. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, vol. 390, no. September 2019, pp. 112305. ISSN 10106030. DOI 10.1016/j.jphotochem.2019.112305.





26. Engineering, T. R. (2004). *Nanotechnology and Nanoscience*. Obtenido [en línea] de Nanotecnología and Nanoscience: <http://www.nanotec.org.uk/finalReport.htm>.
27. Musa, Idrus , Harun , Marzuki , Wahab (2019), *A Comparative Study of Biogas Production from Cattle Slaughterhouse Wastewater Using Conventional and Modified Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) Reactors* International Journal of Environmental Research and Public Health [en línea ] [https://www.researchgate.net/publication/338290746\\_A\\_Comparative\\_Study\\_of\\_Biogas\\_Production\\_from\\_Cattle\\_Slaughterhouse\\_Wastewater\\_Using\\_Conventional\\_and\\_Modified\\_Upflow\\_Anaerobic\\_Sludge\\_Blanket\\_UASB\\_Reactors](https://www.researchgate.net/publication/338290746_A_Comparative_Study_of_Biogas_Production_from_Cattle_Slaughterhouse_Wastewater_Using_Conventional_and_Modified_Upflow_Anaerobic_Sludge_Blanket_UASB_Reactors)
28. Rodriguez J; Lopez J; Gonzales C, (2012) *Impactos y regulaciones ambientales del estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de América* [en línea] Disponible. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-31952012000400004](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952012000400004)
29. Corporación Ruta N (2016). Observatorio CT+i: *Informe No. 1 Área de oportunidad Nanotecnología para el tratamiento de aguas*. Salas G; Rosas N; Gáelas S; Guerrero V, (2016) *Síntesis de Nanopartículas de ZnO por el Método de Pechini* [en línea] Disponible: [https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/images/revista/volumen38/Sintesis\\_de\\_Nanoparticulas\\_de\\_ZnO\\_por\\_el\\_Metodo\\_de\\_Pechini.pdf](https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/images/revista/volumen38/Sintesis_de_Nanoparticulas_de_ZnO_por_el_Metodo_de_Pechini.pdf)
30. Noval E, Puentes C, Carrizo J(2016) *Magnetita (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>): Una estructura inorgánica con múltiples aplicaciones en catálisis heterogénea*, Universidad Nacional de Colombia[en línea] Disponible <http://www.scielo.org.co/pdf/rcq/v46n1/0120-2804-rcq-46-01-00042.pdf>
31. Mehrvar M, Gilbridec K ,McCarthy H,Laursenc A , Bostanc V, Pushchak R,(2012)*Photolytic treatment of organic constituents and bacterial pathogens in secondary effluent of synthetic slaughterhouse wastewater*, Chemical Engineering Research and Design[en línea] Disponible : <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263876211004552>
32. Weihua Cao, Mehrab Mehrvar (2011) *Slaughterhouse wastewater treatment by combined anaerobic baffled reactor and UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> processes*. Chemical Engineering Research and Design[en línea] Disponible : <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263876210003643>
33. Bedoya y;Montoya A ,(2009), *Gestión Del Agua En El Sector De La Ganadería Bovina En La Cuenca Río La Vieja Departamentos De Quindío Y Risaralda,Pereira* [En línea].Disponible: [file:///C:/Users/Usuario/Downloads/6281586132L795%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/6281586132L795%20(1).pdf)



34. MonjeD,(2016) *Postratamiento De Aguas Residuales En Plantas De Beneficio De Ganado Porcino Y Bovino Utilizando Humedales Artificiales,Manizales.[en línea].Disponible <http://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/bitstream/handle/20.500.12746/3132/VIVEROS%20MONJE%20DIANA%20CAROLINA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>*
35. Liliana Mahecha , Zoot, M.Sc, Luis A Gallego , Zoot, Esp Francisco J Peláez2 (2002)*Situación actual de la ganadería de carne en Colombia y alternativas para impulsar su competitividad y sostenibilidad.*Anquioquia [en línea].Disponible file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Dialnet-SituacionActualDeLaGanaderiaDeCarneEnColombiaYAlte-3242901.pdf
36. Baltasar Peñate (2016), *La Nanotecnología para el Tratamiento de las Aguas*
37. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
38. <https://www.aguasresiduales.info/revista/blog/sustancias-contaminantes-y-sus-efectos-en-la-calidad-del-agua>
39. Moezzi, A.; McDonagh, A. M.; Cortie, M. B., Zinc oxide particles: Synthesis, properties and applications. *Chemical Engineering Journal* 2012, 185-186, 1-22.
40. Barreto, G. P.; Morales, G.; Quintanilla, M. L. L.; pez, Microwave Assisted Synthesis of ZnO Nanoparticles: Effect of Precursor Reagents, Temperature, Irradiation Time, and Additives on Nano-ZnO Morphology Development. *Journal of Materials* 2013, 2013, 11.
41. Altan, M.; Yildirim, H., Effects of compatibilizers on mechanical and antibacterial properties of injection molded nano-ZnO filled polypropylene. *Journal of Composite Materials* 2012, 46 (25), 3189-3199.
42. Adaobi Igwegbe C, Ahmadi S, Adaobi IGWEGBE C. *Removal of Methylene Blue on Zinc Oxide Nanoparticles: Nonlinear and Linear Adsorption Isotherms and Kinetics Study.* Vol 38. Accessed May 15, 2021. <https://www.researchgate.net/publication/338502483>
43. Ruthiraan M, Abdullah EC, Mubarak NM, Nizamuddin S. Adsorptive removal of methylene blue using magnetic biochar derived from agricultural waste biomass: Equilibrium, isotherm, kinetic study. *Int J Nanosci.* 2018;17(5). doi:10.1142/S0219581X18500023
44. Carrillo, Y., & Herrera, J. (2019). Remoción de azul de metileno de cuerpos de agua utilizando nanopartículas magnéticas Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. Universidad Católica de Colombia.
45. Wu, K. H., Huang, W. C., Hung, W. C., & Tsai, C. W. (2021). Modified expanded graphite/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> composite as an adsorbent of methylene blue: Adsorption kinetics and isotherms. *Materials Science and Engineering B: Solid-State Materials for Advanced Technology*, 266, 115068. <https://doi.org/10.1016/j.mseb.2021.115068>
46. *Synthesis of magnetic Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@ZnO@graphene oxide nanocomposite for photodegradation of organic dye pollutant en linea:* <https://www.researchgate.net/publication/259650919> *The optimum conditions for synthesis of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>ZnO core-shell magnetic nanoparticles for photodegradation of phenol*



47. *Indicadores de pH*, Sosa Gustavo, 2010 En línea:  
[http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/12.IndicadoresdepH\\_9152](http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/12.IndicadoresdepH_9152)
48. Liang S, Guo X, Feng N, Tian Q. Isotherms, kinetics and thermodynamic studies of adsorption of Cu<sup>2+</sup> from aqueous solutions by Mg<sup>2+</sup>/K<sup>+</sup> type orange peel adsorbents. *Journal of Hazardous Materials*. 2010; 174: 756–762
49. Hossain M A, Ngo H N, Guo W S, Nghiem L D, Hai F I, Vigneswaran S, Nguyen T V. Competitive adsorption of metals on cabbage waste from multi-metal solutions. *Bioresource Technology*. 2014; 160: 79-88
50. Tejada, Candelaria; Herrera, Adriana P.; Núñez, Juan R. Adsorción competitiva de Ni (II) y Pb (II) sobre materiales residuales lignocelulósicos *Investigaciones Andina*, vol. 17, núm. 31, septiembre, 2015, pp. 1355-1367
51. C. Tejada-Tovar, A. Villabona-Ortiz y L. Garcés-Jaraba, “Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico”, *Tecno Lógicas*, vol. 18, no. 34, pp. 109-123, 2015.
52. R. K. Gautam, A. Mudhoo, G. Lofrano, and M. C. Chattopadhyaya, “Biomass-derived biosorbents for metal ions sequestration: Adsorbent modification and activation methods and adsorbent regeneration,” *J. Environ. Chem. Eng.*, vol. 2, no. 1, pp. 239-259, Mar. 2014.
53. Tejada Tovar, C., Villabona Ortiz, A. y Ruiz Paternina, E. (2016). Adsorción de Ni (ii) por cáscaras de ñame (*Dioscorea rotundata*) y bagazo de palma (*Elaeis guineensis*) pretratadas. *Revista Luna Azul*, 42, 30-43. Recuperado de [http://200.21.104.25/lunazul/index.php?option=com\\_content&view=article&id=12](http://200.21.104.25/lunazul/index.php?option=com_content&view=article&id=12)
54. Ercilia Garcés, L., Coavas Romero S, Evaluación de la capacidad de adsorción en la cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) modificada con quitosano para la remoción de Cr (vi) en aguas residuales, 2012 Recuperado de <https://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/140/tesis%20Garcés-Coavas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
55. Sánchez P. O. (2004). Estudio de la capacidad de adsorción del alginato de calcio en la remoción de Cr (III) en competencia con Fe (III) presentes en soluciones acuosas. *Tesis Ingeniería Química. UAE*