



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
SEDE ORELLANA
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

**PRODUCCIÓN DE NANOPARTÍCULAS MAGNÉTICAS A
PARTIR DE DESECHOS DE LA PLANTA DE CACAO CCN-51
(*THEOBROMA CACAO L*) PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS
CONTAMINADAS CON MERCURIO**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación.

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AMBIENTAL

AUTOR: JORDY EDUARDO NARANJO LUCIO

DIRECTOR: Ing. JULIO ROLANDO COELLO CABEZAS, Mgtr.

El Coca – Ecuador

2023

© 2023, **Jordy Eduardo Naranjo Lucio**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Jordy Eduardo Naranjo Lucio, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

El Coca, 21 de junio de 2023



Jordy Eduardo Naranjo Lucio

2200505853

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación, **PRODUCCIÓN DE NANOPARTÍCULAS MAGNÉTICAS A PARTIR DE DESECHOS DE LA PLANTA DE CACAO CCN-51 (*THEOBROMA CACAO L*) PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS CONTAMINADAS CON MERCURIO**, realizado por el señor: **JORDY EDUARDO NARANJO LUCIO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

FIRMA

FECHA

Ing. Jennifer Alexandra Orejuela Romero, Mgtr.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



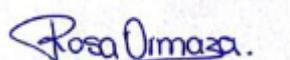
2023-06-21

Ing. Julio Rolando Coello Cabezas, Mgtr.
**DIRECTOR DEL TRABAJO DE
INTEGRACIÓN CURRICULAR**



2023-06-21

Biof. Rosa Maricela Ormaza Hugo, Mgtr.
**ASESORA DEL TRABAJO DE
INTEGRACIÓN CURRICULAR**



2023-06-21

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado primeramente a Dios quien ha sido mi guía y fortaleza en el transcurso de mi vida. A mis padres quienes con su amor, paciencia, esfuerzo y comprensión me han permitido llegar a cumplir hoy este sueño, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y dedicación, a mis hermanos Alexis, Mabel y Joseph quienes siempre han brindado su apoyo y ánimos para seguir adelante y culminar mis estudios. A mis amigos que me han apoyado siempre y que han sido parte de todo este proceso.

Jordy

AGRADECIMIENTO

Quiero utilizar este espacio para agradecer a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por brindarme la oportunidad de formarme como profesional. Mi sincero agradecimiento al Ingeniero Julio Coello tutor del presente trabajo, por compartir de manera generosa y magnánima todo su conocimiento durante el desarrollo de esta investigación, apoyo y comprensión durante el proceso de la realización del Trabajo de integración Curricular y su buena amistad. A la Biofísica Rosa Ormaza siendo miembro de este trabajo, por su colaboración, asesoramiento y por ser guía para la culminación del mismo.

Jordy

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
SUMMARY.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.1. Planteamiento del problema.....	2
1.2. Objetivos.....	2
1.2.1. <i>Objetivo general</i>	2
1.2.2. <i>Objetivos específicos</i>	3
1.3. Justificación.....	3
1.4. Hipótesis.....	3

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Contaminación del agua.....	5
2.1.1. <i>Principales contaminantes</i>	5
2.1.2. <i>Contaminación del agua con metales pesados</i>	6
2.1.3. <i>Consecuencias de la contaminación del agua por metales pesados</i>	6
2.1.3.1. <i>Contaminación de aguas por mercurio (Hg)</i>	6
2.2. Tratamientos de agua.....	7
2.2.1. <i>Tratamientos de aguas convencionales</i>	8
2.2.1.1. <i>Tratamiento primario</i>	8
2.2.1.2. <i>Tratamiento secundario</i>	9
2.2.1.3. <i>Tratamiento terciario</i>	9
2.2.2. <i>Tratamientos de aguas no convencionales</i>	10
2.2.2.1. <i>Lagunaje</i>	10
2.2.2.2. <i>Lechos bacterianos o filtros percoladores</i>	10
2.2.2.3. <i>Filtros verdes</i>	11

2.2.2.4. <i>Humedales artificiales</i>	11
2.3. Técnicas de remoción de metales pesados	11
2.3.1. Tratamientos convencionales	11
2.3.1.1. <i>Filtración por Membrana</i>	11
2.3.1.2. <i>Osmosis Inversa</i>	12
2.3.1.3. <i>Nanofiltración</i>	12
2.3.1.4. <i>Coagulación-Floculación</i>	12
2.3.2. Tratamientos no convencionales	12
2.3.2.1. <i>Adsorbentes de Bajo Costo y Nuevos Adsorbentes</i>	12
2.3.2.2. <i>Fitorremediación</i>	13
2.3.2.3. <i>Ceniza Volante</i>	13
2.4. Parámetros fisicoquímicos en el tratamiento de aguas	13
2.5. Prueba de Jarras	13
2.5.1. <i>pH</i>	14
2.5.2. <i>Turbiedad</i>	14
2.5.3. <i>Velocidad y tiempo de agitación</i>	14
2.5.4. <i>Temperatura del agua</i>	14
2.5.5. <i>Dosis de coagulante</i>	15
2.5.6. <i>Tiempo de sedimentación</i>	15
2.6. Marco legal	15
2.6.1. <i>Constitución de la República del Ecuador</i>	15
2.6.2. <i>Código Orgánico del Ambiente</i>	16
2.6.3. <i>Reglamento al Código Orgánico del Ambiente</i>	16
2.6.4. <i>Anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua</i>	16
2.7. Nanotecnología	16
2.7.1. <i>Nanotecnología en el tratamiento de aguas</i>	17
2.7.2. <i>Nanopartículas magnéticas</i>	17
2.7.3. <i>Síntesis de nanopartículas</i>	18
2.7.3.1. <i>Métodos físicos</i>	18
2.7.3.2. <i>Métodos químicos</i>	19
2.8. Técnicas de caracterización de nanopartículas	20
2.8.1. <i>Difracción de rayos X (DRX)</i>	20
2.8.2. <i>Análisis termogravimétrico (TGA)</i>	20
2.8.3. <i>Microscopio Electrónico de Transmisión (TEM)</i>	21
2.8.4. <i>Microscopía electrónica de barrido (MEB)</i>	21

2.8.5.	<i>Espectroscopia de infrarrojo (IR)</i>	21
2.9.	Producción de cacao (<i>Theobroma cacao L</i>)	21
2.9.1.	<i>Residuos de la producción del cacao</i>	23
2.10.	Revalorización de residuos	23

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	24
3.1.	Tipo y diseño de investigación	24
3.1.1.	<i>Identificación de Variables</i>	24
3.1.1.1.	<i>Variables dependientes</i>	24
3.1.1.2.	<i>Variables independientes</i>	24
3.1.2.	<i>Diseño experimental de la investigación</i>	25
3.1.3.	<i>Metodología experimental</i>	26
3.1.3.1.	<i>Obtención de la biomasa</i>	26
3.1.3.2.	<i>Pre-tratamiento de la biomasa</i>	27
3.1.3.3.	<i>Carbonización hidrotermal</i>	27
3.1.3.4.	<i>Caracterización de nanopartículas magnéticas</i>	27
3.1.3.5.	<i>Preparación del ambiente contaminado</i>	28
3.1.3.6.	<i>Desarrollo experimental (prueba de jarras)</i>	29
3.1.3.7.	<i>Eficacia de las nanopartículas magnéticas para la remoción de mercurio (Hg)</i>	29

CAPÍTULO IV

4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	30
4.1.	Resultados de síntesis, caracterización y aplicación de NPs magnéticas	30
4.1.1.	<i>Síntesis de nanopartículas magnéticas por carbonización hidrotermal</i>	30
4.1.2.	<i>Caracterización de nanopartículas magnéticas</i>	30
4.1.2.1.	<i>Espectrofotometría Infrarroja (IR)</i>	30
4.1.2.2.	<i>Microscopia electrónica de barrido (MEB)</i>	31
4.1.3.	<i>Eficacia de nanopartículas magnéticas</i>	32
4.1.3.1.	<i>Análisis de concentración de mercurio</i>	34
4.1.3.2.	<i>Análisis de parámetros de las unidades experimentales</i>	34
4.2.	Discusión de los resultados	37
4.3.	Comprobación de la hipótesis	40

CAPÍTULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	41
5.1.	Conclusiones.....	41
5.2.	Recomendaciones.....	42

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Propiedades del Mercurio (Hg).....	7
Tabla 4-1: Resultados de los parámetros físicos y químicos de las unidades experimentales....	33
Tabla 4-2: Valores significativos de conductividad eléctrica en las UE.....	39
Tabla 4-3: Porcentaje de remoción de mercurio.....	40

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 3-1: Diseño experimental de la investigación	25
Ilustración 3-2: Diseño experimental Reducido.....	26
Ilustración 4-1: Espectro IR de nanopartículas magnéticas de la cáscara de cacao.....	31
Ilustración 4-2: Imágenes MEB de Nanopartículas magnéticas de cáscara de cacao.....	32
Ilustración 4-3: Concentración de mercurio en las unidades experimentales.....	34
Ilustración 4-4: Resultados de pH de las 9 UE	35
Ilustración 4-5: Resultados de turbiedad en las 9 UE	36
Ilustración 4-6: Resultados de conductividad en las 9 UE.....	36
Ilustración 4-7: IR cáscara de cacao de la presente investigación.....	37
Ilustración 4-8: IR cáscara de cacao para absorción de cadmio en agua.....	38
Ilustración 4-9: Comparativa imagen MED de las investigaciones	39

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** RECOLECCIÓN DE TALLOS DE CACAO CCN-51
- ANEXO B:** RECOLECCIÓN CÁSCARAS DE CACAO CCN-51
- ANEXO C:** PRETRATAMIENTO DE LOS TALLOS DE CACAO
- ANEXO D:** PRETRATAMIENTO DE LAS CÁSCARAS DE CACAO
- ANEXO E:** SECADO DE CÁSCARAS Y TALLOS DE CACAO
- ANEXO F:** PESAJE DE TALLOS Y CÁSCARAS DE CACAO
- ANEXO G:** PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS PARA EL PROCESO DE SÍNTESIS DE
NPS MAGNÉTICAS POR CARBONIZACIÓN HIDROTHERMAL
- ANEXO H:** SECADO DE LA CÁSCARA DE CACAO POSTERIOR AL PROCESO DE
SÍNTESIS
- ANEXO I:** TRITURACIÓN DE LAS CÁSCARAS DE CACAO
- ANEXO J:** TAMIZADO DE LAS CÁSCARAS DE CACAO
- ANEXO K:** PREPARACIÓN DE LAS UNIDADES EXPERIMENTALES
- ANEXO L:** LECTURA DE PARÁMETROS DE LAS UNIDADES EXPERIMENTALES
- ANEXO M:** DESARROLLO DE LA PRUEBA DE JARRAS
- ANEXO N:** RESULTADOS DE HG EN CADA UNA DE LAS UE

RESUMEN

La contaminación del agua por metales pesados está agravando la escasez de este recurso, generando consecuencias negativas en el entorno natural, siendo el mercurio (Hg) uno de los metales pesados más peligrosos que se encuentra presente en los cuerpos de agua, mismo que puede viajar largas distancias y depositarse lejos de su fuente de origen, siendo absorbido por los organismos que se exponen a este y así introduciéndose con mayor facilidad en la cadena trófica. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue la producción de nanopartículas magnéticas a partir de desechos de la planta de cacao para el tratamiento de aguas contaminadas con mercurio. Para la metodología aplicada, se realizó la síntesis de las nanopartículas magnéticas (NPMs) mediante carbonización hidrotérmal (HTC) con ayuda de un autoclave, se aplicaron técnicas de caracterización de NPMs con ayuda del Microscopio Electrónico de Barrido (MEB) y la Espectroscopia de Infrarrojo (IR), además se determinó la eficacia de las nanopartículas magnéticas en el tratamiento de aguas contaminadas con mercurio mediante el desarrollo de la prueba de Jarras y el Espectrofotómetro de Adsorción Atómica. Los resultados obtenidos del desarrollo de esta metodología muestran una alta disminución en la concentración de mercurio, ya que en los ensayos se logró determinar un porcentaje promedio en la remoción de este metal del 88,42 por ciento tras la aplicación de 1,5 gramos de nanopartículas magnéticas, en las unidades experimentales (UE) 7, 8 y 9. Así pues, se concluyó que existe un beneficio positivo en el proceso de obtención de las nanopartículas magnéticas a partir de la cáscara de cacao considerando los porcentajes de remoción de mercurio alcanzados.

Palabras clave: <BIOMASA>, <CÁSCARA DE CACAO>, <MERCURIO (Hg)>, <NANOPARTÍCULAS MAGNÉTICAS (NPMs)>, <TRATAMIENTO DE AGUAS>.

Cristian Tenelanda, S
10-07-2023.

Ing. Cristian Tenelanda. S
0604686709



1400-DBRA-UPT-2023

SUMMARY

Water pollution by heavy metals is aggravating the shortage of resource, generating negative consequences in the natural environment, being mercury (Hg) one of the most dangerous heavy metals present in water bodies, which can travel long distances and be deposited far from its source origin, being absorbed by the organisms that are exposed to it and thus being introduced more easily into the trophic chain. Therefore, the objective about this work was production magnetic nanoparticles from cocoa plant waste for the treatment of mercury-contaminated water. For the applied methodology, the synthesis of magnetic nanoparticles (MNPs) was performed by hydrothermal carbonization (HTC) with help an autoclave, MNP characterization techniques were applied with the help of Scanning Electron Microscopy (SEM) and Infrared Spectroscopy (IR), In addition, the effectiveness of magnetic nanoparticles in the treatment of mercury-contaminated water was determined through the development Jar test and Atomic Adsorption Spectrophotometer. The results obtained from development this methodology show a high decrease in the concentration of mercury, since tests were able to determine an average percentage in the removal of this metal 88.42 percent after the application from 1.5 grams of magnetic nanoparticles in the experimental units (EU) 7, 8 and 9. Thus, it was concluded that there is a positive benefit in the process of obtaining magnetic nanoparticles from cocoa shells considering the mercury removal percentages achieved.

Keywords: <BIOMASS>, <CACAO SHELL>, <MERCURY (Hg)>, <MAGNETIC NANOPARTICLES (MNPs)>, <WATER TREATMENT>.

Translated by:



Lic. Zoila Victoria Herrera Andrade Mgs.

DOCENTE-SEDE ORELLANA ESPOCH

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de diversas actividades humanas son generadoras de desechos o desperdicios, los que sin un adecuado manejo pueden causar problemas medioambientales, puntualmente la contaminación del agua con metales pesados. Uno de estos metales es el mercurio (Hg), el cual posee características tóxicas pudiendo persistir y bioacumularse en el medio ambiente y seres vivos, por lo que es capaz de generar complicaciones debido a la exposición al mismo (Barceló y López de Alda, 2008: p.1).

En el Ecuador, el mercurio no se encuentra impune de formar parte de esta problemática creciente debido a su empleo en procesos industriales, mineros, agrícolas y urbanos en los últimos años. A pesar de que, estas actividades son una fuente de ingresos económicos para el desarrollo del país, también generan grandes impactos en los componentes social, ambiental y de salud (Calderón, 2020, p.19).

Es por ello que, el propósito de esta investigación es obtener nanopartículas magnéticas a partir de desechos de la planta de cacao para el tratamiento de aguas contaminadas con mercurio, puesto que actualmente, es uno de los metales con mayor presencia en los cuerpos de agua del país derivado de diversas actividades. Esto se impone como una alternativa amigable con el ambiente y de bajo costo en cuanto a producción se refiere, impulsando y aportando significativamente el bienestar humano y medioambiental.

El desarrollo del presente trabajo de investigación comprende 4 capítulos: en el primer capítulo se hablará de la formulación del problema, justificación, objetivos e hipótesis del trabajo de investigación. En el segundo capítulo se desarrolla el marco teórico que comprende la problemática de la investigación, las principales técnicas aplicadas en el tratamiento de aguas contaminadas, los conceptos básicos sobre nanopartículas magnéticas, formas de caracterización y la materia prima a utilizar para la obtención de las nanopartículas que son los desechos obtenidos de la planta de cacao.

En el tercer capítulo se desarrolla la metodología aplicada para la obtención de nanopartículas y su aplicación en tratamiento de aguas contaminadas con mercurio, todo esto a nivel de laboratorio. Mientras que, en el cuarto capítulo se discute los resultados obtenidos tanto en la obtención de las nanopartículas a partir de los desechos de la planta de cacao, como también de su aplicación en el tratamiento de aguas contaminadas.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

El agua, un compuesto increíblemente sencillo, pero que posee propiedades excepcionales y únicas que hacen imposible la vida en la Tierra sin esta (Azcona y González, 2012: p.64). Para que el ser humano y el ecosistema pueda prosperar, esa agua debe estar y conservarse limpia, al mismo tiempo que esté al alcance de todos. La contaminación del agua por metales pesados está agravando la escasez de este recurso, generando consecuencias negativas en el entorno natural y los bienes y servicios vinculados al ecosistema que éste ofrece (Banús y Bertrán, 2010: p.5).

El mercurio, considerado como uno de los metales pesados más peligrosos que se encuentra presente en los cuerpos de agua, puede viajar largas distancias y depositarse lejanamente de su fuente de origen, donde puede ser absorbido por bacterias y transformado en otros compuestos derivados de este, introduciéndose con mayor facilidad en la cadena trófica (Weinberg, 2010, p.11).

Los problemas de contaminación ambiental que actualmente se atraviesa en su gran mayoría son originadas por causas derivadas de las actividades humanas, siendo la contaminación de las aguas una de las principales problemáticas a combatir. Por lo expuesto, se convierte en una necesidad la investigación de nuevos productos naturales para el tratamiento de aguas con la intención de presentar nuevos productos que puedan tratar muy bien las aguas y sean eficientes, sin dejar algún tipo de residuo que pueda alterar su calidad y estado natural. Por esta razón se busca obtener nanopartículas magnéticas a partir de los desechos de la planta de cacao dándoles una reutilización a estos residuos, con la intención de aplicarlas en el tratamiento de aguas contaminadas con mercurio.

1.2. Objetivos

1.2.1. *Objetivo general*

Producir nanopartículas magnéticas a partir de desechos de la planta de cacao para el tratamiento de aguas contaminadas con mercurio.

1.2.2. Objetivos específicos

- Sintetizar nanopartículas a partir de desechos de la planta de cacao.
- Caracterizar las nanopartículas obtenidas de los desechos de la planta de cacao.
- Determinar la eficacia de las nanopartículas en el tratamiento de aguas contaminadas con mercurio.

1.3. Justificación

El agua es el recurso indispensable para la vida y la sostenibilidad de los ecosistemas. El ser humano depende de su disponibilidad no sólo para el consumo doméstico, sino también para el desarrollo de actividades agrícolas e industriales (Semarnat, 2012, p.258). Como consecuencia del rápido desarrollo humano, económico y del uso inadecuado que se ha hecho de ella, ha sufrido un alarmante deterioro (Barceló y López de Alda, 2008: p.1).

Desde ya hace varios años se conoce esta problemática que se ocasiona por diversos agentes contaminantes derivados de actividades humanas, entre los cuales se destacan los metales pesados. Algunos de estos tienen un papel importante en los organismos al ser parte fundamental en funciones bioquímicas y fisiológicas, sin embargo, en altas concentraciones pueden ocasionar envenenamiento causando la muerte, debido a que no pueden ser degradados o destruidos por el organismo. El propósito de esta investigación es producir nanopartículas a partir de desechos de la planta de cacao para el tratamiento de aguas contaminadas con mercurio (Ferrer, 2003, p.142).

La presente investigación se realiza con el fin de demostrar la eficacia de las nanopartículas obtenidas de los desechos de la planta de cacao que resultan de procesos experimentales en laboratorio, las cuales serán utilizadas para la remoción de mercurio presente en aguas, con la finalidad de presentar alternativas viables para combatir esta problemática que afecta la calidad de vida de la población.

1.4. Hipótesis

- **H0:** No son eficaces las nanopartículas magnéticas obtenidas de los desechos de la planta de cacao para el tratamiento de aguas contaminadas con mercurio.

- **HI:** Son eficaces las nanopartículas magnéticas obtenidas de los desechos de la planta de cacao para el tratamiento de aguas contaminadas con mercurio.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Contaminación del agua

El agua, un compuesto increíblemente sencillo, pero que posee propiedades excepcionales y únicas que hacen imposible la vida en la Tierra sin esta (Azcona y González, 2012: p.64). Para que el ser humano y el ecosistema pueda prosperar, esa agua debe estar y conservarse limpia, al mismo tiempo que esté al alcance de todos. La contaminación del agua está agravando la escasez de este recurso, generando consecuencias negativas en el entorno natural y los bienes y servicios vinculados al ecosistema que éste ofrece (Banús y Bertrán, 2010: p.5).

Se entiende por contaminación del agua a la acción o efecto de incorporar algún material o inducir condiciones sobre esta que, de manera directa o indirecta, impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación a los posteriores usos (Ibañez, 2012, p.15). Al estar en estas condiciones el ciclo del agua no tiene la capacidad para purificarla, por ello, se requieren diversos procesos para desinfectarla y hacerla apta para consumo humano (Chulluncuy, 2011, p.154). Esta es una problemática que afecta desde ya hace varios años, dándose en países en vías de desarrollo, como también en aquellos desarrollados, afectando a todos y cada uno de los sectores de la población.

2.1.1. Principales contaminantes

La contaminación del agua se puede originar de forma natural o antropogénico, debido a la industrialización y el desarrollo del hombre, por esto la generación de residuos es cada vez mayor y la gran mayoría de ellos terminan en los ríos mares, lagos, lagunas y en algunos casos en las aguas subterráneas, haciendo que estas se contaminen, por lo tanto, la contaminación hídrica en su mayoría es de origen antropogénico (Quispe et al., 2020: p.2).

Entre las principales fuentes de contaminación encontramos los vertidos de desechos domésticos, comerciales, hospitalarios, aguas servidas y sin olvidar los desechos industriales, los cuales son una enorme fuente de contaminación de los denominados metales pesados, siendo estos extremadamente perjudiciales para las personas y el medio ambiente. Por ende es conocido que, la contaminación del agua es un problema mundial y al mismo tiempo puede relacionarse con otros componentes medioambientales como lo es el aire y con el modo de uso del suelo (Peña, 2019, p.30).

2.1.2. Contaminación del agua con metales pesados

Actualmente en el mundo uno de los mayores problemas medioambientales es la contaminación hídrica a razón de metales pesados, debido a la toxicidad que estos presentan en las aguas, se los considera como un serio problema para la población que se abastece de dicho recurso (Pabón et al., 2020: p.9). A causa de su naturaleza química, estos compuestos son persistentes en el medio ambiente y no se degradan por métodos biológicos, químicos o físicos a productos más simples; sino que permanecen en el ambiente e incluso llegan a acumularse como iones en el organismo de los seres vivos por largos períodos de tiempo (Rodríguez et al., 2020: p.513).

2.1.3. Consecuencias de la contaminación del agua por metales pesados

Como resultado de las diversas actividades humanas algunos metales son liberados en el ambiente, muchos de estos son esenciales para la vida y sólo se convierten en tóxicos cuando la exposición a estos es excesiva, es decir, cuando exceden un límite determinado en el que comienzan a producir efectos perjudiciales (Márquez et al., 2005: p.60).

Según Romero (2009, p.45) cada elemento que conforma el grupo de metales pesados, puede acumularse en ciertos órganos específicos generando malestar de los individuo expuesto, pudiendo ir desde vómitos y afecciones al sistema nervioso, hasta causar la muerte. Mientras que, en el ambiente ocasiona la alteración del recuso suelo y agua, afectando a la fauna y alterando la composición de estos al grado de ocasionar la destrucción de los ecosistemas expuestos a estos contaminantes.

2.1.3.1. Contaminación de aguas por mercurio (Hg)

El mercurio (Hg) es un metal pesado altamente tóxico liberado al ambiente por fuentes de tipo natural (por erupciones volcánicas, incendios forestales y en la corteza terrestre) y antropogénicas (minería, la fundición de metales, la quema de combustibles fósiles, la fabricación de productos como baterías, pigmentos, cemento, y plásticos) (Mero et al., 2018: pp.624-625). Al ser liberado en el ambiente tiende a acumularse en el suelo y a su vez en las aguas superficiales y subterráneas estando disponible para ser absorbido por animales y plantas, de esta forma se incorporan a la cadena alimenticia siendo consumidos por otros organismos (Ramírez, 2002, pp.52-53). A continuación, se presenta algunas propiedades del mercurio (Tabla 2-1):

Tabla 2-1: Propiedades del Mercurio (Hg)

PROPIEDAD	VALOR
Peso atómico	200,59
Numero atómico	80
Punto de fusión	-38.87 °C
Punto de ebullición	356.58 °C
Presión de vapor a 25 °C	2×10^{-3} mmHg
Solubilidad al agua a 25 °C	20-30 µg/L

Fuente: (Weinberg, 2010, p.13)

Realizado por: Naranjo, Jordy, 2023.

La contaminación del agua por metales pesados es una problemática a nivel mundial y el Ecuador no es la excepción. Actividades como la agricultura, extracción petrolera al norte de la provincia y la minería ilegal en ciertos efluentes afecta seriamente a la calidad del agua, causando así complicaciones a la población que se beneficia de este recurso. Según un estudio realizado por Esmeraldas y Zambrano (2018: p.48) la concentración de mercurio (Hg) que se ha podido encontrar en las aguas del río Carrizal fue de 0,110 ppm (110 µg/L), esta concentración presente en estas aguas superan los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos por el Texto Unificado de Legislación Secundaria Medio Ambiental del Ecuador (TULSMA), el cual es de 0,0002 mg/L.

Los metales pesados son causantes de la contaminación ambiental, el mercurio al estar presente puede bioacumularse en el cuerpo humano principalmente en órganos como lo son los riñones y el hígado pudiendo ocasionar alteraciones a nivel enzimático, renal, respiratorio y digestivo, disfunción renal y enfermedades óseas (Ramírez, 2002, pp.52-53).

2.2. Tratamientos de agua

El origen de la contaminación de las aguas es antropogénico, estas se derivan de los hogares, instituciones, oficinas e industrias, las cuales al no ser tratadas antes de su descarga en los cuerpos receptores tienden a convertirse en tóxicas y patógenas generando consecuencia como efectos dañinos en la salud humana y el ambiente, generación de malos olores y un sinnúmero más de problemas que afectan la calidad de vida de las personas y poniendo en peligro este recurso (Comeau, 2017, p.9).

El tratamiento de las aguas mediante procesos físicos, químicos o biológicos es necesario para reducir de manera considerable los impactos potenciales que las descargas de estas generan, con la intención de favorecer la recuperación de productos finales, tales como el agua misma,

nutrientes, etc. El tratamiento de estas se puede lograr mediante la combinación de una variedad de procesos físicos (sedimentación, cribado, filtración), químicos (como coagulación y oxidación), térmicos (secado, incineración) y biológicos (en sistemas de biomasa suspendida o fija) (Comeau, 2017, p.9).

El tratamiento de las aguas dependerá primeramente de sus características iniciales, al mismo tiempo se tomará en cuenta el tipo de contaminantes que contenga y si estos pueden ser eliminados o neutralizados por medio de procesos físicos, químicos o biológicos. Por otro lado, para la selección del tratamiento se debe considerar las características de la zona, al igual que la disponibilidad de recursos de la población (Bracho et al., 2016: p.1).

2.2.1. Tratamientos de aguas convencionales

2.2.1.1. Tratamiento primario

El tratamiento primario tiene la función de eliminar los sólidos suspendidos, el cual se lleva a cabo mediante procesos de sedimentación gravitatoria o también a través de precipitación, sea producida o no por la adición de sustancias. La eliminación de sólidos se realiza mediante cribadas en base al tamaño de las partículas (Rodríguez, 2020).

A continuación, se menciona algunos procesos que se llevan a cabo en el tratamiento primario:

- **Reservorio:** Utilizado para el almacenamiento a largo plazo de aguas contaminadas. Tiene como objetivo el almacenar y así poder descargar las aguas residuales en la época requerida del año y obtener aguas residuales de alta calidad (Belzona Inc., 2010, pp.1-3).
- **Áreas de cribas:** En este proceso permite el paso solamente del agua y no la basura tales como son trapos y basuras. Una vez recolectada la basura se lleva a una moledora o pulverizadora que esto luego se desagua antes de disponerse de ella (Belzona Inc., 2010, pp.1-3).
- **Separador de Partículas Sólidas:** Para este proceso se utiliza una cámara de sedimentación que es un tanque grande. Esto disminuirá el caudal del agua. Luego se dejará que las partículas sólidas y sólido pesadas se asienten en el fondo, esto después será arrastrado, secado y se usara posteriormente como relleno (Belzona Inc., 2010, pp.1-3).
- **Sedimentación primaria:** En este proceso involucra la evacuación de materia sólida. Posteriormente, el drenaje fluye hacia grandes tanques de sedimentación en la cual las

partículas se asientan al fondo de dicho tanque. Un lodo crudo será barrido por restregadores eléctricos hacia una tolva que será bombeado a la planta de aprovechamiento de lodos. Por último, este líquido pasara al tratamiento de procesos secundarios (Belzona Inc., 2010, pp.1-3).

2.2.1.2. Tratamiento secundario

En esta etapa se encargará de eliminar toda materia orgánica disuelta y estado coloidal, mediante procesos de oxidación bioquímicos. Además, las sustancias originadas por los desechos humanos se degradan biológicamente (Rodríguez, 2020).

El tratamiento secundario consta con otros subprocesos, los mencionan algunos de estos a continuación:

- **Filtros percoladores:** Consiste en un tanque en la cual contiene un lecho de material grueso, compuesto en su gran mayoría de materiales sintéticos o piedras de diversas formas, de alta relación área/ volumen. Alrededor de este lecho se puede encontrar adherida una población de bacterias que descompone los materiales presentes en las aguas residuales a medida que estas precolan hacia el fondo de dicho tanque. Al cabo de cierto tiempo el lecho bacteriano adquiere un gran tamaño y se separa hidráulicamente de material adherente pasando a un decantador secundario donde se separan los lodos formados (Suarez, 2019).
- **Lagunas de estabilización:** Su proceso es retener el agua contaminada en estanques poco profundos durante varios periodos largos que provocan la degradación de la materia orgánica contaminada por la actividad microbiana. La eficiencia de eliminación de DBO se encuentra oscila entre el 80 y 90 %, aunque es afectada por la temperatura ambiente (Belzona Inc., 2010, pp.1-3).

2.2.1.3. Tratamiento terciario

Este proceso dependerá de la disposición final que se quiera dar a las aguas residuales tratadas en los procesos anteriores, este tratamiento tiene como objetivo limpiar el agua de contaminantes concretos como es el fósforo, nitrógeno, minerales, metales pesados, virus, compuestos orgánicos, etc. Este tipo de tratamiento es más caro y se los pueden utilizar en casos más especiales. La finalidad del tratamiento es evitar que la descarga del agua residual, tratada previamente, ocasione la eutrofización o crecimiento generalizado de algas en lagos, lagunas o cuerpos de agua de baja circulación. Estos efluentes a los que se descargan las aguas previamente tratadas pueden ser tratadas para el riego de áreas agrícolas, crianza de peces, y otras actividades productivas (Rodríguez, 2020).

Para poder cumplir con las exigencias con el tratamiento terciario se lleva a cabo otros subprocesos como son:

- **Desinfección:** Este proceso es el último paso antes de distribuir las aguas tratadas al ambiente, consiste en matar microorganismo que pueden representar un peligro para la salud, la desinfección puede ser agregando cloro, exponiendo el agua residual a rayos ultravioleta o mediante la ozonización (Belzona Inc., 2010, pp.1-3).
- **Mediante ozonización:** El ozono es un poderoso oxidante y desinfectante con una velocidad de esterilización superior a la de un tratamiento convencional de cloro, convirtiéndose en un proceso eficiente lo cual permite tratamientos con tanques muy reducidos ya que su proceso dura 3 minutos de tiempo. Para la reutilización del agua para riego y agricultura el ozono brinda una mayor oxigenación a la raíz de la planta a la vez que transmite su carácter desinfectante (Belzona Inc., 2010, pp.1-3).
- **Mediante Sistema de Cloración:** Se trata mantener el agua previamente tratada en un contenedor con cloro libre para evitar la proliferación de microorganismo con el objetivo de hacerla apta para su reutilización. La cloración del agua residual es un sistema económico y sencillo para el tratamiento terciario de reutilización de agua para riego de plantas o jardines (Belzona Inc., 2010, pp.1-3).

2.2.2. Tratamientos de aguas no convencionales

2.2.2.1. Lagunaje

El lagunaje es un método de depuración no convencional que aprovecha los procesos naturales de autodepuración del agua (limpieza del agua de manera natural). El agua residual se retiene en varias lagunas perfectamente impermeabilizadas, donde tienen lugar procesos físicos como lo es la decantación de sólidos, químicos como reacciones de oxidación y biológicos que consiste en la degradación de materia orgánica debida a actividad microbiológica (Bracho et al., 2016: pp.13-18).

2.2.2.2. Lechos bacterianos o filtros percoladores

Se trata de un sistema de depuración biológico aerobio cuyo funcionamiento se basa en hacer circular agua contaminada y aire, a través de un medio poroso. El material del medio poroso puede ser natural o artificial. La circulación del aire se puede realizar de forma natural o forzada, generalmente a contra corriente del agua. Los microorganismos presentes en el agua se adhieren

a los elementos que forman el medio poroso, desarrollándose y degradando la materia orgánica y sustancias contaminantes que se encuentran presentes en el agua (Bracho et al., 2016: pp.13-18).

2.2.2.3. Filtros verdes

Se trata de un sistema natural de tratamiento de aguas contaminadas, consiste en el empleo de una superficie de terreno sobre la que se establece cultivos agrícolas, forrajeros o forestales para depurar los contaminantes presentes en el agua. Este proceso consiste en un tratamiento físico, químico y biológico, donde interviene el suelo, plantas y los microorganismos presentes en el medio (Bracho et al., 2016: pp.13-18).

2.2.2.4. Humedales artificiales

Son zonas construidas por el ser humano donde se reproducen de manera controlada, procesos físicos, químicos y biológicos de eliminación de contaminantes que ocurre habitualmente en los humedales naturales. Se efectúa mediante un lecho de filtración constituido por vegetación acuática (Bracho et al., 2016: pp.13-18).

2.3. Técnicas de remoción de metales pesados

Al hablar de técnicas de tratamiento de metales pesados presentes en las aguas estas van a depender de ciertos factores, los cuales se pueden reconocer como tratamientos convencionales, que se refiere a ciertas técnicas que habitualmente se emplean para la remoción de estos contaminantes y las no convencionales, que corresponden a procesos innovadores para la eliminación de metales en aguas contaminadas generalmente provenientes de actividades industriales (Caviedes et al., 2015: pp.75-84)

2.3.1. Tratamientos convencionales

2.3.1.1. Filtración por Membrana

Esta técnica presenta altos niveles de eficiencia, requiere poco espacio, no es selectiva y por último es de fácil operación, pero genera una gran cantidad de lodos que contienen metales. Se emplea para el tratamiento tanto de agua potable, residuales, industriales y en menor medida aguas residuales domésticas (Caviedes et al., 2015: pp.75-84).

2.3.1.2. Osmosis Inversa

Es un proceso físico-químico mediante el cual se purifica una muestra de agua eliminando las partículas en suspensión, todo esto mediante una membrana semipermeable de luego de la separación por difusión controlada o cribado, trata de replicar el proceso que realiza la naturaleza con la intención eliminar impurezas presentes en el agua (Caviedes et al., 2015: pp.75-84).

2.3.1.3. Nanofiltración

Es una técnica de tratamiento de agua con aplicaciones reciente que utiliza membranas con poros muy pequeños menores a 1nm y requiere de presiones elevadas que pueden ir desde las 10 atm hasta las 100 atm, pudiendo así retener partículas con peso molecular menores e iguales a 300 g/mol, considerándose una tecnología novedosa en el tratamiento de aguas de origen industrial (Caviedes et al., 2015: pp.75-84).

2.3.1.4. Coagulación-Floculación

Es el método mayormente utilizado en el tratamiento de aguas contaminadas, mediante el cual se logra desestabilizar el coloide y aglomerar posteriormente. En la etapa de coagulación se elimina la doble capa eléctrica característica de los coloides y con la floculación tienden a aglomerarse mediante atracción de partículas con el aglutinamiento de los floculantes. Los factores más importantes que se deben tener siempre en cuenta para la aplicación de esta técnica son: la dosis química apropiada, el efecto energético de la mezcla y el tiempo de la mezcla (Caviedes et al., 2015: pp.75-84).

2.3.2. Tratamientos no convencionales

2.3.2.1. Adsorbentes de Bajo Costo y Nuevos Adsorbentes

La adsorción es un proceso que consiste en la transferencia de masas por el cual una sustancia se transfiere desde la fase líquida a la superficie de un sólido. De manera reciente la adsorción se ha convertido en una de las alternativas para el tratamiento de aguas cargadas con metales pesados. Para este proceso Se emplea una amplia gama de material biológico que son tolerantes a la explosión a contaminantes, como las bacterias, algas, levaduras y hongos, siendo usados para la eliminación y recuperación de metales pesados, debido a su buen rendimiento y bajo costo de aplicación (Caviedes et al., 2015: pp.75-84).

2.3.2.2. Fitorremediación

Se refiere al uso de plantas y microbios del suelo generando una asociación entre estos con la intención de reducir las concentraciones o los efectos tóxicos de los contaminantes en los ambientes. Se la considera una tecnología reciente y se percibe como rentable, eficiente, respetuoso del medio ambiente. Esta tecnología ofrece una cierta ventaja en comparación con los tratamientos físico-químicos, debido a su compatibilidad con el medio ambiente (Caviedes et al., 2015: pp.75-84).

2.3.2.3. Ceniza Volante

Son generadas durante la combustión de carbón en la producción de energía, este subproducto industrial se lo reconoce como un contaminante ambiental, no obstante ha sido reutilizado como un adsorbente de bajo costo para la eliminación de compuestos orgánicos, gases de combustión y los metales pesados, tras ser aumentada su capacidad de absorción mediante activación físico-química (Caviedes et al., 2015: pp.75-84).

2.4. Parámetros fisicoquímicos en el tratamiento de aguas

El deterioro del agua generalmente se relaciona por el vertimiento de aguas contaminadas que tienen origen industrial o doméstico. Este tipo de aguas son nocivas debido al gran contenido de materia orgánica, microorganismos e incluso metales pesados que tienen como destino final las cuencas hidrográficas, generando un desequilibrio en la calidad de este recurso y un gran impacto en los ecosistemas. Es por ello que es de gran importancia el estudio de este recurso con la intención de verificar los índices de calidad del agua, estableciendo una relación entre los parámetros físico-químicos y sus fuentes de contaminación (López, 2021, pp.8-10).

Para lograr esta relación entre los parámetros fisicoquímicos y la contaminación del agua es necesario realizar una caracterización, la cual tiene el objetivo de conocer el estado actual de la misma y el posible uso que al que pueda ser destinada ya sea para consumo humano, uso agrícola, industrial o recreacional. Por ello los principales parámetros fisicoquímicos característicos de las aguas contaminadas son: pH, temperatura, turbiedad, conductividad, etc. (López, 2021, pp.8-10).

2.5. Prueba de Jarras

Es una técnica ampliamente utilizada para tratar aguas contaminadas con la intención de determinar la dosis de químico y otros parámetros que intervienen en el tratamiento, con ella se

trata de simular procesos como la coagulación, floculación y sedimentación de partículas presentes en las muestras de agua todo esto a nivel de laboratorio. Existe un sin número de equipos para la aplicación de esta técnica pero, la versatilidad de estos depende del poder utilizar una serie de jarras al mismo tiempo y la posibilidad de variar la velocidad de agitación RPM (revoluciones por minuto) (Lorenzo, 2006, pp.14-16).

En el desempeño de la prueba de jarras interactúan factores físicos e hidráulicos, cada una de estos cumple un rol fundamentales en la prueba de jarras y el proceso de coagulación-floculación para el tratamiento de aguas contaminadas, entre los cuales se destacan:

2.5.1. *pH*

Este es un factor con mayor influencia en el proceso de coagulación, debido a que si este se desarrolla fuera del rango óptimo de pH disminuye la solubilidad del coagulante en el agua y por ende se requiere mayor concentración del mismo, tomando mayor tiempo para la formación del flóculos (Fúquene y Yate, 2018: pp.4-5).

2.5.2. *Turbiedad*

Influye directamente en la concentración de coagulante. Ya que mientras mayor sea la turbiedad, menor cantidad de coagulante es necesario aplicar; por otra parte al existir baja turbiedad, será necesario aplicar mayor dosis de coagulante (Fúquene y Yate, 2018: pp.4-5).

2.5.3. *Velocidad y tiempo de agitación*

Considerado el factor más importante en el desarrollo de la prueba de jarras. La agitación asegura que la concentración de del químico sea uniforme en toda la solución; la velocidad y el tiempo de mezcla determinan la distribución adecuada del mismo y la neutralización de cargas electromagnéticas de los contaminantes presentes (Lorenzo, 2006, pp.14-16).

2.5.4. *Temperatura del agua*

Influye directamente en la efectividad de la coagulación y en la velocidad de formación del floculo. De acurdo a la disminución en la temperatura del agua, se debe aumentar la dosificación de productos químicos usados para coagular, con el objetivo de lograr la formación de flóculos (Fúquene y Yate, 2018: pp.4-5).

2.5.5. Dosis de coagulante

La dosis óptima de coagulante se determina mediante test de jarras. Por ello se debe tener en cuenta que si se agrega cantidades pequeñas de coagulantes, se formaran flóculos pequeños y el tiempo de sedimentación será extenso (Fúquene y Yate, 2018: pp.4-5).

2.5.6. Tiempo de sedimentación

El tiempo de sedimentación determina la capacidad sedimentación de los flóculos, por ello se recomienda de 5 a 30 minutos, en relación a la dosis del coagulante (Lorenzo, 2006, pp.14-16).

2.6. Marco legal

2.6.1. Constitución de la República del Ecuador

Art. 14. El derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados (Constitución de la República del Ecuador, 2008, p.14).

Art. 15. El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua (Constitución de la República del Ecuador, 2008, p.14).

Se prohíbe el desarrollo, producción, tenencia, comercialización, importación, transporte, almacenamiento y uso de armas químicas, biológicas y nucleares, de contaminantes orgánicos persistentes altamente tóxicos, agroquímicos internacionalmente prohibidos, y las tecnologías y agentes biológicos experimentales nocivos y organismos genéticamente modificados perjudiciales para la salud humana o que atenten contra la soberanía alimentaria o los ecosistemas, así como la introducción de residuos nucleares y desechos tóxicos al territorio nacional (Constitución de la República del Ecuador, 2008, p.14).

2.6.2. Código Orgánico del Ambiente

Art. 24. Inciso 2: “Establecer los lineamientos, directrices, normas y mecanismos de control y seguimiento para la conservación, manejo sostenible y restauración de la biodiversidad y el patrimonio natural” (Código Orgánico del Ambiente, 2017, pp.17-48).

Art. 161. La Autoridad Ambiental Nacional, deberá dictar y actualizar periódicamente los criterios y normas técnicas que garanticen la calidad ambiental y de los componentes bióticos y abióticos, así como los límites permisibles; para ello coordinará con las autoridades nacionales competentes (Código Orgánico del Ambiente, 2017, pp.17-48).

2.6.3. Reglamento al Código Orgánico del Ambiente

Art. 461. Normas de calidad ambiental.- La definición de criterios y normas técnicas que garanticen la calidad ambiental y de los componentes bióticos y abióticos, así como los límites permisibles, se realizará con el sustento técnico y científico del caso en virtud de la realidad geográfica del territorio, condiciones especiales u otras necesidades de cada jurisdicción y considerando los criterios emitidos por la Autoridad Ambiental Nacional para el efecto (Reglamento al Código Orgánico del Ambiente, 2019, p.93).

2.6.4. Anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua

En condiciones especiales de ausencia de estudios del cuerpo receptor, falta de definición de usos del agua (como es el caso de pequeñas municipalidades que no pueden afrontar el costo de los estudios), se utilizarán los valores de la TABLA 10 de limitaciones a las descargas a cuerpos de agua dulce, en forma temporal, con el aval de la Autoridad Nacional de Control Ambiental. Las concentraciones corresponden a valores medios diarios (Anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua, 2013, p.25).

2.7. Nanotecnología

A lo largo de la historia se han producidos grandes avances tecnológicos y científicos para la humanidad, demostrando cómo pueden cambiar drásticamente la vida del ser humano en varios aspectos, dejando como enseñanza que la tecnología y la ciencia sufren rápidas transformaciones con el transcurrir del tiempo. Tal es el caso de la nanotecnología, la cual es una disciplina de

aplicación reciente que se encarga de la manipulación y control de la materia a escalas menores a un micrómetro, es decir, a nivel de átomos y moléculas, en otras palabras trabaja a nivel molecular (Mendoza y Rodríguez, 2007: p.162).

Entre las principales ciencias de aplicación destacan la informática, la medicina, la biología y la construcción. Actualmente, existen cerca de tres mil productos generados con nanotecnología, la mayoría para usos industriales, aunque las investigaciones más avanzadas se registran en el campo de la medicina y la biología (Cuadros et al., 2007: pp.19-20).

2.7.1. Nanotecnología en el tratamiento de aguas

Los avances en el campo de nanotecnología están ofreciendo innovadoras alternativas para el desarrollo de nuevas soluciones en el tratamiento de aguas contaminadas. Estas alternativas se basan en los nanomateriales, ya que con tamaños de 1 a 100 nm expresan propiedades únicas como una elevada área superficial, sensibilidad óptica respecto a cambios en tamaño y forma, etc. Este descubrimiento en las propiedades físico-químicas ofrece soluciones eficaces en el tratamiento y remediación de contaminantes en el ambiente (Marimon, 2018, pp.4-5).

En el tratamiento de aguas contaminadas, los nanomateriales se han introducido de gran manera en la tecnología de membranas donde la técnica de nanofiltración, esta aprovecha los poros de diámetros nanométricos para retener contaminantes diminutos. Algunos materiales que han demostrado ser rentables para estas tareas son los nanotubos de carbono, nanopartículas de oro, etc. (Marimon, 2018, pp.4-13).

2.7.2. Nanopartículas magnéticas

Se denomina nanopartícula magnética a aquella entidad sintética cuyo tamaño varía de entre 1 a 100 nm, están formadas generalmente por elementos magnéticos como el hierro (Fe), cobalto (Co) o níquel (Ni), entre otros. Posee un momento magnético neto (μ) el cual es miles de veces el valor del magnetón de Bohr, siendo $\mu_B = 9,27 \times 10^{-24}$ Armstrong (Coral y Mera, 2017: pp.233). Existen tres tipos de Nanopartículas: Las que se forman de manera natural, por el proceso de las erupciones volcánicas; las incidentales, que se generan por las emisiones de la combustión en motores; y las fabricadas, generadas a propósito con la finalidad de ser aplicadas para resolver una necesidad en particular (Medina et al., 2016: pp.50-51).

2.7.3. *Síntesis de nanopartículas*

La síntesis de nanopartículas magnéticas se ha convertido en un área particularmente importante de la investigación, básicamente por las siguientes razones: debido a los beneficios que aportan en las distintas áreas de aplicación, por ser una tecnología emergente estando en pleno desarrollo y por los riesgos asociados a estas (Medina et al., 2016: pp.50-51).

La obtención de nanopartículas magnéticas puede lograrse mediante de 2 procesos generalmente usados, como lo son:

- Los métodos físicos que consisten en la subdivisión de los materiales en volumen.
- Los métodos químicos que consisten en el aumento de nanopartículas a partir de procesos moleculares.

2.7.3.1. *Métodos físicos*

Estos métodos son utilizados para sintetizar diversos tipos de nanopartículas pero, tienen la desventaja de ser poco efectivos debido a que pueden variar su tamaño, forma estructural y composición, siendo difícil el poder controlar estas características (Chamé, 2013, pp.41-51).

- **Molienda mecánica:** Desde ya varios años la molienda ha surgido como una técnica de síntesis alternativa a los métodos químicos para la obtención de nanopartículas magnéticas. Este método consiste en la mezcla de polvos, aprovechando la energía mecánica generada por el molino efectuando así una aleación, una reacción química en estado sólido o bien únicamente la reducción del tamaño de la partícula (Chamé, 2013, pp.41-51).

Cabe recalcar que el proceso de molienda puede realizarse tanto en seco o como en húmedo y todo dependerá del resultado que se espera obtener. La molienda en seco permite la aleación mecánica, así como obtener partículas refinadas. Mientras que la molienda en húmedo permite solo refinar el tamaño de las partículas que se espera obtener (Chamé, 2013, pp.41-51).

- **Condensación gas inerte:** La técnica de condensación de gas inerte permite sintetizar nanopartículas magnéticas de elementos metálicos como el hierro (Fe), cobalto (Co) y níquel (Ni). En esta técnica el metal es evaporado a temperaturas muy altas, alrededor de 1500 °C y redirigido hacia una cámara de vacío llena con un gas no reaccionante de alta pureza como

por el ejemplo el helio (He). Las nanopartículas sintetizadas de esta forma son amorfas y presentan cierta cantidad de óxido en su superficie (Chamé, 2013, pp.41-51).

2.7.3.2. Métodos químicos

Los métodos químicos son posiblemente los más usados para el desarrollo de nanopartículas magnéticas debido a la facilidad con la se puede controlar ciertas característica como lo son la forma, estabilidad, el tamaño y compatibilidad con las aplicaciones a las que serán sometidas (Marimon, 2018, pp.4-13).

- **Proceso de Co-precipitación:** La co-precipitación es un método de síntesis de nanopartículas más fáciles, económicos y versátiles para producción de grandes cantidades de nanopartículas, el proceso consiste en el arrastre de compuestos que normalmente son solubles y posteriormente son separados de la disolución por un precipitado (Chamé, 2013, pp.41-51).
- **Sol-gel:** Este proceso han sido utilizados desde 1846 con la intención de producir materiales cerámicos y óxidos metálicos de alta pureza y homogeneidad, esta técnica química se utiliza para el procesamiento de materiales amorfos y cristalinos obtenidos a bajas temperaturas, así como para controlar las superficies y las interfases de los materiales durante las primeras etapas de obtención de nanopartículas (Marimon, 2018, pp.4-13)

El método de síntesis sol-gel permite la producción de estructuras únicas homogéneas o también la obtención de partículas que van desde los 10 a 100 nm de manera precisa, así como el logro de superficies controladas y propiedades físicas únicas mediante la combinación de materiales, ya sean orgánicos o inorgánicos (Chamé, 2013, pp.41-51).

- **Técnica del poliol:** Es una excelente técnica para la preparación de nanopartículas uniformes, con este método se obtienen finas partículas metálicas debido a la reducción de sales metálicas disueltas y la precipitación directa del metal proveniente de la solución de poliol. Todo esto debido al incremento de la temperatura hasta alcanzar el punto de ebullición del mismo (Marimon, 2018, pp.4-13)
- **Hidrotermal:** Cuando se habla de síntesis hidrotermal se refiere a las reacciones heterogéneas que se llevan a cabo en un medio acuoso que se encuentra a una temperatura que supera los 100 °C y a 1 atm de presión, centrándose en el crecimiento cristalino. Con respecto a la presión, esta puede variar dependiendo del solvente a utilizar. El método

consiste en colocar un líquido que generalmente puede ser agua en un recipiente cerrado, calentado por encima de su punto de ebullición, generando una presión superior a la atmosférica. De esta forma se logra disolver o hacer reaccionar especies muy poco solubles en condiciones habituales (Chamé, 2013, pp.41-51).

- **Carbonización hidrotermal (HTC):** La carbonización hidrotermal o también conocida como carbonización térmica es un proceso termoquímico que convierte la materia prima orgánica en un producto rico en carbono, este proceso se lleva a cabo en un rango de temperaturas de 100 a 260 °C durante el cual la biomasa es sumergida en agua y calentada por un sistema donde la presión se regula por sí misma. Los tres productos principales del proceso de carbonización hidrotermal son el carbono sólido y líquido, el bioaceite mezclado con agua y pequeñas fracciones de gases, principalmente CO₂ (Guachi, 2019, p.7).

2.8. Técnicas de caracterización de nanopartículas

Al estar sintetizadas las nanopartículas, se busca la técnica óptima para su caracterización con la intención conocer el tamaño, la dispersión y la estructura dichas nanopartículas. Este procedimiento se puede llevar a cabo mediante diversas técnicas, de entre las cuales destacan: Microscopia electrónica de transmisión (TEM), Análisis termogravimétrico (TGA), Difracción de rayos X (XRD), Microscopia electrónica de barrido (SEM) y por último Espectroscopia de infrarrojo (FTIR) (Castrillón, 2012, pp.52-55).

2.8.1. Difracción de rayos X (DRX)

La técnica de difracción de rayos X se emplea para estudiar la cristalinidad, pureza y la estructura de las nanopartículas sintetizadas. Esta técnica también permite identificar materiales desconocidos, así como determinar la orientación de monocristales, defectos, etc. La DRX no se considera destructiva y no es necesaria la preparación de la muestra elaborada, razón por la cual es ampliamente usada en la caracterización de diversos materiales (Castrillón, 2012, pp.52-55).

2.8.2. Análisis termogravimétrico (TGA)

El análisis termogravimétrico proporciona una medición cuantitativa de cualquier tipo de peso asociado a transiciones térmicamente inducidas, mediante este análisis se caracterizan tanto las nanopartículas como los nanocompuestos resultantes de los distintos métodos químicos que son mayormente utilizados para lograr la síntesis de estos (Castrillón, 2012, pp.52-55).

2.8.3. Microscopio Electrónico de Transmisión (TEM)

La microscopía electrónica de transmisión es considerada actualmente como una de las herramientas más poderosas para la obtención de imágenes de nanopartículas, se emplea para la caracterización morfológica, microestructural y composicional obtenidas en procesos anteriormente mencionados, con la intención de recaudar información necesaria para la aplicación de las mismas (Chamé, 2013, pp.41-51).

2.8.4. Microscopía electrónica de barrido (MEB)

Es una técnica que permite caracterizar una gran variedad de materiales, como nanoestructurados, aleaciones metálicas, etc. Siendo capaz de obtener imágenes de alta resolución de superficies de las nanopartículas, siendo de gran utilidad para el estudio de gran variedad de materiales en la actualidad (Lopez, 2022, p.11).

Estas imágenes se obtienen mediante la detección, procesamiento y visualización de las señales resultantes de las interacciones entre un haz de electrones de alta energía con la materia a estudiar. Estas interacciones pueden proporcionar información sobre la forma, composición y estructura según los tres ejes x, y, z y variar su orientación según dos ejes de rotación (Ipohorski y Bozzano, 1920: pp.45-46).

2.8.5. Espectroscopia de infrarrojo (IR)

Se utilizada para analizar compuestos orgánicos, inorgánicos u organometálicos que contengan átomos de gran peso (una masa atómica superior a 19), proporciona información útil en estudios estructurales. Una de las ventajas de la espectroscopia infrarroja es su versatilidad, ya que permite estudiar cualquier muestra sin importar el estado en que se encuentre ya sea: líquidos, disoluciones, polvos, fibras, films, gases o superficies. Un espectro infrarrojo se logra al pasar radiación a través de una muestra y así determinar que fracción de esta radiación incidente pudo a ver sido absorbida. La energía particular a la que aparece cada pico en un espectro se relaciona directamente con la frecuencia de vibración de una parte de la molécula (Serrano, 2007, p.2).

2.9. Producción de cacao (*Theobroma cacao L*)

Como se conoce la producción de cacao es de gran importancia debido a que es considerada la base de la economía nacional de los países que lo producen. La semilla que se obtenido de la mazorca del cacao es utilizada en la producción de varios productos y subproductos como pasta,

manteca, chocolate, polvo de cacao, entre otros; los cuales son comercializados y tienen una gran demanda en todo el mundo. De acuerdo con información de la Organización Internacional de Cacao (ICCO), Camerún, Costa de Marfil, Ghana, Nigeria, Brasil, Ecuador, Colombia y Asia, son considerados los mayores productores de cacao a nivel de todo el mundo (Benalcazar, 2018, pp.16-17).

Según información de Organización Internacional de Cacao, Ecuador se encuentra ubicado entre los 10 mayores productores de cacao a nivel mundial, con un total de 270 mil toneladas en los años 2016/17. Son un total de 22 de las 24 provincias en las que se registra producción de cacao comprendiéndose plantaciones pequeñas que van desde 20 has o menos y medianas las cuales sobrepasan las 20, hasta llegar a las 50 has (Benalcazar, 2018, pp.16-17). Esto se debe a las características únicas de cada suelo y a la hidratación de las diversas variedades de cacao, es decir que los aromas y sabores de la fruta varían según la región en la que se cultiva (Flores y Juela, 2018: p.4).

Según especialistas en el tema del cacao opinan que el Cacao Fino y de Aroma que proviene de Ecuador es el mejor a nivel mundial, al ser un país Sudamérica atravesado por la línea ecuatorial, la cordillera de los Andes y la selva amazónica, le permite contar con biodiversidad de climas que favorecen a varios cultivos entre ellos el del cacao (Flores y Juela, 2018: p.4).

En Ecuador las especies de cacao representativo es el Cacao Nacional y CCN-51, en el primero la mazorca tiene un característico color amarillo, posee un sabor y aroma único, siendo pieza clave para la producción del exquisito chocolate gourmet que son comercializados en todo el mundo. El tono distintivo de Cacao CCN-51, también conocido como Colección Castro Naranjal, es el rojo. Además, es reconocido por su alto rendimiento para la extracción de semielaborados, ingredientes esenciales para la producción a escala de chocolates y otros (Abad et al., 2019: p.78).

El cacao fino y de aroma conocido como Cacao Nacional tiene características únicas de aroma y sabor buscadas por los fabricantes de chocolate. En todo el mundo representa tan solo el 5% de la producción. Debido a las condiciones geográficas y a la gran riqueza en recursos biológicos, el Ecuador es el productor por excelencia de Cacao Arriba fino y de aroma proveniente de la variedad Nacional cuyo sabor ha sido reconocido en el mercado internacional durante siglos (López, 2007, p.27).

2.9.1. Residuos de la producción del cacao

Durante el procesamiento del cacao se generan varios desechos que pueden convertirse en un problema ambiental cuando la disposición es inadecuada, tal es el caso del mucílago (baba) del cacao resultado del proceso de fermentación, el cual puede afectar el equilibrio del ambiente, al mismo tiempo la cascara que resultan de la cosecha e incluso ramas y hojas provenientes de las podas se convierten en desechos los cuales pueden ser aprovechados de distintas formas (Molina et al., 2020: pp.59-60).

En el Ecuador de acuerdo a la información plasmada en el Atlas Bioenergética del Ecuador se generó alrededor de 1851443.58 toneladas de residuos resultantes de la producción de cacao en el año 2014. La cascara del cacao representa el 14.32% en peso de material orgánico generada por este cultivo (Sigüencia et al., 2020: pp.6-7). La mayor cantidad de estos desechos agrícolas que generan de forma natural las plantas de cacao, han dejado de ser residuos para convertirse en la materia prima de diversos procesos industriales y biotecnológicos (Benalcazar, 2018, pp.16-17).

2.10. Revalorización de residuos

La industria es considerada uno de los sectores con mayor generación de desechos de tipo orgánicos como inorgánicos, incluyendo a la industria alimentaria. La mayor parte de los desechos al ser gestionados y valorados correctamente podrían ser de gran interés para la producción de nuevos productos o la aplicación en procesos sustentables (Arcos, 2022, p.1).

La generación de nuevos productos a raíz de los desechos de cacao es original y frecuentemente no es aplicada en el país (López, 2014, p.14). La mayor parte de estos residuos pueden tener ciertas propiedades las cuales pueden ser indispensables para el desarrollo de productos, subproductos o incluso ser aplicados actividades autosustentables a través de su reutilización. Sin embargo, debido a la falta de conocimiento sobre los mecanismos adecuados para su reutilización y las características que presentan algunos desperdicios, junto con la falta de concientización en los productores no se los ha podido aprovechar de una manera correcta (Arcos, 2022, p.1). Al tener una correcta valoración de estos desechos provenientes del cacao se los puede utilizar de diversas formas, con la intención de reducirlos y evitar la contaminación originada por el mal manejo de los mismos, buscando así una alternativa viable para su aprovechamiento.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y diseño de investigación

La presente investigación es de carácter experimental, ya que se buscó obtener información y datos necesarios sobre el tema a estudiar y la problemática a resolver mediante actividades técnicas y de experimentación, pretendiendo manipular las variables independientes obtenidas en el proceso, de manera que se cumplan los objetivos planteados.

3.1.1. *Identificación de Variables*

3.1.1.1. *Variables dependientes*

- Concentración de mercurio en el agua tratada
- Eficacia de las nanopartículas magnéticas
- Temperatura
- Cantidad de nanopartículas magnéticas para el tratamiento de las muestras.

3.1.1.2. *Variables independientes*

- Concentración de mercurio en las muestras de agua
- Tiempo de agitación en la prueba de jarras

3.1.2. Diseño experimental de la investigación

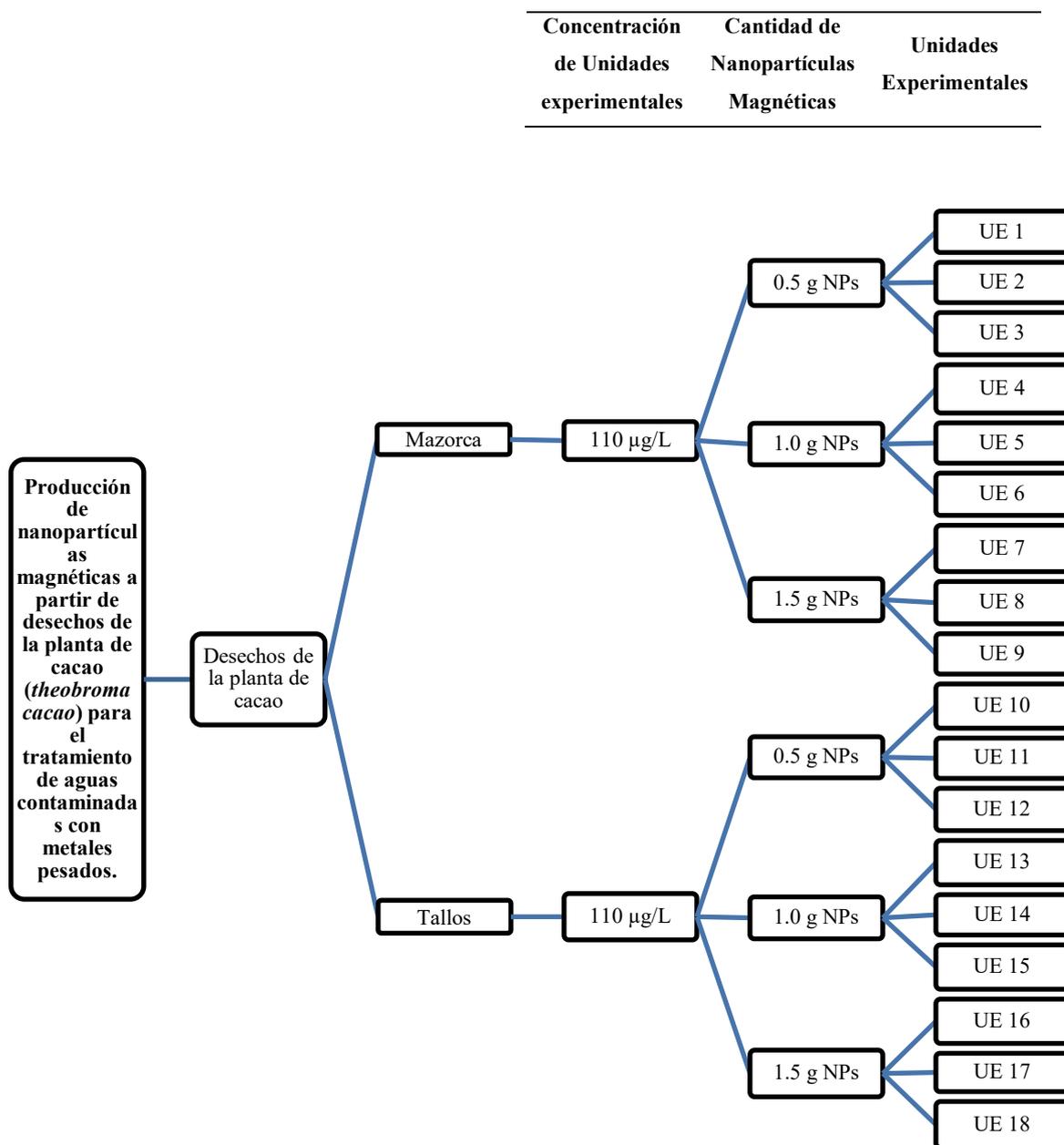


Ilustración 3-1: Diseño experimental de la investigación

Realizado por: Naranjo, Jordy, 2023.

Si llegase a existir similitudes entre los espectros de los tallos y las cascara del cacao CCN-51 una vez que se haya realizado el proceso de caracterización mediante espectrofotometría infrarroja (IR) de las nanopartículas magnéticas sintetizadas por medio del proceso de carbonización hidrotérmica, se considerara la reducción del diseño experimental de la investigación de la siguiente manera:

Concentración de Unidades experimentales	Cantidad de Nanopartículas Magnéticas	Unidades Experimentales
--	---------------------------------------	-------------------------

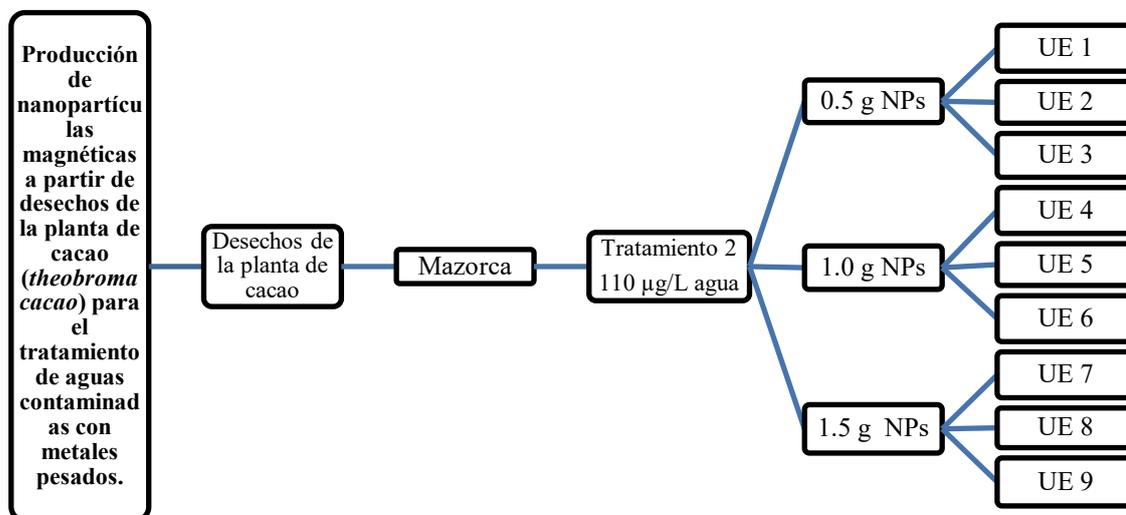


Ilustración 3-2: Diseño experimental Reducido

Realizado por: Naranjo, Jordy, 2023.

3.1.3. Metodología experimental

La metodología fue cuantitativa, puesto que, se aplicaron técnicas instrumentales que permitieron la obtención de nanopartículas, las cuales fueron utilizadas para el tratamiento de aguas contaminadas con mercurio. Además, se analizaron las características de las nanopartículas y cómo estas actúan en la descontaminación de las muestras de agua con mercurio.

3.1.3.1. Obtención de la biomasa

Los desechos de la planta de cacao empleados para la obtención de nanopartículas magnéticas mediante el proceso de carbonización hidrotermal fueron obtenidos de una plantación de la quinta de Marly ubicada en el cantón La Joya de los Sachas, comunidad Los Ángeles (zona 7). Esta biomasa es proveniente de las podas realizadas al cacao CCN-51 y la mazorca del cacao es proveniente de la cosecha del grano.

La recolección de la cascara de cacao se realizó según las investigaciones realizadas por Ardila y Carreño (2011: p.24), la cual se llevó a cabo justo en el momento en el que se efectuó la cosecha de los granos del cacao, sin haber sobrepasado los 2 días de la recogida del grano. Mientras que, para la recolección de los tallos se siguió la metodología aplicada por Bacuilima y Zhumi (2017:

pp.47-48), en el cual se realizó la poda de las plantas de cacao, apilando los tallos hasta poder tener una cantidad considerable y por consiguiente se pusieron en fundas de basura color negro, sellado y etiquetado con la variedad de cacao a aplicar en la experimentación.

3.1.3.2. Pre-tratamiento de la biomasa

El pre-tratamiento de la biomasa tuvo como objetivo facilitar el manejo de los desechos de la planta de cacao, con la intención de prepararlos para la experimentación. Para este proceso se llevó a cabo la metodología aplicada por Ardila y Carreño (2011: p.24), por ello fue necesario sacar el fruto de la mazorca y lavarla con agua destilada para eliminar la baba que esta produce. Seguidamente se puso a secar para eliminar el excedente de agua presente y así evitar la descomposición de la mazorca de cacao. Por otra parte para el pretratamiento de los tallos procedentes de la poda del cacao, se llevó a cabo según la investigación realizada por Bacuilima y Zhumi (2017: pp.47-48), por lo cual se redujo el tamaño de los tallos a 4 cm y 5 cm para poder tener un mejor manejo de estos.

3.1.3.3. Carbonización hidrotermal

Para el proceso de carbonización hidrotermal se tomó como punto de partida las investigaciones realizadas por Domínguez (2018, p.43), por lo cual se utilizó un autoclave (Biobase-modelo BQK-B5011) a una temperatura de 130°C por un tiempo de 240 min en el desarrollo de este proceso hidrotérmico, con la intención de producir nanopartículas a partir de los desechos de la planta de cacao. En el interior del autoclave que tiene una capacidad de 18 L, se colocaron 4 morteros, cada uno con 20 gramos de biomasa (2 tenían 20 gramos de cascara de cacao y 2 tenían 20 gramos de tallos de cacao) y 180 ml de agua destilada. Posterior a ello se llevó los morteros a la estufa de modelo UF 110 a 105 °C por 24 horas para así eliminar el excedente de agua. Finalmente se procedió a moler con ayuda de un pistilo la biomasa presente en los morteros, para luego con la ayuda de un tamiz, separar las partículas con un tamaño máximo de 0.74 micras.

3.1.3.4. Caracterización de nanopartículas magnéticas

- **Microscopio electrónico de barrido:** Luego de haber completado el proceso de carbonización hidrotermal, se procedió a realizar la caracterización de las nanopartículas en el microscopio electrónico de barrido (SEM) mediante la cual se obtuvieron imágenes de alta resolución de las nanopartículas obtenidas. Para este proceso se siguió la metodología aplicada por López (2022, pp.16-17) donde se colocó una muestra de las nanopartículas obtenidas del proceso de carbonización hidrotermal. Así pues, se procedió a preparar una solución de

nanopartículas con etanol con la intención de diluirla y con ayuda de una micropipeta se recogió las nanopartículas y se las preparó para el análisis. Seguido se sometió a las partículas a ultrasonido por 5 minutos para asegurar su dispersión y por último después de un tiempo de descanso, se toma una muestra con la micropipeta, y se dispone a su deposición en el portaobjetos y se introduce en el microscopio electrónico de barrido.

- **Espectroscopia Infrarroja (IR):** mediante espectroscopia de Infrarrojo (IR) se detectaron las especies químicas de las nanopartículas obtenidas de los desechos de las plantas de cacao mediante el cual se pudo identificar la composición y los grupos funcionales que componen las mismas. Este proceso de caracterización se llevó a cabo según las investigaciones realizadas por Vera (2018, p.47), por ello se colocó la muestra en agua destilada y con ayuda de una micropipeta se procedió a colocar en el portamuestras del espectrofotómetro de una a dos gotas de la suspensión de nanopartículas sintetizadas por el método de carbonización hidrotermal.

Cabe recalcar que fue de gran importancia realizar una corrección y un posterior análisis de los espectros a través del software del equipo, comparándolos con los espectros encontrados en diferentes investigaciones para determinar si existe coherencia o alguna falla en los resultados obtenidos de este proceso de caracterización.

3.1.3.5. Preparación del ambiente contaminado

Una vez identificadas las características de las nanopartículas se procedió a recrear los ambientes contaminados (unidades experimentales), para ello se tomó en consideración la investigación de Esmeraldas y Zambrano (2018: p.48), la cual evidencia la presencia de dicho metal en los cuerpos de agua del Ecuador. Es por esto que se consideró el valor de 110 µg/L (0.110 ppm) siendo este un valor promedio de su investigación, el cual fue tomado como referencia para deducir una relación de este metal presente en el agua y la creación de las unidades experimentales (UE).

Al no contar con mercurio en estado puro se preparó una solución estándar con la intención de obtener 200 mL de esta sustancia. Por ello se procedió a pesar 0.117 gramos de nitrato de mercurio ($\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$), en la balanza analítica, seguido se agregó 20 mL de ácido nítrico (HNO_3) y por último se los aforo en un balón de 200 mL con agua destilada. Una vez que se obtuvo el estándar de mercurio (Hg) se creó las unidades experimentales.

3.1.3.6. Desarrollo experimental (prueba de jarras)

Posterior a la creación de las 9 unidades experimentales, se llevó a cabo el proceso de prueba de jarras aplicando la metodología desempeñada por García y Gonzales (2021: pp.46-47), variando la cantidad de NPs magnéticas aplicadas y el número de repeticiones; por ello se utilizaron 0.5 g; 1 g; y 1.5 g en peso para cada unidad experimental. Así se realizó un total de 3 repeticiones por cada cantidad de nanopartículas magnéticas utilizadas para poder determinar la eficacia en la remoción de mercurio presente en el agua.

Para la prueba de jarras cada unidad experimental se sometió una agitación inicial de 100 RPM (Revoluciones por minuto) por el lapso de un minuto, seguidamente se agregó las cantidades correspondientes de NPs magnéticas en cada unidad experimental y luego se llevó a cabo una agitación de 20 RPM durante 20 minutos adicionales. Para finalizar se dejó sedimentar las muestras sobre imanes de neodimio por un lapso de 10 minutos (García y Gonzalez, 2021: pp.46-47).

Con la finalidad de conocer el comportamiento de cada una de las muestras de agua, antes y después de realizar la prueba de jarras, se realizó las respectivas mediciones de pH, conductividad, turbiedad y temperatura.

3.1.3.7. Eficacia de las nanopartículas magnéticas para la remoción de mercurio (Hg)

Una vez realizada la prueba de jarras se midió la concentración de mercurio (Hg) de cada unidad experimental a través de la utilización del espectrofotómetro de absorción atómica modelo CE 3000 de la marca AA Spectrometer y así determinar la eficacia de las nanopartículas magnéticas obtenidas de la cáscara de cacao.

Para ello se encendió el espectrofotómetro de absorción atómica, se colocó la lámpara de mercurio y se esperó alrededor de 30 minutos a que se caliente el equipo, se escogió el método de análisis, se abren la válvula de gas necesario y se realiza la curva de calibración con los estándares preparados. Una vez obtenida la curva de calibración se procede a analizar las muestras y se coloca el factor de dilución que tienen. Finalmente, el equipo reflejó los resultados con la concentración para analizar la adsorción que se llevó a cabo mediante cálculos matemáticos con la intención de determinar el porcentaje de remoción de mercurio.

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos en el transcurso de la presente investigación. Discutiendo cada uno de estos y al mismo tiempo comparándolos con estudios realizados por distintos autores, empezando por la síntesis mediante el proceso de carbonización hidrotermal (HTC), la caracterización de las NPs magnéticas y finalmente su aplicación para el tratamiento de aguas contaminadas con mercurio.

4.1. Resultados de síntesis, caracterización y aplicación de NPs magnéticas

4.1.1. *Síntesis de nanopartículas magnéticas por carbonización hidrotermal*

La síntesis de nanopartículas magnéticas aplicada en esta investigación se logró mediante el proceso de carbonización hidrotermal, tomando en cuenta 3 parámetros principales las cuales fueron: temperatura, tiempo y presión. Por ello gracias a las investigaciones realizadas por Domínguez (2018, p.44), la biomasa empleada fue sometida a una temperatura de 130 °C, un tiempo de 240 min y así la presión en el autoclave alcanzó automáticamente los 0.19 MPa; al terminar este proceso, se eliminó el excedente de agua de las muestras, se molieron y tamizaron para poder obtener 15 g en cantidad de peso de nanopartículas magnéticas, los cuales fueron sometidos a caracterización y aplicación para el tratamiento de aguas contaminadas con mercurio.

4.1.2. *Caracterización de nanopartículas magnéticas*

4.1.2.1. *Espectrofotometría Infrarroja (IR)*

El espectro IR que se muestra en la Ilustración 4-1 presenta las bandas de absorción de los diferentes grupos funcionales que están presentes en las nanopartículas magnéticas obtenidas de la cáscara de cacao. El espectro relaciona la transmitancia y número de onda en el rango de 540 a 4000 cm^{-1}

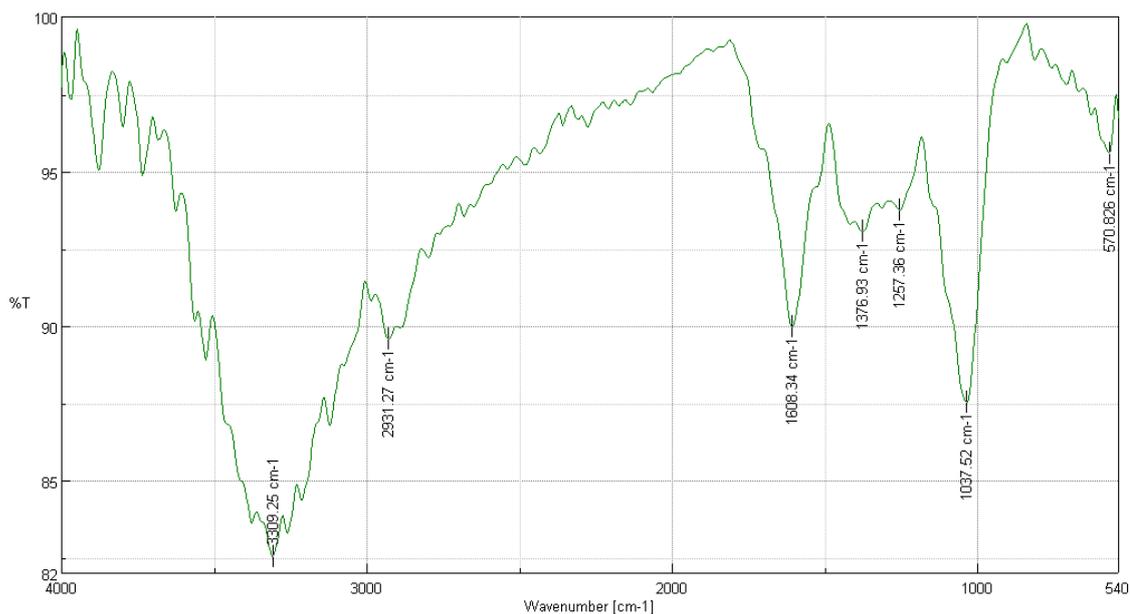


Ilustración 4-1: Espectro IR de nanopartículas magnéticas de la cáscara de cacao

Realizado por: Naranjo, Jordy, 2023.

De acuerdo a los datos obtenidos del IR se puede identificar que en la banda de 3309.25 cm^{-1} y al realizar comparaciones con las investigaciones por Lara et al. (2016: p.116), esta banda es característica de grupos funcionales correspondientes a fenoles y ácidos carboxílicos. Es decir, existe la presencia de grupos hidroxilos (OH). En la banda 2931.27 se puede relacionar con la existencia de hidrocarburos alifáticos. Mientras que en la banda 1608.24 determina la presencia de ésteres, cetonas, etc. Presentes en la biomasa y en la banda 1257.36 se puede identificar la presencia de éteres aromáticos y alifáticos. Al poder determinar la presencia de los grupos carbonosos en las NPs magnéticas se puede comprobar que el proceso de síntesis que se llevó a cabo fue exitoso.

4.1.2.2. Microscopia electrónica de barrido (MEB)

Con la intención de evidenciar la forma y distribución de las NPs magnéticas se realizaron varias visualizaciones de las mismas en el microscopio electrónico de barrido con una energía de 8.0 kilovoltios (kV) y un aumento de 5 μm , tal como se observa en la Ilustración 4-2.

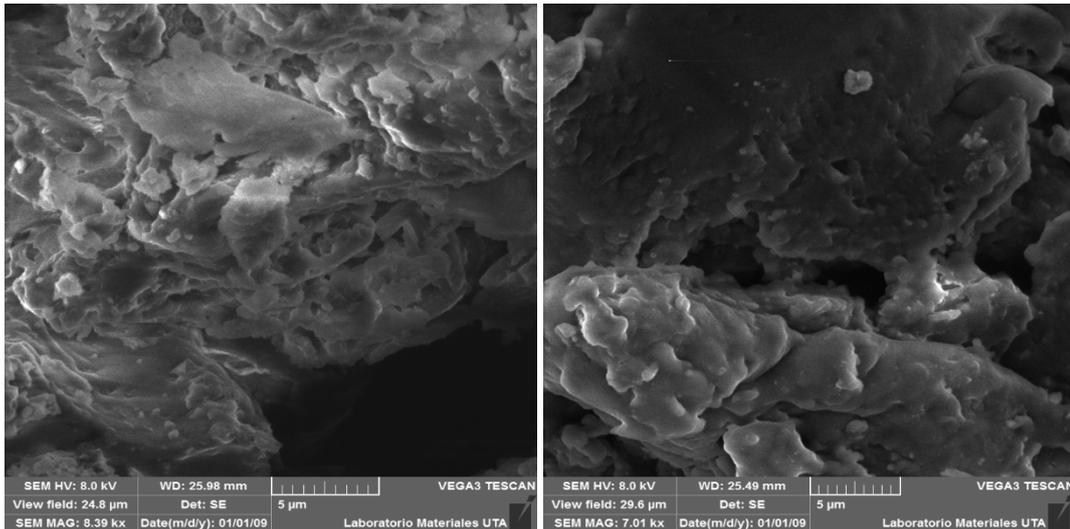


Ilustración 4-2: Imágenes MEB de Nanopartículas magnéticas de cáscara de cacao

Realizado por: Naranjo, Jordy, 2023.

El uso del microscopio electrónico de barrido se aplicó con la intención de observar la morfología de las NPs magnéticas, cuyas imágenes obtenidas se compararon con los resultados de la investigación realizada por Colom et al. (2020: pp.172-173) las cuales coinciden con la forma laminar que se observó en las imágenes y la distribución que presenta el óxido de grafeno al ser observado a través de este equipo.

4.1.3. Eficacia de nanopartículas magnéticas

En la Tabla 4-1 se muestran los resultados de la eficacia de remoción de mercurio de cada unidad experimental tras la aplicación de las nanopartículas magnéticas obtenidas de la cáscara de cacao, en la cual se identifica el cambio en la concentración y porcentaje de mercurio adsorbido por las mismas, obteniendo un promedio de absorción de 88.14% en relación a 1.5 gramo de NPs magnéticas agregadas. Además, se determinaron parámetros físicos y químicos tales como: pH, conductividad eléctrica, temperatura y turbiedad, los cuales fueron analizados con la intención de verificar si existió variación tanto en la fase inicial y final de la prueba de jarras.

Tabla 4-1: Resultados de los parámetros físicos y químicos de las unidades experimentales

C. ambiente contaminado	N° muestras	Cantidad NPs (g)	Parámetros antes del Tratamiento			Parámetros después del Tratamiento				Concentración de mercurio después del tratamiento (µg/L)	Concentración de mercurio removido (µg/L)	Porcentaje de mercurio removido (%)	Promedio de mercurio removido (%)	
			PH	Conductividad µS/cm	T °C	Turbiedad (NTU)	PH	Conductividad µS/cm	T °C					Turbiedad (NTU)
110 µg/L	UE 1	0.5 g	3.14	183.6	22.5	0.4	3.35	153	22.2	56	18.29	91.71	83.373	79.427
	UE 2		3.8	212.4	22.1	0.32	3.42	156.1	22.7	111	23.02	86.98	79.073	
	UE 3		3.13	189	21	0.24	3.46	155.9	22.2	100.3	26.58	83.42	75.836	
	UE 4	1 g	3.13	204	22	0.23	3.67	143.2	21.9	183	29.62	80.38	73.073	73.830
	UE 5		3.28	216.3	21.9	0.29	3.74	158.1	21.7	147	44.95	65.05	59.136	
	UE 6		3.28	223.6	21.8	0.25	3.83	165.9	22.1	121	11.79	98.21	89.282	
	UE 7	1.5 g	3.55	212.8	21.5	0.25	3.55	163.3	21.6	59	11.68	98.32	89.382	88.142
	UE 8		3.30	231.7	21.6	0.27	3.84	174.4	21.6	118	13.53	96.47	87.700	
	UE 9		3.32	238.3	21.7	0.28	3.80	186.5	21.9	188	13.92	96.08	87.345	

Realizado por: Naranjo, Jordy, 2023.

4.1.3.1. Análisis de concentración de mercurio

En la ilustración 4-3 se muestra la concentración de mercurio en cada UE antes y después de la aplicación de las NPs magnéticas, demostrando una disminución en la concentración de este metal con cada dosificación agregada en el desarrollo del proceso experimental. De este modo se demostró una disminución en la concentración de las UE 1, 2 y 3 de 75 a 83 $\mu\text{g/L}$, esto quiere decir que existe un porcentaje de remoción promedio del 79,42%, con una dosificación de 0.5 g de nanopartículas magnéticas.

Mientras que en las UE 4, 5 y 6 la concentración de las mismas disminuyó en 73, 59 y 89 $\mu\text{g/L}$ respectivamente, demostrando que existe un porcentaje de remoción promedio del 73,83% al haber realizado con una dosificación de 1.0 g de NPs magnéticas. Finalmente en las UE 7, 8 y 9 existió una disminución similar en la concentración de las mismas siendo de 89, 87 y 87 $\mu\text{g/L}$ de mercurio, demostrando un porcentaje de remoción promedio del 88.14% de este metal con una dosificación de 1.5 g de nanopartículas magnéticas.

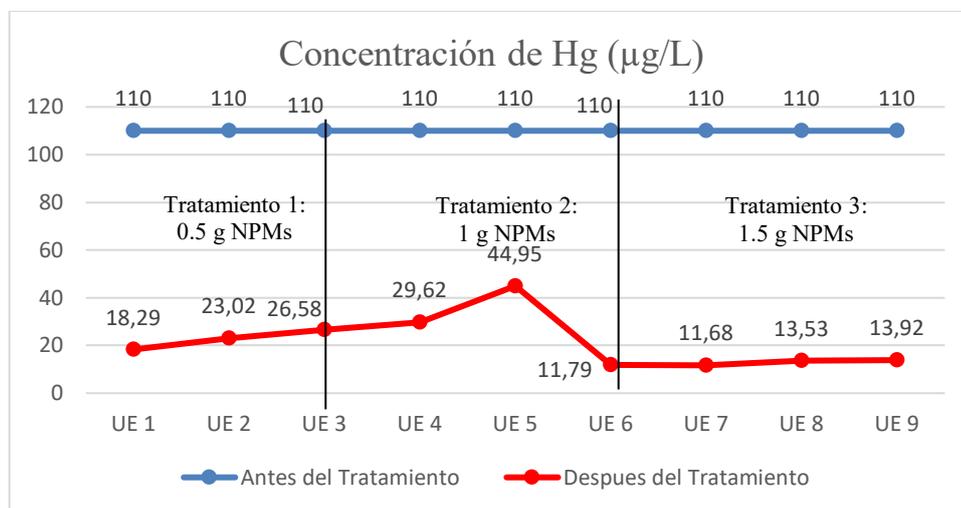


Ilustración 4-3: Concentración de mercurio en las unidades experimentales

Realizado por: Naranjo, Jordy, 2023.

4.1.3.2. Análisis de parámetros de las unidades experimentales

- **pH:** En la ilustración 4-4 se muestran los niveles de pH medidos en cada UE con concentración de 110 $\mu\text{g/L}$ previamente a la aplicación de las NPs magnéticas, las cuales antes de realizar la prueba de jarras se mantienen en un rango de 3.14 hasta 3.80, esto puede deberse a la presencia de ácido nítrico en el estándar de mercurio para cada UE. No obstante, luego de la aplicación de las NPs magnéticas, dicho parámetro aumentó en un rango de 3,35 hasta 3,84 demostrando que los niveles de acides de las UE tendieron a disminuir.

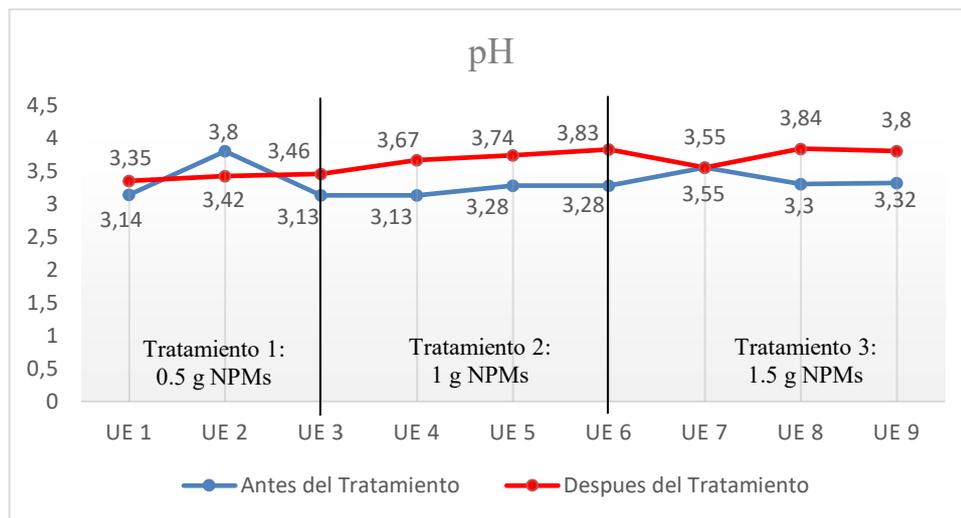


Ilustración 4-4: Resultados de pH de las 9 UE

Realizado por: Naranjo, Jordy, 2023.

- Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$):** En la ilustración 4-5, se puede visualizar los niveles de conductividad eléctrica de cada UE, los cuales antes de la aplicación de las NPMs oscilaban entre $183.6 \mu\text{S}/\text{cm}$ el valor más bajo, hasta llegar a $238.3 \mu\text{S}/\text{cm}$ siendo este el más alto. No obstante, al agregar las NPMs en cada una de las unidades experimentales se logró observar una disminución en la conductividad eléctrica, siendo $186.5 \mu\text{S}/\text{cm}$ el valor el valor más bajo de reducción de conductividad eléctrica, mientras que el valor más alto de reducción fue de $153 \mu\text{S}/\text{cm}$. De acuerdo a los valores obtenidos se determina que existe una reducción en la conductividad eléctrica en cada unidad experimental.

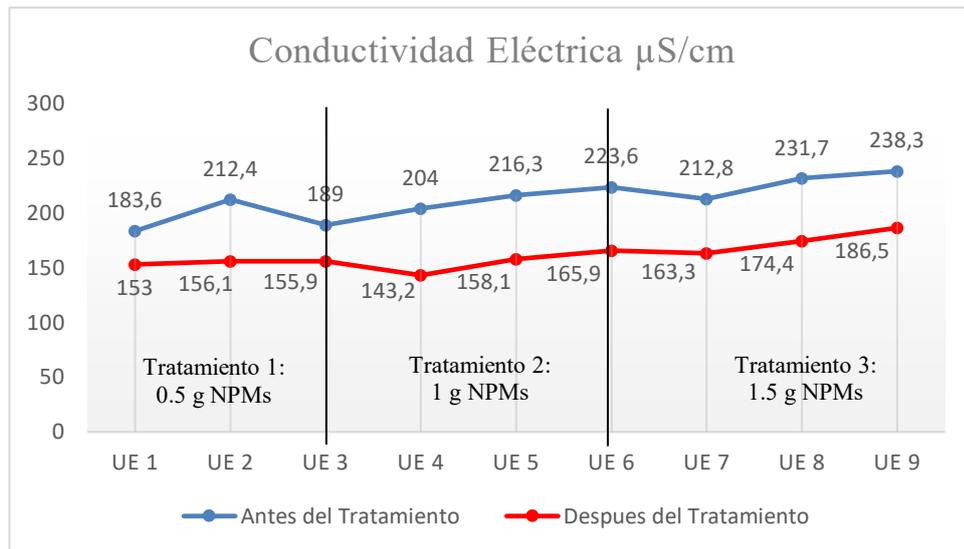


Ilustración 4-5: Resultados de turbiedad en las 9 UE

Realizado por: Naranjo, Jordy, 2023.

- Turbiedad (NTU):** En la ilustración 4-6, se presentan los niveles de turbiedad medidos en cada UE, los cuales antes de aplicar las NPs magnéticas se mantienen en un rango de 0,23 NTU hasta 0,40 NTU siendo este el valor más alto. Mientras que, después del desarrollo experimental, la turbiedad de cada UE fue en aumento siendo 56 NTU el menor valor, hasta 188 NTU siendo este último el valor más alto, debido a esto se establece la existencia del aumento en la turbiedad. Cabe mencionar que dicho aumento se debió a la existencia de las NPs magnéticas en suspensión en cada unidad experimental.

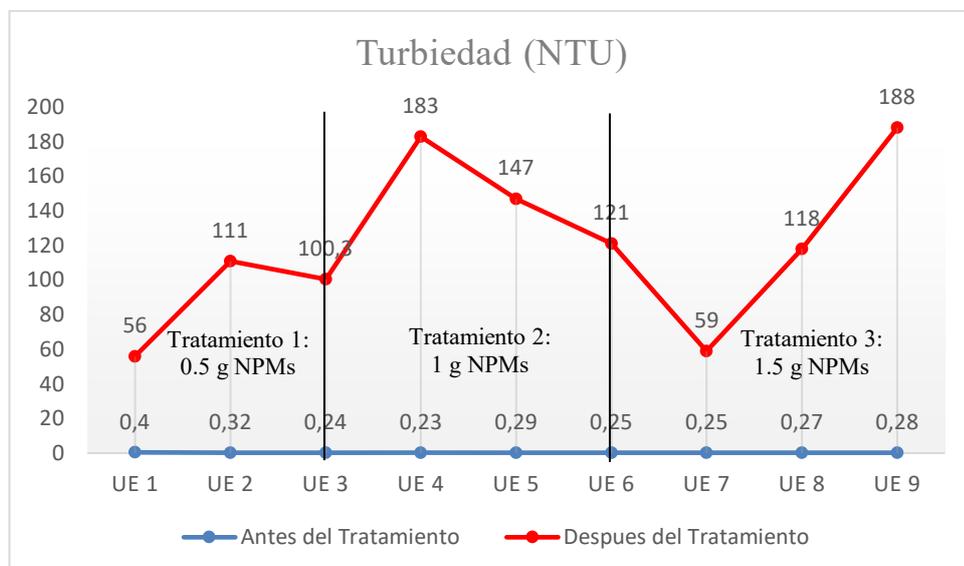


Ilustración 4-6: Resultados de conductividad en las 9 UE

Realizado por: Naranjo, Jordy, 2023.

4.2. Discusión de los resultados

Es de gran importancia recalcar que un inadecuado manejo de los efluentes genera graves daños por contaminación a las fuentes de agua dulce, por ende es necesario el uso de nuevas tecnologías para el tratamiento de estas aguas contaminadas. La contaminación por metales pesados genera un gran impacto acabando con la diversidad acuática, además, de que se vuelve inutilizable para consumo y otros usos. Es por este motivo que se busca alternativas que permitan mejora la calidad de agua y por ende la calidad de vida de quienes se abastecen de este recurso.

En los resultados del trabajo de investigación se pudo apreciar que el proceso de carbonización hidrotermal efectuado para la síntesis de NPs magnéticas es el adecuado, coincidiendo con las investigaciones realizadas por Domínguez (2018, p.44). Al mismo tiempo la carbonización hidrotermal efectuada en las investigaciones realizadas por Andrade (2022, p.44) determina que este proceso se puede efectuar en distintos tiempos y temperaturas hasta los 200 °C, obteniendo buenos resultados para la síntesis de nanomateriales carbonosos a partir de material orgánico. Por esta razón, el proceso de carbonización hidrotermal fue eficaz en la síntesis de NPs magnéticas.

A la par de la síntesis por medio de la carbonización hidrotermal la caracterización de las muestra fue de gran utilidad, debido a que se pudo identificar forma, distribución y los grupos funcionales que componen las NPs magnéticas; de esta manera se pudo definir el tipo de nanomaterial obtenido. En la ilustración 4-7 se muestra los espectros infrarrojos de la presente investigación y en la Ilustración 4-8 los resultados obtenidos por Lara et al. (2016: pp.118-120) cuales se compararon con la intención de encontrar similitudes en las investigaciones.

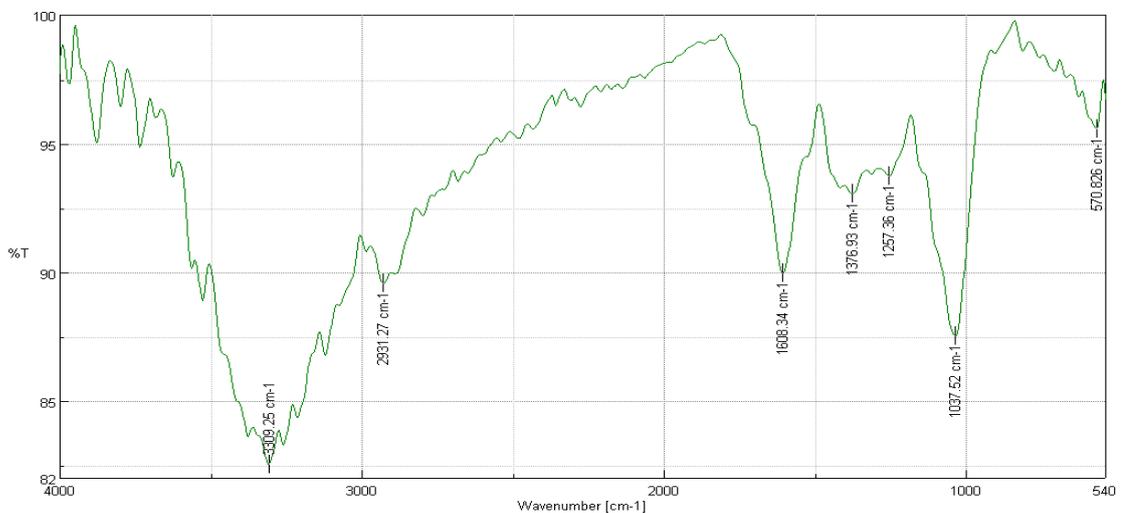


Ilustración 4-7: IR cáscara de cacao de la presente investigación

Realizado por: Naranjo, Jordy, 2023.

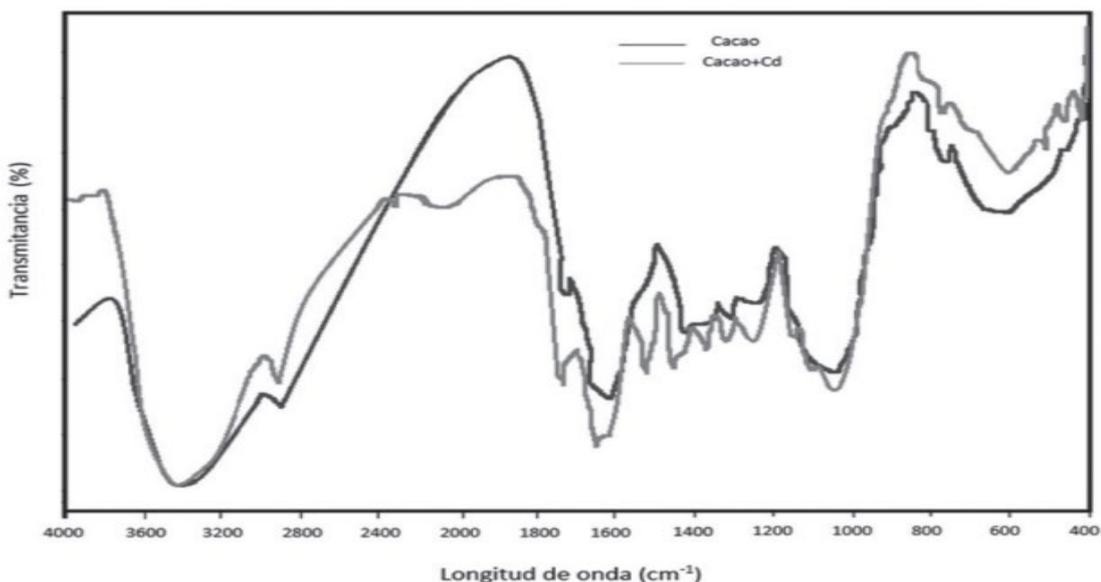


Ilustración 4-8: IR cáscara de cacao para absorción de cadmio en agua

Fuente: (Lara et al., 2016: pp.118-120)

Con respecto al IR de las NPs magnéticas se pudo identificar los grupos funcionales comparando la gráfica obtenida en esta investigación con los resultados obtenidos por Lara et al. (2016: pp.118-120) los cuales muestran similitud entre ellas. Además en la investigación realizada por Esteve et al. (2020: p.58), indica que la presencia de estos grupos hidroxilos, ester, cetona y ácidos carboxílicos, son componentes característicos del óxido de grafeno.

Al mismo tiempo la obtención de imágenes con el microscopio electrónico de barrido (MED) demostró que tienen una gran similitud con las imágenes obtenidas del óxido de grafeno en la investigación realizada por Colom et al. (2020: pp.172-173). A continuación se muestran las imágenes A y B, las cuales son el resultado de la investigación realizada por Colom y el resultado del presente trabajo respectivamente, demostrando que existe similitud entre sí con respecto a la forma laminar y la distribución que presentan estas NPs magnéticas.

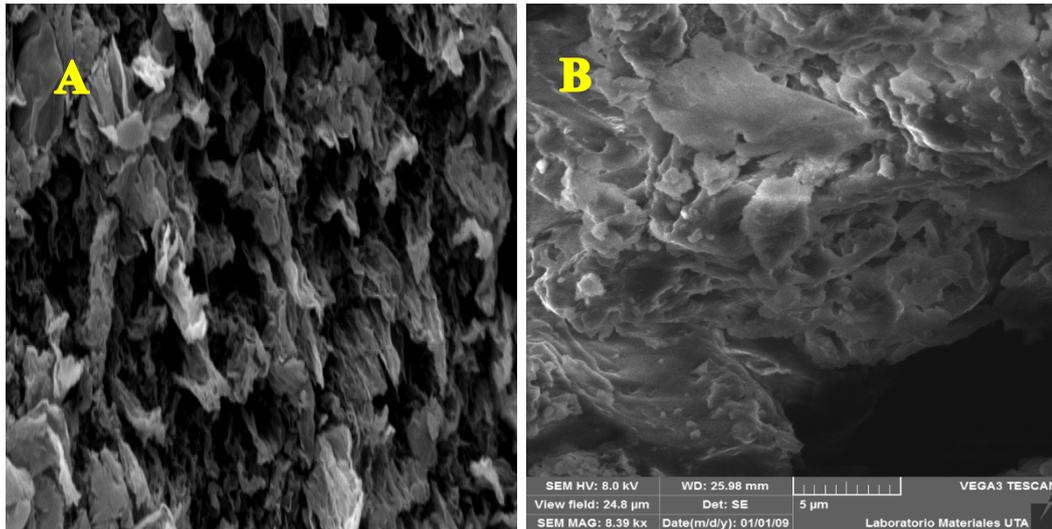


Ilustración 4-9: Comparativa imagen MED de las investigaciones

Realizado por: Naranjo, Jordy, 2023.

Mientras que para el desarrollo experimental de la investigación el cual fue un proceso primordial en la remoción de mercurio, se realizó la medición de parámetros antes y después de agregar las NPs magnéticas y el desarrollo de la prueba de jarras, los cuales fueron: pH, conductividad eléctrica y turbiedad. Una vez terminado el proceso experimental los datos arrojados que se muestran en la Tabla 4-2 sufrieron variación al grado de aumentar o disminuir sus valores, tal es el caso de la conductividad eléctrica de las UE, disminuyeron un promedio de 50.6 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En el caso del pH, existió muy poco aumento hacia la neutralidad o alcalinidad del agua. Mientras que para la turbiedad existió un aumento considerable de la misma, todo esto debido a la suspensión de las NPs magnéticas presentes en las UE.

Tabla 4-2: Valores significativos de conductividad eléctrica en las UE

N° de muestras	UE 1	UE 2	UE 3	UE 4	UE 5	UE 6	UE 7	UE 8	UE 9
Antes de aplicar NPMs	183.6 $\mu\text{S}/\text{cm}$	212.4 $\mu\text{S}/\text{cm}$	189 $\mu\text{S}/\text{cm}$	204 $\mu\text{S}/\text{cm}$	216.3 $\mu\text{S}/\text{cm}$	223.6 $\mu\text{S}/\text{cm}$	212.8 $\mu\text{S}/\text{cm}$	231.7 $\mu\text{S}/\text{cm}$	238.3 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Después de aplicar NPMs	153 $\mu\text{S}/\text{cm}$	156.1 $\mu\text{S}/\text{cm}$	155.9 $\mu\text{S}/\text{cm}$	143.2 $\mu\text{S}/\text{cm}$	158.1 $\mu\text{S}/\text{cm}$	165.9 $\mu\text{S}/\text{cm}$	163.3 $\mu\text{S}/\text{cm}$	174.4 $\mu\text{S}/\text{cm}$	186.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$

Realizado por: Naranjo, Jordy, 2023.

Finalmente en la presente investigación se obtuvo resultados positivos en cuanto a la remoción de Hg, ya que en los ensayos se ha logrado disminuir la concentración entre un 87.70 - 89.38% de este metal en las UE 6, 7, 8 y 9, teniendo en cuenta la cantidad de nanopartículas magnéticas agregadas que fue de 1 a 1.5 gramos. Sin embargo, existió una disminución de remoción en las

UE 4, 5 y 6, debido a que se obtuvo un porcentaje de remoción de 73.07, 59.13 y 89 %, si se varia la dosificación de NPs magnéticas obtenidas de la cascara de cacao, dejando en duda la eficacia de remoción. En la Tabla 4-3 se presenta los porcentajes de remoción de mercurio con la intención de evidenciar lo anteriormente mencionado sobre las UE.

Tabla 4-3: Porcentaje de remoción de mercurio

C. ambiente contaminado	Nº de muestras	Cantidad de NPMs	Concentración de mercurio después del tratamiento (µg/L)	Concentración de mercurio removido (µg/L)	Porcentaje de remoción de mercurio (%)	Promedio de mercurio removido (%)
110 µg/L	UE 1	0.5 g	18.29	91.71	83.373	79.427
	UE 2		23.02	86.98	79.073	
	UE 3		26.58	83.42	75.836	
	UE 4	1.0 g	29.62	80.38	73.073	73.830
	UE 5		44.95	65.05	59.136	
	UE 6		11.79	98.21	89.282	
	UE 7	1.5 g	11.68	98.32	89.382	88.142
	UE 8		13.53	96.47	87.700	
	UE 9		13.92	96.08	87.345	

Realizado por: Naranjo, Jordy, 2023.

4.3. Comprobación de la hipótesis

Ho: ¿No son eficaces las nanopartículas magnéticas obtenidas de los desechos de la planta de cacao para el tratamiento de aguas contaminadas con mercurio (Hg)?

Por los resultados obtenidos después de haber tratado el agua contaminada con mercurio se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

Hi: ¿Son eficaces las nanopartículas magnéticas obtenidas de los desechos de la planta de cacao para el tratamiento de aguas contaminadas con mercurio (Hg)?

Con la aplicación de NPs magnéticas se corrobora que su presencia disminuye la concentración de este metal del mercurio en las unidades experimentales con un porcentaje de remoción promedio del 79.42% para el tratamiento 1 agregando 0.5 g de NPs magnéticas. Un 73.83% en el tratamiento 2 agregando 1.0 g y finalmente un 88.14% de remoción de mercurio para el tratamiento 3, agregando una dosificación de 1.5 g de nanopartículas magnéticas.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- El proceso de carbonización hidrotermal presentó muchas ventajas para sintetizar NPs magnéticas a partir de cascaras de cacao, ya que presentaron una gran cantidad de grupos funcionales, los cuales son muy importantes para la remoción de contaminantes en agua.
- La caracterización de las NPs magnéticas mediante espectroscopia infrarroja, demostró la existencia de los grupos funcionales que las conforman, siendo estos el ácidos carboxílicos, grupos hidroxilo, ésteres y éteres. Mientras que el microscopio electrónico de barrido demostró la distribución y forma de las mismas.
- La eficacia de la remoción de mercurio en las UE 7, 8 y 9, demostraron un porcentaje promedio de la remoción de 88,42% tras la aplicación de 1,5 gramo de NPs magnéticas.
- Existe un beneficio positivo en el proceso de obtención de las NPs magnéticas a partir de la cáscara de cacao considerando los porcentajes de remoción de Hg alcanzados.
- De acuerdo con la revisión bibliográfica existen otros tipos de NPs magnéticas con mejores resultados a diferencia de los obtenidos en el presente proyecto de investigación.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda continuar con la investigación, aplicando otro tipo de biomasa para la producción de NPs magnéticas.
- Aplicar la síntesis de NPs magnéticas con otras variedades de cacao debido a las diferencias que cada uno posee.
- En el proceso de carbonización hidrotérmica se recomienda variar la temperatura y el tiempo al que estará sometida la biomasa, con la intención de obtener nuevos resultados.
- Profundizar en la aplicación de NPs magnéticas variando la dosificación de las mismas en el agua a tratar con la intención de obtener una dosificación eficaz para la remoción de mercurio en aguas contaminadas.
- Se recomienda que existan pruebas en muestras de agua naturales, donde existen otras variables que podrían influenciar en la remoción de mercurio tras la aplicación de las NPs magnéticas.
- Ampliar la investigación sobre la eficacia de aplicación de NPs magnéticas con otros tipos de metales pesados y demás parámetros sobre la calidad del agua como la, Demanda Biológica de Oxígeno, Nitritos, Materia orgánica, Demanda Química de Oxígeno y Coliformes totales y fecales.

BIBLIOGRAFÍA

ABAD, A.; et al. "El cacao en la Costa ecuatoriana: estudio de su dimensión cultural y económica". *Estudios de la Gestión* [En línea], 2019, (Ecuador) 1(7), pp. 59-83. [Consulta: 7 noviembre 2022]. ISSN 2550-6641. Disponible en: <https://revistas.uasb.edu.ec/index.php/eg/article/view/1442/1270>.

ANDRADE SALGADO, Maria Fernanda. Estudio de partículas de carbono obtenidas mediante el método hidrotérmico [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 2022. pp. 1-128. [Consulta: 2022-09-23]. Disponible en: https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/22912/1/CD_12368.pdf

Anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua. REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE LA NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES : RECURSO AGUA.

ARCOS PAZMIÑO, Carla Patricia. Evaluación de pérdidas y desperdicios en empresas artesanales generadoras de valor agregado con cacao CCN51 (*Theobroma cacao* L.) del cantón Ambato-Ecuador [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Técnica De Ambato, Ambato, Ecuador. 2022. pp. 1-32. [Consulta: 2022-09-18]. Disponible en: https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/36525/1/CAL_007aa.pdf

ARDILA SUÁREZ, Carolina, & CARREÑO JEREZ, Silvia Carolina. APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE LA MAZORCA DE CACAO COMO ADSORBENTE [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia. 2011. pp. 3-59. [Consulta: 2022-09-23]. Disponible en: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2011/137849.pdf>

AZCONA CARBAJAL, Á., & GONZÁLEZ FERNÁNDEZ, M. *Propiedades y funciones biológicas del agua* [en línea]. Madrid-España: 2012. [Consulta: 5 noviembre 2022]. Disponible en: <https://www.ucm.es/data/cont/docs/458-2013-07-24-Carbajal-Gonzalez-2012-ISBN-978-84-00-09572-7.pdf>

BACUILIMA PULLA, Andrea Fernanda, & ZHUMI GUIRACOCHA, Tania Elizabeth. EVALUACIÓN ENERGÉTICA DE LOS RESIDUOS DE PODA DE LA PLANTA DE CACAO DE LAS VARIEDADES CCN-51 y NACIONAL [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería)

Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador. 2017. pp. 2-104. [Consulta: 2022-11-07]. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/28383/3/Trabajo de Titulación.pdf>

BANÚS, M. del C., & BERTRÁN, C. E. "Importancia del Agua". *Elementalwatson "la" revista* [en línea], 2010, (Argentina) (1), pp. 2-41. [Consulta: 07 noviembre 2022]. ISSN 1853-032X. Disponible en: <https://www.elementalwatson.com.ar/Revista 1 N 1b.pdf>

BARCELÓ, L. D., & LÓPEZ DE ALDA, M. J. "Contaminación y calidad química del agua: el problema de los contaminantes emergentes". *fnca.eu* [en línea], 2008, (España), pp. 1-26. [Consulta: 2 noviembre 2022]. Disponible en: https://fnca.eu/phocadownload/P.CIENTIFICO/inf_contaminacion.pdf

BELZONA INC. *Tratamiento de Aguas Residuales* [en línea]. Miami-USA: Belzona, 2010. [Consulta: 5 noviembre 2022]. Disponible en: https://www.belzona.com/es/solution_maps/wastewater/money_map.pdf

BENALCAZAR BASSANTE, José Carlos. Evaluación de diferentes pretratamientos químicos a la biomasa de la cáscara de cacao para procesos de fermentación alcohólica [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad San Francisco de Quito, Quito, Ecuador. 2018. pp. 1-62. [Consulta: 2022-09-24]. Disponible en: <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/8423/1/139537.pdf>

BRACHO LUZARDO, Mildred; et al. TRATAMIENTO NO CONVENCIONAL DE LAS AGUAS RESIDUALES URBANAS DE TUCANÍ, VENEZUELA [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Escuela de Organización Industrial, España. 2016. pp. 1-87. [Consulta: 2022-09-6]. Disponible en: <https://static.eoi.es/savia/documents/proyectorresumenpresentacion.pdf>

CALDERÓN ROBLES, Paola Valentina. Estado actual de la minería de oro en Ecuador: gran minería vs minería artesanal [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Politécnica de Catalunya, España. 2020. pp. 1-46. [Consulta: 2022-09-16]. Disponible en: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/335984/TFM_PAOLA_CALDERON%2813-11-2020%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

CASTRILLÓN GARCÍA, Mariana. Síntesis de nanopartículas magnéticas y su aplicación en nanocompuestos de matriz polimérica con propiedades magnéticas [En línea] (Trabajo de titulación). (Doctorado). Universidad de Zaragoza, Zaragoza, España. 2012. pp. 1-268. [Consulta:

2022-11-05]. Disponible en: <https://zaguan.unizar.es/record/9918/files/TESIS-2012-151.pdf>

CAVIEDES RUBIO, D. I.; et al. "Tratamientos para la Remoción de Metales Pesados Comúnmente Presentes en Aguas Residuales Industriales. Una Revisión". *Revista Ingeniería y Región* [en línea], 2015, 13(1), pp. 73-90. [Consulta: 10 octubre 2022]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5432290.pdf>.

CHAMÉ FERNÁNDEZ, Karely. Síntesis y Caracterización de Nanopartículas Magnéticas [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Centro de Investigaciones en Óptica, A. C., León, Gto., México. 2013. pp. 1-86. [Consulta: 2022-11-07]. Disponible en: <https://cio.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1002/559/1/15611.pdf>

CHULLUNCUY CAMACHO, N. C. "Tratamiento de agua para consumo humano". *Ingeniería Industrial* [en línea], 2011, (Perú) (29), pp. 153-170. [Consulta: 12 octubre 2022]. ISSN 1025-9929. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=337428495008>

COLOM, X.; et al. "Análisis estructural de Óxidos de Grafeno (GO) y Óxidos de Grafeno reducidos (rGO)". *Afinidad. Journal of Chemical Engineering Theoretical and Applied Chemistry* [en línea], 2020, (España) 77(591), pp. 167-174. [Consulta: 10 febrero 2023]. Disponible en: <https://raco.cat/index.php/afinidad/article/view/377162>

COMEAU, Y. *Tratamiento biológico de aguas residuales: Principios, modelación y diseño* [en línea]. 2017. [Consulta: 10 enero 2023]. Disponible en: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/esepoch/reader.action?docID=5188465&query=tratamiento+de+aguas>.

CUADROS, M; et al. *Nanotecnología en medicina* [en línea]. Sevilla-España: Agencia de Evaluación de Tecnologías Sanitarias de Andalucía, 2007. [Consulta: 10 noviembre 2022]. Disponible en: https://www.aetsa.org/download/publicaciones/antiguas/AETSA_2007-02_F2_Nanomedicina.pdf

CORAL, D. F., & MERA, J. A. "Una guía para el estudio de nanopartículas magnéticas de óxidos de hierro con aplicaciones biomédicas". *Ingeniería y Ciencia* [en línea], 2017, (Colombia) 13(25), pp. 229-245. [Consulta: 13 noviembre 2022]. ISSN 1794-9165. Disponible en: <https://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/ingciencia/article/view/4572/pdf>

DECRETO EJECUTIVO 752. REGLAMENTO AL CÓDIGO ORGÁNICO DEL AMBIENTE

DOMÍNGUEZ MENDOZA, Judith. Obtención de Materiales carbonosos y furanos a partir de Bagazo de agave por carbonización hidrotérmica [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Centro de Investigación en Materiales Avanzados, Chihuahua, México. 2018. pp. 12-66. [Consulta: 2022-12-10]. Disponible en: [https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/2270/1/Tesis Judith Dominguez Materiales carbonosos y furanos.pdf](https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/2270/1/Tesis%20Judith%20Dominguez%20Materiales%20carbonosos%20y%20furanos.pdf)

ESMERALDAS VERA, Patricia Karolina, & ZAMBRANO ZAMBRANO, Jenny Roxanna. EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MERCURIO EN AGUA Y SEDIMENTO EN EL RÍO CARRIZAL [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Calceta, Ecuador. 2018. pp. 1-56. [Consulta: 2023-02-12]. Disponible en: <https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/738/1/TMA162.pdf>

ESTEVE ADELL, I.; et al. "Grafeno: obtención, tipos y su aplicación como sensor para detección de gases y sensor de presión". *Avances en Química* [en línea], 2020, (Venezuela) 15(2), pp. 57-72. [Consulta: 12 febrero 2023]. ISSN 1856-5301. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93364482004>.

FERRER DUFOL, A. "Intoxicación por metales". *Anales Sis San Navarra* [en línea], 2003, (España), 26(1), pp. 141-153. [Consulta: 14 octubre 2022]. ISSN 1137-6627. Disponible en: <https://scielo.isciii.es/pdf/asisna/v26s1/ocho.pdf>

FLORES MIRANDA, Angélica Estefanía, & JUELA JADÁN, Gladys Elizabeth. Análisis de producción del cacao y su rentabilidad agrícola en el cantón Milagro, Provincia del Guayas, Ecuador [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Estatal de Milagro, Milagro, Ecuador. 2018. pp. 1-33. [Consulta: 2022-11-10]. Disponible en: [http://repositorio.unemi.edu.ec/bitstream/123456789/4122/1/ANÁLISIS DE PRODUCCIÓN DEL CACAO Y SU RENTABILIDAD.pdf](http://repositorio.unemi.edu.ec/bitstream/123456789/4122/1/ANÁLISIS%20DE%20PRODUCCIÓN%20DEL%20CACAO%20Y%20SU%20RENTABILIDAD.pdf)

FÚQUENE, D. M., & YATE, A. V. "Ensayo de jarras para el control del proceso de coagulación en el tratamiento de aguas residuales industriales". *Working papers - ECAPMA* [en línea], 2018, (Colombia), 2(1), pp. 2-5. [Consulta: 6 enero 2023]. Disponible en: <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/workpaper/article/view/2771/2857>.

GUACHI CABRERA, Pamela Elizabeth. Obtención de carbón mediante Carbonización Hidrotermal utilizando bagazo de caña [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad

Central del Ecuador, Quito, Ecuador. 2019. pp. 1-55. [Consulta: 2022-12-15]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/17962/1/T-UCE-0017-IQU-031.pdf>

IBAÑEZ ESQUIVEL, Gabriela Maritza. ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANEJO AMBIENTAL PARA LA CONSERVACIÓN DE LA SUB CUENCA DEL RÍO SAN PABLO EN EL CANTÓN LA MANÁ, PROVINCIA DE COTOPAXI [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Ecuador. 2012. pp. 1-79. [Consulta: 2022-09-14]. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/1577/1/T-UTC-2129.pdf>

IPOHORSKI, M., & BOZZANO, P. B. "Microscopía electrónica de barrido en la caracterización de materiales". *aargentinapciencias* [en línea], 1920, pp. 45-46. Disponible en: <http://aargentinapciencias.org/wp-content/uploads/2018/01/RevistasCeI/tomo63-3/5-MICROSCOPIA-ELECTRONICA-DE-BARRIDO-EN-LA-CARACTERIZACION-DE-MATERIALES-cei63-3-2013-5.pdf>

LARA, J.; et al. "Adsorción de plomo y cadmio en sistema continuo de lecho fijo sobre residuos de cacao". *Revista ION* [en línea], 2016, (Colombia) 29(2), pp. 113-124. [Consulta: 15 diciembre 2022]. ISSN 0120-100X. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/3420/342050982010.pdf>

LÓPEZ BRAGO, Sol María. ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS FISCOQUÍMICOS DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS, GENERADAS EN LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DE CERROMATOSO LOCALIZADA EN EL MUNICIPIO DE MONTELÍBANO [En línea] (Trabajo de titulación). (Química) Universidad de Córdoba, Córdoba, España. 2021. pp. 1-72. [Consulta: 2023-01-10]. Disponible en: <https://repositorio.unicordoba.edu.co/bitstream/handle/ucordoba/4562/lopezbrangosol-paterninauriberberth.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

LÓPEZ CASTRO, Verónica Cristina. EL TRATAMIENTO DE DESECHOS SÓLIDOS DE DERIVADOS DEL CACAO Y LA PRODUCTIVIDAD EN LA PLANTA DE CHOCOLATES MÁS CHOCO [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador. 2014. pp. 1-159. [Consulta: 2022-12-13]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/8587/1/MSc.29.pdf>

LÓPEZ GUERRERO, Anahí. *Producción y Comercialización de Cacao Fino de Aroma en el Ecuador - Año 2012-2014* [en línea]. Ecuador: 2007. [Consulta: 9 noviembre 2022]. Disponible en: <https://www.scpm.gob.ec/sitio/wp-content/uploads/2019/03/ESTUDIO-DEL-CACAO-IZ7-version-publica-ultima.pdf>.

LOPEZ TROYA, Marlon Enrique. Caracterización nanopartículas por método de microscopia electrónica de barrido y espectroscopia de energía dispersiva de rayos X [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, Ecuador. 2022. pp. 1-26. [Consulta: 2022-11-13]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/22681/1/UPS-GT003769.pdf>

LORENZO ACOSTA, Y. "Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación". *ICIDCA* [en línea], 2006, (Cuba) 40(2), pp. 10-17. [Consulta: 6 noviembre 2022]. ISSN 0138-6204. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223120664002.pdf>

MARIMON BOLIVAR, Wilfredo. INGENIERÍA DE NANOPARTÍCULAS MAGNÉTICAS PARA LA REMOCIÓN DE METALES PESADOS EN AGUAS [En línea] (Trabajo de titulación). (Doctorado) Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia. 2018. pp. 2-148. [Consulta: 2022-11-05]. Disponible en: <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/39649/Documento.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

MÁRQUEZ PEÑAMARÍA, G.; et al. "CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS EN LOS SEDIMENTOS DE LOS RÍOS TÍNIMA Y HATIBONICO, CAMAGUEY, CUBA". *Revista Cubana de Química* [en línea], 2005, (Cuba) 17(3), pp. 59-67. [Consulta: 11 octubre 2022]. ISSN 0258-5995. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=443543687019>.

MEDINA, M.; et al. "LAS NANOPARTÍCULAS Y EL MEDIO AMBIENTE". *Scielo* [en línea], 2016, (Venezuela) 19(74), pp. 49-58. [Consulta: 5 noviembre 2022]. ISSN 1316-4821. Disponible en: <http://ve.scielo.org/pdf/uct/v19n74/art05.pdf>

MENDOZA URIBE, G., & RODRÍGUEZ LÓPEZ, J. L. "La nanociencia y la nanotecnología: una revolución en curso". *Perfiles Latinoamericanos* [en línea], 2007, (México) (29), pp. 161-186. [Consulta: 7 noviembre 2022]. ISSN 0188-7653. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/115/11502906.pdf>

MERO, M.; et al. "CONCENTRACIÓN DE CADMIO EN AGUA, SEDIMENTOS, *Eichhornia*

crassipes Y *Pomacea canaliculata* EN EL RÍO GUAYAS (ECUADOR) Y SUS AFLUENTES". *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* [en línea], 2018, (Ecuador) 35(3), pp. 623-640. [Consulta: 14 diciembre 2022]. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v35n3/0188-4999-rica-35-03-623.pdf>

MOLINA CEDEÑO, C. S.; et al. "Producción más limpia como estrategia ambiental preventiva en el proceso de elaboración de pasta de cacao. Un caso en la Amazonia Ecuatoriana". *Industrial Data* [en línea], 2020, (Perú) 23(2), pp. 59-72. [Consulta: 10 noviembre 2022]. ISSN 1560-9146. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/816/81665362008/81665362008.pdf>

PABÓN, E.; et al. "Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión". *Entre Ciencia e Ingeniería* [en línea], 2020, (Colombia) 14(27), pp. 9-18. [Consulta: 12 octubre 2022]. ISSN 2539-4169. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/ecei/v14n27/1909-8367-ecei-14-27-9.pdf>

PEÑA DIAZ, Diana Marshely. EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DEL LAGO DE MORONA COCHA EN LA SALUD DE LA POBLACIÓN RIBEREÑA-IQUITOS-2018 [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Escuela de Formación Profesional de Ingeniería en Gestión Ambiental, Iquitos, Perú. 2019. pp. 12-66. [Consulta: 2022-09-14]. Disponible en: https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12737/5802/Diana_tesis_titulo_2_018.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

QUISPE MAMANI, J. C.; et al. "EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN HÍDRICA SOBRE LA SALUD PÚBLICA DE LA POBLACIÓN DE LA CUENCA COATA, DE LA REGIÓN DE PUNO –2019". *Journal of the Academy* [en línea], 2020, (Perú) (3), pp. 1-16. [Consulta: 13 octubre 2022]. ISSN 2707-0301. Disponible en: <https://journalacademy.net/index.php/revista/article/view/22/16>.

RAMÍREZ, A. V. "Toxicología del cadmio. Conceptos actuales para evaluar exposición ambiental uocupacional con indicadores biológicos". *Anales de la Facultad de Medicina* [en línea], 2002, (Perú) 63(1), pp. 51-64. [Consulta: 15 octubre 2022]. ISSN 1025-5583. Disponible en: <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/anales/article/view/1477/1260>.

REGISTRO OFICIAL 449. CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR.

REGISTRO OFICIAL SUPLEMENTO 983. CÓDIGO ORGÁNICO DEL AMBIENTE.

RODRÍGUEZ GÁMEZ, O.; et al. "Remoción de cobre de aguas contaminadas empleando ramnolípido". *Revista Cubana de Química*. [en línea], 2020, (Cuba) 32(3), pp. 511-526. [Consulta: 15 diciembre 2022]. ISSN 2224-5421. Disponible en: <https://www.redalyc.org/jatsRepo/4435/443565548010/443565548010.pdf>

RODRÍGUEZ, Lander. *El proceso de tratamiento de aguas residuales y eliminación de contaminantes emergente* [blog]. 2020. [Consulta: 16 octubre 2022]. Disponible en: <https://www.iagua.es/blogs/lander-rodriguez-jorge/proceso-tratamiento-aguas-residuales-y-eliminacion-contaminantes>

ROMERO, K. "Contaminación por metales pesados". *Revista Científica Ciencia Médica SCEM* [en línea], 2009, 12(1), pp. 45-46. [Consulta: 17 diciembre 2022]. Disponible en: http://www.scielo.org.bo/pdf/rccm/v12n1/v12n1_a13.pdf

SEMARNAT. *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales* [en línea]. México: 2012. [Consulta: 10 enero 2023]. Disponible en: https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_12/pdf/Cap6_agua.pdf

SERRANO MARTÍNEZ, José Luis. ESPECTROSCOPIA INFRARROJA 1-Fundamentos [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Politécnica de Cartagena, Colombia. 2007. pp. 1-35. [Consulta: 2022-11-15]. Disponible en: https://www.upct.es/~minaees/espectroscopia_infrarroja.pdf

SIGÜENCIA AVILA, J. M.; et al. "Estimación del potencial de producción de bioetanol a partir de los residuos de la corteza del cacao en Ecuador". *Ciencia y Tecnología Agropecuaria* [en línea], 2020, 21(3), pp. 1-20. [Consulta: 12 noviembre 2022]. ISSN 0122-8706. Disponible en: http://www.scielo.org.co/pdf/ccta/v21n3/es_0122-8706-ccta-21-03-1429.pdf

SUAREZ, M. *Filtro Percolador* [blog]. 2019. [Consulta: 7 octubre 2022]. Disponible en: filtropercolador.blogspot.com/2019/03/1.html

VERA MORENO, Francisco Salvador. SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE NANOPARTÍCULAS MAGNÉTICAS DE HIERRO (MAGNETITA) [En línea] (Trabajo de titulación). (Biofísica) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2018. pp. 17-79. [Consulta: 2022-12-11]. Disponible en: <http://dspace.espace.edu.ec/bitstream/123456789/8971/1/86T00067.pdf>

WEINBERG, J. *Introducción a la Contaminación por Mercurio para las ONG* [en línea]. IPEN, 2010. [Consulta: 16 octubre 2022]. Disponible en: https://ipen.org/sites/default/files/documents/ipen_mercury_booklet-es.pdf

Cristian Tenelanda.S
19-07-2023.



1400-DBRA-UPT-2023

ANEXOS

ANEXO A: RECOLECCIÓN DE TALLOS DE CACAO CCN-51



ANEXO B: RECOLECCIÓN CÁSCARAS DE CACAO CCN-51



ANEXO C: PRETRATAMIENTO DE LOS TALLOS DE CACAO



ANEXO D: PRETRATAMIENTO DE LAS CÁSCARAS DE CACAO



ANEXO E: SECADO DE CÁSCARAS Y TALLOS DE CACAO



ANEXO F: PESAJE DE TALLOS Y CÁSCARAS DE CACAO



ANEXO G: PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS PARA EL PROCESO DE SÍNTESIS DE NPS MAGNÉTICAS POR CARBONIZACIÓN HIDROTHERMAL



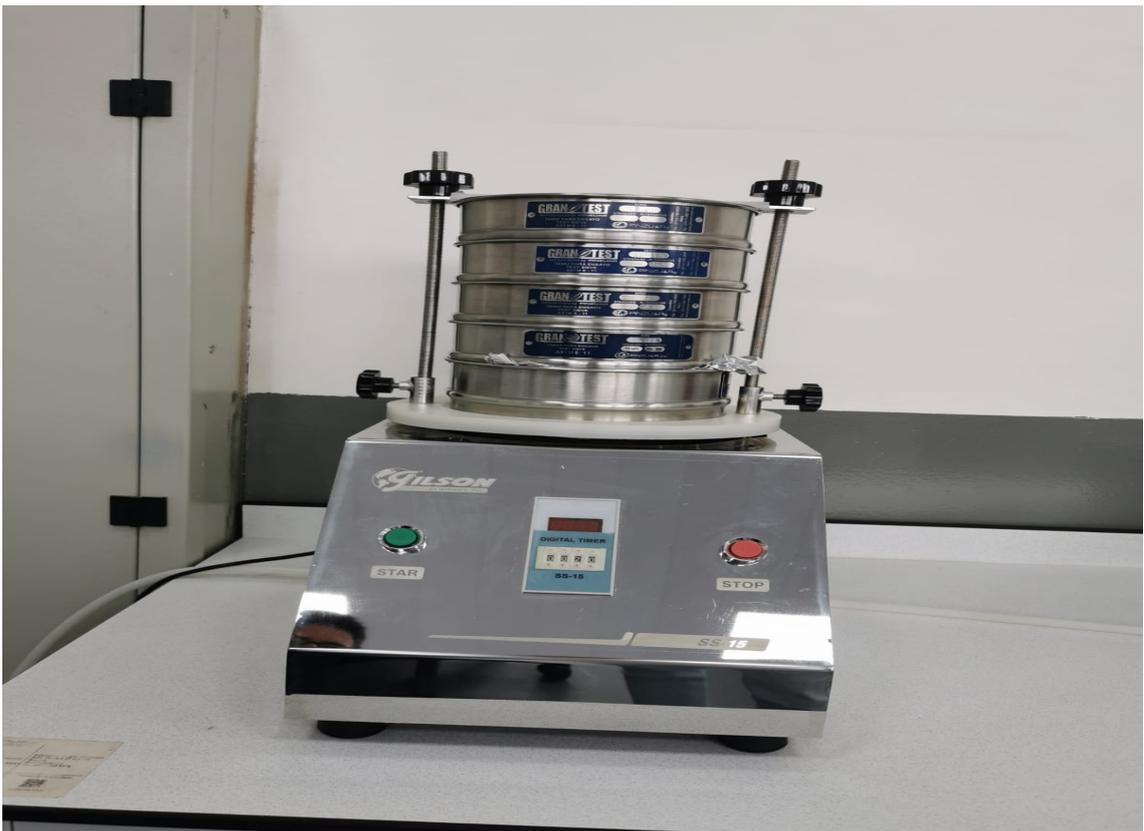
ANEXO H: SECADO DE LA CÁSCARA DE CACAO POSTERIOR AL PROCESO DE SÍNTESIS



ANEXO I: TRITURACIÓN DE LAS CÁSCARAS DE CACAO



ANEXO J: TAMIZADO DE LAS CÁSCARAS DE CACAO



ANEXO K: PREPARACIÓN DE LAS UNIDADES EXPERIMENTALES



ANEXO L: LECTURA DE PARÁMETROS DE LAS UNIDADES EXPERIMENTALES



ANEXO M: DESARROLLO DE LA PRUEBA DE JARRAS



ANEXO N: RESULTADOS DE HG EN CADA UNA DE LAS UE

Registro de trazabilidad Elemento - Hg

No cambios registr. para este elemento

ID Muestra	Señal Abs	Result. Disolución - Hg		
		Rsd %	Conc. µg/L	Conc. Corregida µg/L
Hg 9ppm-2	0.0208		11.6433	582.1641
Hg 9ppm-2	0.0212		11.8709	593.5427
Hg 9ppm-2	0.0214		11.9305	596.5271
Hg UE1	0.0335		18.2998	18.2998
Hg UE2	0.0425		23.0200	23.0200
Hg UE3	0.0493		26.5819	26.5819
Hg UE4	0.0552		29.6220	29.6220
Hg UE5	0.0844		44.9533	44.9533
Hg UE6	0.0211		11.7941	58.9707
Hg UE7	0.0209		11.6809	58.4047
Hg UE8	0.0244		13.5359	67.6794
Hg UE9	0.0252		13.9260	69.6299
Hg E1	0.0160		9.1186	9.1186
Hg Y-M	0.0167		9.5094	9.5094
Hg Y-C	0.0411		22.2587	111.2935
Hg E-07	0.0537		28.8520	721.2991
Hg E-08	0.0788		42.0221	210.1103



epoch

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 18 / 07 / 2023

INFORMACIÓN DEL AUTOR
Nombres – Apellidos: Jordy Eduardo Naranjo Lucio
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias.
Carrera: Ingeniería Ambiental.
Título a optar: Ingeniero Ambiental.
f. responsable: Ing. Cristian Sebastian Tenelanda Santillan.

Cristian Tenelanda.S
19-07-2023.



1400-DBRA-UPT-2023