



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA**

**SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE HEMATITA, PARA  
APLICACIÓN EN LA REMOCIÓN DE MERCURIO**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO QUÍMICO**

**AUTORES:** GALO ALEXANDER PAREDES PAREDES

ERICK JAVIER VACACELA GONZALEZ

**DIRECTOR:** BIOF. ROSA MARICELA ORMAZA HUGO, M.Sc.

Riobamba – Ecuador

2022

**©2022, Galo Alexander Paredes Paredes & Erick Javier Vacacela Gonzalez**

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

Nosotros, GALO ALEXANDER PAREDES PAREDES y ERICK JAVIER VACACELA GONZALEZ, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos 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.

Riobamba, 11 de agosto de 2022.



---

**Galo Alexander Paredes Paredes**  
**180504992-9**

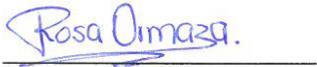


---

**Erick Javier Vacacela Gonzalez**  
**060417972-1**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación, **SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE HEMATITA, PARA APLICACIÓN EN LA REMOCIÓN DE MERCURIO**, de responsabilidad de señores **GALO ALEXANDER PAREDES PAREDES Y ERICK JAVIER VACACELA GONZALEZ** 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. Segundo Hugo Calderón, M.Sc. <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		2022-08-11
Biof. Rosa Maricela Ormaza Hugo, M.Sc. <b>DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2022-08-11
Ing. Mabel Mariela Parada Rivera, M.Sc. <b>ASESOR DEL TRIBUNAL INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2022-08-11

## **DEDICATORIA**

A Dios, a mis padres Galo y Emma, a mis hermanos Juan, María, Kathy, con su amor, apoyo incondicional y sabios consejos, han estado a mi lado durante toda mi vida y mi carrera universitaria siendo el pilar fundamental de todas mis metas conseguidas y sin duda a la Biof. Rosa Ormaza M.Sc e Ing. Mabel M.Sc por su paciencia y sabiduría.

***Galo***

A mis padres Javier y Verónica, a mi hermana Sirahi, con su amor, apoyó incondicional y sabios consejos, han estado durante toda mi vida y mi carrera universitaria siendo el pilar fundamental de todas mis metas conseguidas y sin duda a la Biof. Rosa Ormaza M.Sc e Ing. Mabel M.Sc por su paciencia y sabiduría.

***Erick***

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero agradecer primero a Dios por haberme permitido llegar a cumplir esta etapa fundamental en mi vida. A mis padres, gracias por su amor, sacrificio y apoyo durante la carrera. A mis hermanos, quienes siempre han confiado en mí. A la Biof. Rosa Ormaza e Ing. Mabel Parada, por sus valiosos e importantes conocimientos que permitieron que culmine mi carrera y el presente trabajo. Gracias a todos mis amigos que la vida universitaria me regaló, gracias por hacer que el camino sea más llevadero y lograr grandes metas. A todos los docentes que formaron parte de mi formación académica con sus conocimientos y consejos para ser un buen profesional.

*Galo*

Quiero agradecer a mis padres y hermana por todo su amor, sacrificio y apoyo que me han brindado. A la Biof. Rosa Ormaza e Ing. Mabel Parada, por todos sus valiosos conocimientos que gracias a ello permitieron culminar mi carrera y el presente trabajo. Agradezco a mis amigos por hacer que el camino sea más llevadero y lograr distintos logros y sin duda gracias a todos los docentes que formaron parte de mi vida universitaria, que con sus consejos y conocimientos me ayudaron para ser un buen profesional.

*Erick*

## TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xii
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1

## CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	3
1.1. Antecedentes de la Investigación.....	3
1.2. Identificación del Problema.....	4
1.3. Justificación de la Investigación.....	5
1.4. Objetivos De La Investigación.....	6
1.4.1. <i>General</i> .....	6
1.4.2. <i>Específicos</i> .....	6
1.5. Marco Conceptual.....	7
1.5.1. <i>Síntesis de nanopartículas magnéticas (NPMs)</i> .....	7
1.5.1.1. <i>Síntesis clásica por co-precipitación (MPC)</i> .....	7
1.5.1.2. <i>Método de síntesis hidrotérmal a altas temperaturas y alta presión</i> .....	7
1.5.1.3. <i>Método Sol-Gel</i> .....	8
1.5.1.4. <i>Método Polyol</i> .....	8
1.5.2. <i>Caracterización de nanopartículas magnéticas</i> .....	8
1.5.2.1. <i>Microscopia de Fuerza Atómica (AFM)</i> .....	9
1.5.2.2. <i>Microscopio Electrónico de Barrido (SEM)</i> .....	9
1.5.2.3. <i>Espectroscopia FT/IR</i> .....	10
1.5.2.4. <i>Espectroscopia por luz ultravioleta UV-Visible</i> .....	10
1.5.3. <i>Nanopartículas de óxido de hierro</i> .....	11
1.5.4. <i>Hematita</i> .....	11

1.5.4.1.	<i>Aplicaciones de la hematita</i> .....	12
1.5.5.	<i>Metales pesados</i> .....	12
1.5.5.1.	<i>Mercurio</i> .....	13
1.5.5.2.	<i>Remoción del mercurio</i> .....	13

## CAPÍTULO II

2.	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	14
2.1.	<b>Hipótesis y especificación de las variables</b> .....	14
2.1.1.	<i>General</i> .....	14
2.1.2.	<i>Específicas</i> .....	14
2.2.	<b>Identificación de Variables</b> .....	14
2.2.1.	<i>Variables dependientes</i> .....	14
2.2.2.	<i>Variable independiente</i> .....	14
2.3.	<b>Operacionalización de las variables</b> .....	15
2.4.	<b>Matriz de consistencia</b> .....	16
2.5.	<b>Tipo y Diseño de Investigación</b> .....	18
2.5.1.	<i>Método experimental</i> .....	18
2.5.2.	<i>Diseño experimental de la investigación</i> .....	19
2.5.2.1.	<i>Descripción de los materiales equipos y reactivos</i> .....	19
2.6.	<b>Unidad de Análisis</b> .....	25
2.7.	<b>Población de estudio</b> .....	25
2.8.	<b>Tamaño de muestra</b> .....	25
2.9.	<b>Selección de muestra</b> .....	26
2.10.	<b>Localización del Trabajo de Integración Curricular</b> .....	26
2.11.	<b>Técnicas de recolección de datos</b> .....	27
2.11.1.	<i>Esterilización de materiales</i> .....	27
2.11.2.	<i>Síntesis de nanopartículas</i> .....	27
2.11.3.	<i>Método de Síntesis de NPs de Hematita</i> .....	27
2.11.3.1.	<i>Precipitación controlada</i> .....	27
2.11.3.2.	<i>Purificación química</i> .....	28
2.11.4.	<i>Técnicas de caracterización de las NPs de Hematita</i> .....	30
2.11.4.1.	<i>Espectroscopia IR</i> .....	30
2.11.4.2.	<i>Espectroscopia UV</i> .....	31

2.11.4.3.	<i>Microscopia Electrónica de Barrido (SEM)</i> .....	31
2.11.5.	Generación de las muestras contaminadas con Hg, para su remoción con NPs de Hematita .....	32
2.11.5.1.	<b>Generación de muestra de H<sub>2</sub>O contaminada con Hg</b> .....	32

### CAPÍTULO III

3.	<b>MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b> .....	34
3.1.	<b>Resultados</b> .....	34
3.1.1.	<i>Determinación del tiempo mínimo de reacción para la síntesis NPs de Hematita por el MPC</i> .....	34
3.1.2.	<i>Conductividad del H<sub>2</sub>O de los lavados</i> .....	35
3.1.3.	<i>Resultados de la Síntesis de NPMs en Espectroscopia FT/IR</i> .....	36
3.1.4.	<i>Resultados de la Síntesis de NPMs en Espectroscopía UV-Vis</i> .....	37
3.1.5.	<i>Resultados en SEM</i> .....	38
3.1.6.	<i>Resultados de la remoción de mercurio</i> .....	39
3.1.6.1.	<i>Curva de calibración para el tiempo de contacto</i> .....	39
3.1.6.2.	<i>Capacidad de adsorción del mercurio</i> .....	40
3.1.6.3.	<i>Curva de calibración del Hg para la experimentación del diseño experimental</i> .....	40
3.1.7.	<i>Análisis estadístico</i> .....	42
3.1.7.1.	<i>Resumen Estadístico para Concentración final de mercurio</i> .....	42
3.1.7.2.	<i>Método ANOVA para Hg<sup>2+</sup> final</i> .....	43
3.1.7.3.	<i>Índice de Remoción</i> .....	45
3.1.7.4.	<i>Método ANOVA para el índice</i> .....	46
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	48
	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	49
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b>	Operacionalización de variables .....	15
<b>Tabla 2-2:</b>	Matriz de consistencia aspectos generales .....	16
<b>Tabla 3-2:</b>	Diseño Experimental - Muestra: concentración de Hg .....	18
<b>Tabla 4-2:</b>	Compuestos y Reactivos .....	19
<b>Tabla 5-2:</b>	Materiales .....	20
<b>Tabla 6-2:</b>	Equipos .....	22
<b>Tabla 7-2:</b>	Disoluciones de Hg <sup>2+</sup> preparadas.....	33
<b>Tabla 1-3:</b>	Soluciones estándar empleadas para la curva de calibración.....	39
<b>Tabla 2-3:</b>	Soluciones estándar empleadas para la curva de calibración.....	40
<b>Tabla 3-3:</b>	Remoción de Hg con NPHs .....	41
<b>Tabla 4-3:</b>	Resumen Estadístico para Concentración final Hg (ppm).....	42
<b>Tabla 6-3:</b>	ANOVA para Concentración final Hg (ppm) por Tiempo (min) .....	43
<b>Tabla 7-3:</b>	Análisis de Varianza para Concentración final Hg (ppm) - Suma de Cuadrados Tipo III .....	44
<b>Tabla 8-3:</b>	Índice de remoción.....	45
<b>Tabla 9-3:</b>	Resumen Estadístico para Índice de remoción .....	45
<b>Tabla 10-3:</b>	Niveles de concentración .....	46
<b>Tabla 11-3:</b>	ANOVA para Índice de remoción por Concentración inicial (ppm) .....	46

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-2:</b>	Localización del laboratorio de investigación en la ESPOCH.....	26
<b>Figura 2-2:</b>	Precipitación controlada.....	28
<b>Figura 3-2:</b>	Muestras de NPHs en dos fases.....	29
<b>Figura 4-2:</b>	Obtención de la $Fe_2O_3$ .....	29
<b>Figura 5-2:</b>	Absorbancia.....	30
<b>Figura 6-2:</b>	Espectroscopia UV.....	31
<b>Figura 7-2:</b>	Empleo de microscopio de barrido.....	32
<b>Figura 1-3:</b>	a) Conductividad del primer lavado; b) Conductividad del tercer lavado.....	35
<b>Figura 2-3:</b>	Muestra en SEM.....	38
<b>Figura 3-3:</b>	Tamaño de NPs en el SEM.....	38
<b>Figura 4-3:</b>	Ensayos de absorción de Hg.....	40

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-2:</b>	Esquema de síntesis de NPHs y remoción de Hg.....	26
<b>Gráfico 1-3:</b>	Tiempo mínimo de reacción .....	34
<b>Gráfico 2-3:</b>	Conductividad de los lavados .....	36
<b>Gráfico 3-3:</b>	Conductividad del H <sub>2</sub> O de los lavados.....	36
<b>Gráfico 4-3:</b>	Síntesis de NPMs en Espectroscopía UV-Vis.....	37
<b>Gráfico 5-3:</b>	Curva de calibración para la determinación de Hg <sub>2</sub> <sup>+</sup> .....	39
<b>Gráfico 6-3:</b>	Curva de calibración para la determinación de Hg <sub>2</sub> <sup>+</sup> .....	41
<b>Gráfico 7-3:</b>	Dispersión por código de nivel de tiempo vs concentración de Hg.....	42
<b>Gráfico 8-3:</b>	Medias y Fisher de tiempo vs concentración de Hg (ppm) .....	43
<b>Gráfico 9-3:</b>	Concentración final de Hg (ppm), experimento, tiempo y residuos .....	44
<b>Gráfico 10-3:</b>	Dispersión por niveles de concentración inicial vs índice de remoción .....	45
<b>Gráfico 11-3:</b>	Niveles de concentración. Índice de remoción vs concentración inicial (ppm) .....	46
<b>Gráfico 12-3:</b>	Índice de remoción de la concentración inicial y residuos .....	47

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** SINTETIZAR Y CARACTERIZAR HEMATITA (PESAJE)

**ANEXO B:** EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE LA SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE HEMATITA I

**ANEXO C:** EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE LA SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE HEMATITA II

**ANEXO D:** EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE LA SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE HEMATITA III

**ANEXO E:** EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE LA SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE HEMATITA IV

**ANEXO F:** MEDIA DEL TAMAÑO DE LAS NANOPARTÍCULAS REALIZADAS EN IMAGEJ

**ANEXO G:** IMÁGENES PROPORCIONADAS POR EL EQUIPO DE ABSORCIÓN DE METALES, SOBRE LA REMOCIÓN DE HG

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<b>NP</b>	Nanopartícula
<b>NPs</b>	Nanopartículas
<b>NPHs</b>	Nanopartículas de Hematita
<b>NPMs</b>	Nanopartículas Magnéticas
<b>MPC</b>	Método de precipitación controlada
<b>Fe</b>	Hierro
<b>FeO</b>	Óxido de Hierro
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	Hematita
<b>HgCl<sub>2</sub></b>	Cloruro de Mercurio
<b>CH<sub>3</sub>Hg<sup>+</sup></b>	Metil-mercurio
<b>HgS</b>	Sulfuro de mercurio
<b>Cl<sub>3</sub>Fe*6H<sub>2</sub>O</b>	Cloruro férrico hexahidratado
<b>NaOH</b>	Hidróxido de sodio
<b>Fe(OH)<sub>2</sub></b>	Hidróxido de hierro
<b>AFM</b>	Microscopia de fuerza atómica
<b>SEM</b>	Microscopio electrónico de barrido
<b>FT/IR</b>	Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier
<b>UV-Vis</b>	Espectroscopia por luz ultravioleta
<b>pH</b>	Potencial Hidrógeno
<b>HHO<sub>3</sub></b>	Ácido Nítrico
<b>H<sub>2</sub>O</b>	Agua
<b>Hg</b>	Mercurio
<b>µm</b>	Micrómetros
<b>nm</b>	Nanómetros
<b>ppm</b>	Partes por millón
<b>g</b>	gramos
<b>mg</b>	Miligramos
<b>mL</b>	Mililitros
<b>Hg<sup>2+</sup></b>	Mercurio oxidante
<b>cm<sup>-1</sup></b>	Número de onda
<b>mS/cm</b>	Milisiemens por centímetro
<b>ug/L</b>	Microgramo por litro

## RESUMEN

En este trabajo de titulación se realizó la síntesis y caracterización de nanopartículas de hematita (NPs-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) para la aplicación en la remoción de Hg. Se identificó que el método de precipitación controlada es óptimo para la síntesis de estas NPs; consiste en tres etapas que son: precipitación de precursores, lavado y calcinación. Se usó como precursor el Cl<sub>3</sub>Fe\*6H<sub>2</sub>O 1M y como precipitante el NaOH 6M, se tituló por goteo 300 mL de solución de Cl<sub>3</sub>Fe\*6H<sub>2</sub>O con una solución de NaOH hasta alcanzar un pH 6, el tiempo de reacción fue de 8 horas a temperatura de ebullición. Posteriormente se da la eliminación de subproductos mediante varios lavados por centrifugación. Finalmente, el sólido húmedo que se obtuvo se lo secó en una estufa a 60 °C por 48 horas, seguidamente se trituró en un mortero y se calcinó en una mufla a 500 °C durante 2 horas. Para la caracterización se utilizó espectroscopia FT/IR donde se determinaron las bandas de 570 a 474 cm<sup>-1</sup> verificando la presencia de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. La espectroscopia UV determinó que las NPs absorben luz aproximadamente en la banda de 300 a 550 nm, con picos relevantes de 370 a 550 nm. Por otro lado, la microscopia Electrónica de Barrido permitió observar sus tamaños entre 30 y 45 nm. Para la remoción de Hg se trabajó con el equipo de absorción atómica, se preparó una muestra madre de Hg a 90 ppm, luego se realizó disoluciones de 30, 20 y 15 ppm de 50mL, las cuales fueron puestas en contacto con 1g NPs en dos tiempos 10 y 30 minutos. Se concluye que las muestras analizadas lograron una adsorción de más del 80% de Hg en las muestras, lo que permitió evidenciar la factibilidad de las NPs como removedor de Hg. Se recomienda disminuir el pH para obtener NPs de menor tamaño.

**Palabras clave:** <HEMATITA>, <NANOPARTÍCULAS>, <PRECIPITACIÓN CONTROLADA>, <SÍNTESIS DE NANOPARTÍCULAS>, <CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA>, <REMOCIÓN DE MERCURIO>.

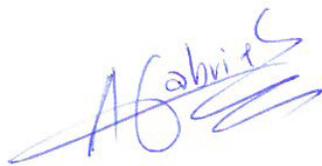


2349-DBRA-UTP-2022

## ABSTRACT

In this titration work, the synthesis and characterization of hematite nanoparticles (NPs- Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) for the application in Hg removal was carried out. It was identified that the controlled precipitation method is optimal for the synthesis of these NPs; it consists of three stages which are: precursor precipitation, washing and calcination. FeCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O 1M was used as precursor and NaOH 6M as precipitant, 300 mL of FeCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O solution was drop titrated with NaOH solution up to reaching pH 6, the reaction time was 8 hours at the boiling temperature. Subsequently, the elimination of by-products is given through several washes by centrifugation. Finally, the obtained wet solid was dried in an oven at 60 °C for 48 hours, then it was crushed in a mortar and calcined in a muffle at 500 °C for 2 hours. For the characterization, FT/IR spectroscopy was used to determine the bands from 570 to 474 cm<sup>-1</sup> verifying the presence of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. UV spectroscopy determined that the NPs absorb light approximately in the band from 300 to 550 nm, with relevant peaks from 370 to 550 nm. On the other hand, Scanning Electron Microscopy allowed to observe their sizes between 30 and 45 nm. For the removal of Hg we worked with atomic absorption equipment, a stock sample of Hg at 90 ppm was prepared, then 30, 20 and 15 ppm dissolutions of 50 mL were made, which were put in contact with 1 g NPs in two times, 10 and 30 minutes. It is concluded that the analyzed samples achieved an adsorption of more than 80% of Hg in the samples, which allowed to evidence the feasibility of the NPs as Hg remover. It is recommended to decrease the pH to obtain smaller size NPs.

**Key words:** <HEMATITE>, <NANOPARTICLES>, <CONTROLLED PRECIPITATION>, <NANOPARTICLE SYNTHESIS>, <PHYSICO-CHEMICAL CHARACTERIZATION>, <MERCURY REMOVAL>.



Mgs. Reinosa Espinosa Ana Gabriela

CI: 1103696132

## INTRODUCCIÓN

Los óxidos de hierro han generado gran interés científico, provocando investigaciones sobre su síntesis y propiedades, creando un gran interés en la preparación y caracterización de NPHs, debido a sus aplicaciones en: pigmentos, agentes anticorrosivos, catalizadores y como mecanismos magnéticos (Nava, 2016, p.8).

Con respecto a las aplicaciones que tiene está NP, existen varias en el área industrial. Este FeO se utiliza como materia prima en industrias como son la de Fe-C y del Fe ya que por este óxido se logra obtener Fe puro, Fe-C y algunas aleaciones. Dicho mineral en forma de polvo muy fino es conocido en la industria de la joyería como rouge, esto es utilizado como elemento abrasivo cuando se necesita pulir las joyas y lentes. La  $Fe_2O_3$  puede ser aplicable como pigmento y el uso de este ha sido aprobado en la industria de los cosméticos (Noreña, 2009, pp.47-48).

Existen otras aplicaciones nuevas con NPMs, porque presentan propiedades magnéticas muy buenas, siendo utilizadas como descontaminantes de metales en  $H_2O$ , suelo y aire. También se puede hablar de características ópticas, eléctricas, químicas y físicas las cuales han ayudado en el desarrollo de avances y desarrollo de aplicaciones en diferentes campos (Noreña, 2009, pp.47-48).

Por otro lado, al hablar de elementos ambientalmente contaminantes, podemos mencionar a los metales pesados. Estos son altamente tóxicos debido a las características que poseen como: persistencia, biotransformación, elevada toxicidad y bioacumulación lo cual hace que se encuentren disperso en el ecosistema por mucho tiempo, su degradación de manera natural es muy complicada ya que poseen un alto peso atómico y elevada toxicidad, sin importar esta característica estos elementos son empleados en la industria. específicamente hablamos del Cd, Pb, Cu, Hg, Ni que a bajas concentraciones son nocivos para la flora y fauna (Pabón et al., 2020, pp.9-10).

Estos metales son emitidos por varias fuentes, la mayoría provienen de la capa terrestre y son aplicados en varios procesos industriales, convirtiéndose en una de las indispensables materias primas para las industrias, encontrándose en la plomería, el arreglo de baterías, también inmersas en la minería y galvanizado. Por tal motivo, son analizados, para evitar altas cantidades de contaminación (Rodríguez, 2017, pp.1-2).

Las principales vías al organismo es la ingestión de alimentos contaminados con Hg pueden ser los mariscos, especialmente pescados que tengan contacto con este elemento en aguas o inhalación de partículas (Casas et al., 2015, p.31).

Logra producir afectaciones a la salud como, intoxicaciones provocando gingivitis, alteraciones psicológicas y en varios casos el aborto. Las interacciones a los gases provocan: inapetencia, pérdida de memoria, insomnio e inestabilidad emocional. Las interacciones directas generan desórdenes mentales y perturbaciones, también provocan afecciones renales y el contacto a gases con alta concentración de Hg puede producir daños pulmonares y conllevar a la muerte. Para ello,

se generó la síntesis de NPHs que remuevan Hg de aguas contenidas por dicho elemento (Rodríguez, 2017, pp.2-6).

Para sintetizar NPHs, en este estudio se ha seleccionado el MPC. Según bibliografía, este método permite la obtención de partículas morfológicas en varias dimensiones y una buena distribución de tamaños, principalmente la obtención de un producto con una alta pureza química y eficaz. El manejo eficaz del método es principalmente en el minucioso control de las variables durante la reproducibilidad de las reacciones, de las propiedades físicas y químicas esperadas durante el proceso de reacción (Morales, 2016, pp.2-3).

## CAPÍTULO I

### 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

#### 1.1. Antecedentes de la Investigación

Al analizar los diferentes instrumentos legales existentes en el Ecuador se logró identificar las áreas que requieren ser atendidas minuciosamente para erradicar la contaminación por Hg, globalizando estas áreas como la protección del ambiente y salud, la cual emplea la reglamentación específica para Hg, causante de varias problemáticas efectuadas por su mal manejo, generando afectaciones directamente al ambiente y a la población (Resabala, 2008, p.11).

Al tratarse de un elemento altamente tóxico se ha investigado todas las fuentes posibles en las cuales se encuentra, ya sea en un enfoque puntual o un enfoque general, al ser uno de los mayoritarios contaminantes en el medio ha generado que los investigadores adquieran nuevas formas de erradicar las afectaciones por este metal. Enfocándose en el tratamiento de H<sub>2</sub>O, la cual al ser un recurso vital utilizado en el consumo de la población es el más relevante considerando a las afectaciones al ambiente y la salud.

El Hg posee una afinidad muy fuerte en diferentes grupos denotadas en las reacciones enzimáticas. De este modo, durante el proceso de síntesis este metal inhibe las proteínas en las hojas, siendo evidenciada en las zonas mineras por su escasa fauna que la rodea, esto debido a la contaminación por metales la cual evita el proceso de síntesis generando que las plantas no puedan desarrollarse. Otra forma de afectación puede darse por la exposición soluble (tales como HgCl<sub>2</sub> o CH<sub>3</sub>Hg<sup>+</sup>) la inhalación de estos vapores, o ingerir pescado contaminado con Hg causa el envenenamiento en nuestro sistema. El HgS es muy tóxico por ingestión o inhalación del polvo, causando daños en órganos del cuerpo, los compuestos orgánicos de Hg (CH<sub>3</sub>Hg<sup>+</sup>) es el más tóxico y bioacumulativo que el Hg inorgánico, por su naturaleza lipofílica, generando la biomagnificación del CH<sub>3</sub>Hg<sup>+</sup> en nuestra cadena alimentaria.

Los tratamientos de este tipo de contaminantes son variados. Entre ellas se encuentran la precipitación química, intercambio iónico, filtración de membrana y adsorción. Se ha demostrado que no sean eficaces debido a que se presentan complicaciones y alteraciones, como interferencia con otros compuestos en el H<sub>2</sub>O, grandes caídas de presión, poca transferencia de masa, regeneración del sistema de tratamiento, utilización de solventes, crecimiento microbiano, rápida saturación, generando así ventajas y desventajas al momento de ser aplicadas en el tratamiento.

Por estas razones, actualmente se busca aprovechar las nuevas tecnologías para tratamiento de problemas con estos contaminantes destacándose la bio y nanotecnología, las cuales generan a una

mejor eficacia al momento de realizarlas, tomando en cuenta que los costos a comparación de los métodos antiguos son menores, convirtiéndose en mejores alternativas para este tratamiento (Marimon, 2018, pp.2-3).

Enfocándonos en la investigación realizada por Georgina Chávez en el 2018, tratada sobre nanotecnología, ofreciendo soluciones para la descontaminación de aguas, se basan en NPs sintetizadas que con tamaños menores a 100nm es la potencial solución para el tratamiento de aguas que son aplicados en varios métodos de síntesis químicas. Más aún, con el desarrollo de la nanotecnología, se generaron técnicas usadas en el tratamiento de aguas como la adsorción, floculación y coagulación. Siendo usada eficientemente, en biorremediación, remoción y en procesos de filtración. Por tal motivo, la nanotecnología es eficaz en tratar problemas con H<sub>2</sub>O, dando importancia de la nanotecnología en el cuidado al medio ambiente, como las NPs pueden ser efectivamente utilizados para desinfección de aguas (Marimon, 2018, pp.2-3).

Un estudio realizado en España por Mateu del Rio en el 2013, sobre la eliminación de metales pesados, produjo una solución acuosa con el uso de NPMs reformadas. Además, determinaron la capacidad de adsorción de las NPs con la variedad de polímeros a distintos pH en solución, la intensidad de absorción de iones en función del tiempo y la concentración se analizó isoterma de adsorción cinética y termodinámica para entender la forma de actuar de la NP. Con todo esto se pudo evidenciar que las NPs de FeO son de alta eficiencia en proceso de remoción de metales pesados en una solución acuosa. Por lo tanto, pueden eliminar iones metálicos con un límite máximo de absorción de pH 5,5 y pueden ser usadas como adsorbente reutilizable.

En el año 2013 Mateu del Rio en su investigación aplica NPs para la remoción de Hg en H<sub>2</sub>O, donde la solución acuosa presentaba niveles altamente tóxicos, generando afectaciones en el ser humano, la remoción del metal en el cuerpo humano no es fácil. Por tal motivo, el estudio de las NPMs de FeO combinadas con escuaramidas, fueron adicionadas a viales con H<sub>2</sub>O con distintos niveles de concentraciones de NPs, cualitativamente demostró que con una pequeña concentración de NPHs, eliminó una gran concentración de Hg en muestras de 20 ppm de Hg, llegando a la conclusión de que estas NPs de FeO son muy eficaces para remover metales pesados que se encuentren en el H<sub>2</sub>O. De este modo, genero filtros selectivos que serían aplicados en la eliminación del Hg en soluciones acuosas (Del Rio, 2013, p.7).

## **1.2. Identificación del Problema**

La contaminación de H<sub>2</sub>O con metales pesados es una problemática en la salud por la alta toxicidad y anomalías que presentan estos elementos al tener contacto directo con el cuerpo humano y el medio

ambiente. Un caso particular es el Hg, cuya principal fuente de contaminación es la actividad humana, su mal manejo en las fábricas, industrias como la minería, fundición de metales, elaboración de carbón entre otras y sobre todo en la deposición de residuos, elevan la presencia de este material (Del Rio, 2013, p.7).

El Hg, al encontrarse en bajas concentraciones, genera una alta dificultad de eliminación del  $H_2O$ , y muchas veces los costos de este tipo de procesos son muy altos. Por este motivo, es importante efectuar el presente estudio que tiene como objetivo; la síntesis de  $Fe_2O_3$  para la remoción de Hg en  $H_2O$ , pues se puede considerar distintas cantidades de este elemento y valorar la efectividad de nanomateriales para su remoción efectiva logrando de este modo evitar directamente una exposición innecesaria a este metal. En este estudio se abordará la posibilidad de usar NPMs de FeO como la  $Fe_2O_3$  para remover Hg de disoluciones acuosas y ser aplicado en aguas contaminadas por este metal (Del Rio, 2013, p.14).

Los recursos, como los hídricos disponibles para el consumo humano día tras día se ven afectados de forma antrópica, la contaminación por metales pesados debido a su alta toxicidad capta la atención de investigadores debido a la acumulación en la cadena alimentaria y perpetuación ambientales. La toxicidad de estos metales consiste en que, a diferencia de contaminantes orgánicos, estos no se biodegradan en compuestos menos perjudiciales, al contrario, se acumulan en el organismo. Por esto, la acumulación de estos metales supera los niveles de tolerancia de los organismos creando afectaciones en la salud como daño o disminución de funciones del sistema nervioso central, bajos niveles de energía, alteraciones en la composición de la sangre, pulmones, riñones, el hígado y otros órganos importantes. Razones por las cuales es importante que esta problemática sea erradicada para proteger la salud de la población. Recalcando que dos tercios de las aguas residuales generadas en las ciudades del mundo no son sometidos a ningún tratamiento, las cuales en su mayoría son desechadas en los ríos, lagos y océanos, que al momento de utilizarlas varias de estas aguas demuestran concentraciones de metales pesados generando la problemática mencionada (Plazas & Garcia, 2020, p.15).

### **1.3. Justificación de la Investigación**

Con la realización del presente proyecto se busca comprobar cualitativamente la eficacia de NPs de FeO, específicamente la  $Fe_2O_3$  en la remoción de Hg de disoluciones acuosas. Se ha comprobado que con una mínima cantidad de este elemento los efectos en la salud, en la población y el medio ambiente son muy elevados. Además, extraer Hg y separarlo del agua ( $H_2O$ ) no es un proceso sencillo (Del Rio, 2013, p.9).

Por lo antes mencionado, se ha investigado un método químico para la obtención de la  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  que por sus características magnéticas es capaz de capturar y eliminar metales tóxicos del  $\text{H}_2\text{O}$ , las NPHs han demostrado tener una funcionalidad eficaz para así poder beneficiar a la población y el ecosistema que es el afectado por estos metales.

Al existir varios métodos químicos que son aplicados en la síntesis de NPMs y son considerados procesos complejos por su naturaleza coloidal. Las condiciones experimentales y obtención de las NPMs durante el proceso son aspectos muy importantes para tener en cuenta la selección del método adecuado de síntesis, por tal motivo, el estudio de distintos métodos es muy importante, pues permite conocerlos minuciosamente para determinar el método que brinde las características necesarias para nuestro fin (Del Rio, 2013, p.29).

Ya se ha dicho que la presencia de Hg en el ecosistema genera grandes complicaciones por los diferentes efectos en la salud que produce en los seres vivos, debido al ser un metal pesado que se acumula directamente en los tejidos y puede producir enfermedades irreversibles y en el peor de los casos conlleva a la muerte, por eso es de suma importancia el estudio y su tratamiento adecuado del mismo.

Un caso muy importante ya que es de consumo humano y puede llegar afectar, es sobre los peces porque pueden acumular Hg, esto generalmente en estas especies no causa la muerte, por esa razón el consumo es sin detección del metal y lo peor sin darse cuenta del peligro (Durán, 2008, pp.5-6).

## **1.4. Objetivos De La Investigación**

### ***1.4.1. General***

- Sintetizar hematita y caracterizarla, para su posterior aplicación en la remoción de Mercurio.

### ***1.4.2. Específicos***

- Identificar el método más adecuado para la síntesis de nanopartículas de hematita.
- Sintetizar hematita a través de un método químico.
- Caracterizar las nanopartículas de hematita mediante técnicas ópticas.
- Generar muestras de agua con diferentes concentraciones de mercurio.
- Validar el nivel de remoción de mercurio con la aplicación de las partículas de hematita.

## 1.5. Marco Conceptual

### 1.5.1. Síntesis de nanopartículas magnéticas (NPMs)

Pueden ser utilizados varios métodos químicos en la síntesis de NPMs. Cuando se habla de NPMs es un proceso complejo debido a la naturaleza coloidal que presentan las NPs. Se debe analizar sus condiciones experimentales y la reproducibilidad para poder elegir el método adecuado. Actualmente, se considera que el método más usado y eficaz para la síntesis de NPs es el MPC, además de otros métodos que a continuación se detallan:

#### 1.5.1.1. Síntesis clásica por co-precipitación (MPC)

Esta síntesis presenta un proceso usado para NPs de FeO, consta de tres etapas las cuales son: precipitación de precursores, lavado y calcinación. En la primera etapa se efectúa una valoración potenciométrica, también se debe construir una curva de voltaje vs el pH, de este modo se encuentra el punto de equivalencia generada en la curva.

Con las variables obtenidas durante el proceso se realiza el MPC, con  $\text{Cl}_3\text{Fe} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  como precursor, e NaOH como precipitante, con constante agitación y con pH 6. Formándose una solución coloidal, se puede ensayar con tiempos distintos de reacción como por ejemplo puede ser de 1,3 y 5 horas, para poder llegar a una conclusión de cuánto tiempo toma producir  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Cuando ya se haya obtenido el producto lo que se debe hacer es lavar por centrifugación, luego secar la muestra aproximadamente a 60 grados y luego calcinar a diferentes temperaturas como 350, 400, 450 y 500 grados por un tiempo de dos horas. Para poder caracterizar una muestra obtenida después de que se haya realizado una síntesis se puede utilizar varias técnicas como DRX, FT-IR, SEM, AFM, UV-vis, con el objetivo de conocer la distribución de tamaño de NP (Berrones & Lascano, 2008, p.91).

#### 1.5.1.2. Método de síntesis hidrotérmal a altas temperaturas y alta presión

Las reacciones necesitan de medios acuosos inmersos en los reactores o también se puede en autoclaves. Cuya presión puede llegar a 2000 psi y la temperatura con la que se trabaja puede ser hasta los 200 C. Con este proceso se puede deshidratar o hidratar las sales metálicas donde sus condiciones se efectúen de manera extrema, los óxidos que se obtienen poseen una solubilidad muy baja en  $\text{H}_2\text{O}$  y gracias a esto se puede llegar a generar condiciones demasiasdas altas de saturación. Es de mucha importancia determinar adecuadamente la concentración, temperatura y el tiempo debido a

que estas condiciones permiten controlar la forma y el tamaño de las NPs que se va a obtener con el método hidrotermal a altas y bajas temperaturas.

Estas NPs al distribuirse generan un aumento su tamaño respecto a la concentración del precursor de Fe añadido durante el proceso. También hay que tener en cuenta que el tiempo de residencia es un factor que se debe tomar muy en cuenta para el control del tamaño de las NPs. Cuando el tiempo de residencia es bajo se puede tener NPs mono dispersas (Del Rio, 2013, p.11).

#### *1.5.1.3. Método Sol-Gel*

En la síntesis de óxidos metálicos nanoestructurados el proceso más adecuado se puede decir que es el método Sol-Gel. Dicho método para su desempeño se basa en la condensación e hidroxilación de las moléculas. Las propiedades y proceso de este método dependen mucho de la estructura creada en el proceso de secado de la muestra.

Para este tipo de reacciones se utiliza el H<sub>2</sub>O como solvente siendo el más utilizado en el sistema, sin embargo, también los precursores durante el proceso pueden ser hidrolizados por medio de una base o un ácido directamente (Hasany et al., 2013, p.151).

#### *1.5.1.4. Método Polyol*

El desempeño de esta tecnología es prometedor en la formación y preparación de NPs altamente definidas. Se controla su tamaño y se puede utilizar en el campo biomédico. Durante el método la cinética de precipitación es controlada pudiendo así eludir la acumulación de NPMs, produciendo NPS definidas y óptimo tamaño.

Las partículas al formarse mediante nucleación heterogénea, de esta manera conseguimos NPs de Fe de aproximadamente 100 nm que provienen de Fe(OH)<sub>2</sub> en un compuesto orgánico.

Disolventes, como el polietileno glicol, posee varias propiedades en los compuestos inorgánicos, fáciles de disolver con punto de fusión suficientemente alto, capaz de desarrollarse en un rango de temperatura cuantioso. La utilización de estos disolventes son empleados como estabilizadores y reductores controlando partículas inorgánicas, disponiendo la agregación (Hasany et al., 2013, p.152).

#### *1.5.2. Caracterización de nanopartículas magnéticas*

Cuando las NPs ya son sintetizadas, se debe realizar su caracterización, para esto existen diversas técnicas, las cuales destacan: AFM (Microscopia de Fuerza Atómica), SEM (Microscopio Electrónico

de Barrido), Espectroscopia infrarroja por la transformada de Fourier (FT/IR) y de Luz ultravioleta visible (UV-Visible). Dichas técnicas mencionadas ayudan a reconocer los tamaños de las NPs, de igual manera la estructura o dispersión de los átomos que las están formando (Chamé, 2013, p.50).

#### *1.5.2.1. Microscopia de Fuerza Atómica (AFM)*

Este método de caracterización sondea una superficie de una muestra con una punta muy aguda, dicha punta se encuentra al tope del brazo del cantiléver de 100 a 200 micras de largo. Gracias a la fuerza que existe entre el borde y la parte superior de la muestra hace que se doble el cantiléver.

Hay un detector que toma la medida de flexión mientras la punta barre y con esto se obtiene un mapa topográfico, se debe tomar en cuenta que estas medidas se pueden aplicar para materiales aislantes, semiconductores o conductores (Reza et al., 2015, pp.238-239).

#### *1.5.2.2. Microscopio Electrónico de Barrido (SEM)*

La técnica, microscopia electrónica de barrido SEM por sus siglas en inglés (Scanning Electron Microscope), permite conseguir imágenes ampliamente utilizadas en las diferentes investigaciones ya que posee una alta resolución en sus imágenes y además la capacidad sobre las muestras de analizar características morfológicas, químicas y estructurales. Cabe recalcar que este tipo de técnica brinda un análisis composicional, topográfico y estructural, por ello su utilización es amplia en varios estudios como en semiconductores, NPs, modificación de productos comerciales, dispositivos de junta, catálisis heterogénea, películas delgadas, fotoelectroquímica, porque ayudan a diferentes necesidades experimentales por medio de sus posibilidades de magnificación, resolución y variantes que ayuda a ser aplicada en diversas muestras y ambientes según sea el propósito de estudio.

El equipo SEM toma una imagen de la muestra de estudio, esto quiere decir que detecta la respuesta del material al momento del impacto de un haz de electrones primarios, sin registrar fotones. Cuando es impactada la muestra por el haz de electrones con una alta energía, dicha muestra despacha de forma instantánea una serie de señales que son registradas por el equipo en los distintos detectores del dispositivo, donde cada señal provee de forma independiente la información sobre la composición, topografía, e incluso la conductividad eléctrica de la muestra. Cuando se utiliza este equipo y se requiere la imagen, debe moverse en el plano xy el haz de luz siguiendo su eje (con sistemas ópticos, antes que impacte el haz de electrones en la muestra) de manera que recorra el área que requiera ser analizada (Clavijo, 2013, pp.133-134).

### *1.5.2.3. Espectroscopia FT/IR*

La espectroscopia Infrarroja por transformada de Fourier (FT/IR), es un método que al analizar una muestra biológica ayuda a la obtención de la huella dactilar molecular, donde la muestra absorbe la onda infrarroja de los enlaces tanto químicos como estructurales de las moléculas, de esta manera brinda información generadas por la biomoléculas denotando sus diferentes estructuras específicas como lípidos, carbohidratos, proteínas y ácidos nucleicos, por medio de una serie de bandas del equipo, siendo un identificador de grupos funcionales en la región electromagnética, información que promotora del infrarrojo medio. Entre algunas aplicaciones que pueden tener gran avance es en sistemas biológicos, de esta manera incluyen estudios citológicos, histológicos, e incluso microbianos ya que estos pueden ayudar a diagnósticos clínicos (Mata et al., 2017, p.227).

Esta técnica se utiliza mucho en la industrial como de igual manera en la investigación científica, ya que es método rápido y factible para medias, utilizadas comúnmente en el control de calidad y análisis dinámicos en las industrias.

La FT/IR sirve para la obtención del espectro infrarrojo de forma instantánea, se guía por el IR a mayor rapidez (con todas las longitudes infrarrojas de onda de pista utilizada) por el interferómetro. Luego de pasar por la muestra el interferograma es quien genera las señales obtenidas en el proceso. La señal emitida por medio de una transformada de Fourier (FT) da a conocer un espectro semejante al de la espectrometría infrarroja convencional (IR) también conocida como dispersiva (Velásquez et al., 2018, p.35).

### *1.5.2.4. Espectroscopia por luz ultravioleta UV-Visible*

La radiación electromagnética que interacciona con la materia posee una  $\lambda$  de igual tamaño o menor que el cuerpo irradiado en las dimensiones por la radiación. Por esta razón la luz ultravioleta al realizar la radiación de la región permite obtener los resultados emitidos de las transiciones electrónicas de las moléculas en el equipo UV-Vis.

Esta espectroscopia es basada la cantidad de radiación electromagnética durante el análisis de la muestra, el cual debe transmitir o absorber la muestra en relación de la cantidad de sustancia en el equipo. Las técnicas que son basadas en absorción establecen que cuando la radiación está incidiendo directamente sobre la muestra, la radiación que esta produce en el proceso es una absorción parcial, lo que esto genera en la muestra una transición entre los niveles de energía que emite la sustancia durante su análisis en el: átomo, ion o molécula, X, pasando al estado X\*, demostrando una excitación, la radiación restante es transmitida a su fuente, De esta manera varias muestras se pueden

relacionar la cantidad de especie activa encontradas durante el análisis en la muestra (Sánchez, 2016, pp.31-33).

### ***1.5.3. Nanopartículas de óxido de hierro***

Dentro de las NPs de FeO existe una gran variedad, las cuales se destacan la magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), goethita ( $\text{FeOOH}$ ). Algunas de estas tienen una gran superficie que permiten gracias a su funcionalidad hacer productos biocompatibles. Esto se debe por su baja toxicidad y también por ser tolerables al consumo humano e incluso tienen una gran demanda de aplicación en las distintas áreas por ejemplo medicina, medio ambiente, biotecnología, entre otras. Las NPMs sirven en la inmovilización como un soporte de varias moléculas como en proteínas, fragmentos de ADN Y enzimas.

En la mayoría de los compuestos el Fe se encuentran en estado trivalente, de igual manera los FeO son cristalinos, las estructuras y los grados de orden de dichos cristales son variables y dependen de las condiciones para la formación del cristal. También varias propiedades físicas y químicas son diferentes con respecto al tamaño y forma de la partícula y desde el mismo modo el grado de hidratación.

Tienen comportamiento anfótero y esto es un aspecto importante, debido a que permiten una transferencia de protones en la capa determinante del potencial y consistente en una superficie de grupos (Gregorio et al., 2012, pp.399-400).

### ***1.5.4. Hematita***

La  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  es un FeO, compuesto presente en la naturaleza, siendo fácilmente sintetizado en el laboratorio. Presente en diferentes compartimentos del sistema global: biosfera, pirósfera, atmósfera, hidrosfera y litosfera, la formación de óxidos de  $\text{Fe}^{3+}$  predominan en las rocas magmáticas que contienen Fe, O y OH. En la mayoría de compuestos el Fe está en el estado trivalente donde su principal característica es su alta estabilidad en los óxidos de  $\text{Fe}^{3+}$  y su actividad catalítica (Zevallos & Flores, 2015, pp.13-14).

Al ser un FeO estable su fórmula es la siguiente: Fórmula:  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , elementos enumerados: Fe, O impurezas comunes: Ti, Al, Mn,  $\text{H}_2\text{O}$  (Warr, 2021, p.291).

La estructura de la  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  se asemeja a un conjunto de matrices de iones de O apilados, donde sus planos de aniones son paralelas, llenándose con iones  $\text{Fe}^{+3}$  formando de esta manera distintas clases de anillos (Zevallos & Flores, 2015, pp.13-14).

Es un mineral denso y duro, importante por su alto contenido en Fe. Se presenta en varios hábitos: los cristales gris acero y las variedades de grano grueso con un brillo metálico brillante conocido como hematites especulares de forma delgadas y escamosa que forman  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  micáceas; en forma de pétalos se llaman rosas de Fe, También presentándose como cristales romboédricos negros que puede tener un deslustre iridiscente. La forma suave, de grano fino y terrosa de la  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  se utiliza como pigmento.

Su color característico es negro o gris plateado, marrón a marrón rojizo o rojo. Hay varias variedades. Entre ellos; mineral de riñón, martita, rosa de Fe. Existen diferentes formas, sin embargo, todas ellas presentan una línea roja (Meijer & Rossi, 2021, p.2).

#### *1.5.4.1. Aplicaciones de la hematita*

La  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  posee importantes aplicaciones a nivel industrial, este material se utiliza como materia prima en las diferentes industrias de acero y del Fe porque se puede tener Fe puro, acero y aleaciones de diferentes tipos. Este FeO como polvo muy fino es utilizado en joyerías como abrasivo para el pulido e incluso también en la industria de los cosméticos.

Se ha encontrado diferentes aplicaciones con las NPs en el campo de la biomedicina, nano catálisis, nano-dieléctricos, biosensores, cerámicos y también por las NPHs se ha producido materiales para la descomposición del  $\text{H}_2\text{O}$  mediante energía solar (Aguaiza & Aldás, 2014, p.1).

#### *1.5.5. Metales pesados*

Estos metales son altamente tóxicos y peligrosos en la salud y ambientalmente, las características que poseen estos metales como persistencia, biotransformación, elevada toxicidad y bioacumulación lo cual hace que se encuentren disperso en el ecosistema por mucho tiempo, debido a que su degradación de manera natural es muy complicada esto debido a que los metales pesados poseen un alto peso atómico y elevada toxicidad y sin importar esta característica son empleados en la industria como el Cd, Pb, Cu, Ni y Hg que al estar bajas concentraciones al igual son nocivos para la flora y fauna.

Son emitidos por varias fuentes, la mayoría de estos metales pesados son provenientes de la capa terrestre y son aplicados en varios procesos industriales, convirtiéndose en una de las indispensables materias primas para las industrias, encontrándose en la industria del galvanizado, la pintura, la minería, la plomería y el arreglo en baterías. Por tal motivo, se analiza la reproductividad y manipulación directa existente entre las intoxicaciones que son generados por dichos metales pesados en la población.

A pesar de encontrarse en la corteza terrestre, la industria y estudios ha generado que existan de manera artificial que, de forma natural, pues varios procesos y material son generados hoy en día, siendo así una fuente de explotación exponencial a nivel mundial. El generador de una gran cantidad de metales tóxicos es efectuado por la incineración de residuos causando afectaciones ambientales en el suelo, aire y H<sub>2</sub>O (Rodríguez, 2017, pp.1-2).

#### *1.5.5.1. Mercurio*

El Hg, elemento químico con un número atómico 80 y simbología Hg, se utiliza en la minería como método de explotación en la extracción de oro, cobre y plata, también utilizado en la fundición primaria y secundaria de industrias metálicas, elaboración de coque, carbón, industria de clorosa combustión de combustible, en carbón en la generación de electricidad, biológicos infecciosos y eliminación por incineración de residuos peligrosos, un claro ejemplo es la cremación de cuerpos humanos con amalgama provocado que el Hg se esparza en la atmósfera y suelo según el tamaño de las partículas, esto ocurre de igual manera cuando se produce la incineración de desechos peligrosos hospitalarios y electrónicos, ruptura de instrumentos que lo contengan como: barómetros y termómetros. Además, la incineración de desechos domésticos, celdas de Hg para la elaboración de cloro y los metales no ferrosos (Rodríguez, 2017, pp.2-6).

#### *1.5.5.2. Remoción del mercurio*

El método de adsorción en fase líquida es un fenómeno complicado ya que tanto los solutos y solventes se esfuerzan por la superficie del absorbente. La adsorción de un soluto depende de su tamaño molecular y también de propiedades químicas.

La certeza con que un contaminante es atrapado por la superficie de un sólido siempre dependerá de la carga de la especie química en que el contaminante se encuentra en solución e incluso de la carga neta de la superficie del adsorbente, y esto dependiendo del pH. Se tiene que determinar las mejores condiciones para la adsorción de un contaminante y para todos son diferentes.

Se debe tomar en cuenta que si las condiciones de pH del efluente no se puede modificar (normalmente esto sucede cuando se trabaja en grandes volúmenes de fluido), la captación del contaminante se logra mejorar por las diferentes modificaciones de la superficie del adsorbente con diferentes adecuados tratamientos y cuando se modifica el pH de la fase fluida ayuda a mucho para la adsorción (Silva et al., 2008, p.2).

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1. Hipótesis y especificación de las variables

##### 2.1.1. *General*

- La síntesis y caracterización de hematita permite remover mercurio de muestras de agua.

##### 2.1.2. *Específicas*

- Mediante bibliografía se logra identificar el método más adecuado para la síntesis de hematita.
- La aplicación de un método químico permite sintetizar nanopartículas de hematita.
- Con la aplicación de técnicas ópticas se podrá caracterizar de nanopartículas de hematita.
- Se generarán muestras de agua con distintas concentraciones de mercurio.
- La remoción aplicada con nanopartículas de hematita permitirá validar los niveles de mercurio.

#### 2.2. Identificación de Variables

##### 2.2.1. *Variables dependientes*

- Concentración de las NPHs.
- Tiempo de contacto.

##### 2.2.2. *Variable independiente*

- Concentración de Hg en el H<sub>2</sub>O

### 2.3. Operacionalización de las variables

**Tabla 1-2:** Operacionalización de variables

<b>Variable</b>	<b>Tipo de Variable</b>	<b>Definición Operacional</b>	<b>Categorización</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Instrumento de medición</b>	<b>Valor</b>
Concentración de NPHs.	Dependiente	Concentración aplicación a la parte de nanomateriales.	-	mg	Balanza analítica	15-20-30
Tiempo de contacto	Dependiente	Dimensión física que representa la sucesión de estados.	-	min	Cronómetro	10-30
Concentración de Hg en H <sub>2</sub> O.	Independiente	Cantidad de Hg de la muestra madre que se va a trabajar.	-	mL	Pipeta	50mL

**Realizado por:** Paredes, G; Vacacela, E. 2022.

## 2.4. Matriz de consistencia

**Tabla 2-2:** Matriz de consistencia aspectos generales

<b>ASPECTOS GENERALES</b>				
<b>PROBLEMA GENERAL</b>		<b>OBJETIVO GENERAL</b>	<b>HIPÓTESIS GENERAL</b>	
La contaminación de H <sub>2</sub> O por Hg a causa de la actividad humana o industrias como la minería, función de metales, etc. Conllevando a sintetizar y caracterizar Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> para remover Hg de aguas contaminadas.		Sintetizar Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> y caracterizarla, para su posterior aplicación en la remoción de Hg.	La síntesis y caracterización de Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> permite remover Hg de muestras de H <sub>2</sub> O.	
<b>ASPECTOS ESPECÍFICOS</b>				
<b>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</b>	<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	<b>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</b>	<b>VARIABLES DE LAS HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</b>	<b>TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b>
La existencia de varios métodos en los cuales intervienen costos elevados y aparatos que no se encuentran a disposición.	Identificar el método más adecuado para la síntesis de NPHs.	Mediante bibliografía se logra identificar el método más adecuado para la síntesis de Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .	Métodos para síntesis de NPs.	Estudios bibliográficos.

La obtención de un FeO que permita remover la mayor cantidad posible de Hg de H <sub>2</sub> O contaminadas por este metal.	Sintetizar Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> a través de un método químico.	La aplicación de un método químico permite sintetizar NPHs.	Concentración de NPs de FeO.	Métodos para medir concentración y tiempo.
Mediante un método caracterizar las NPs de Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> para su prestación en la investigación.	Caracterizar las NPHs mediante técnicas ópticas.	Con la aplicación de técnicas ópticas se podrá caracterizar NPHs.	Valoración de NPs de FeO.	Métodos de caracterización óptica.
Obtener muestras de aguas contaminadas con Hg para poder evidenciar la factibilidad de las NPHs.	Generar muestras de H <sub>2</sub> O con diferentes concentraciones de Hg.	Se generarán muestras de H <sub>2</sub> O con distintas concentraciones de Hg.	Cantidad de la muestra de Hg.	Métodos de medición Volumétricas.
La efectividad de la síntesis y la caracterización de las NPHs para aplicarla en la remoción del Hg.	Validar el nivel de remoción de Hg con la aplicación de las NPHs.	La remoción aplicada con NPHs permitirá validar los niveles de Hg.	Efectividad de las NPs de FeO en la remoción del Hg.	Métodos de síntesis, caracterización y valoración.

Realizado por: Paredes, G; Vacacela, E. 2022.

## 2.5. Tipo y Diseño de Investigación

### 2.5.1. Método experimental

El diseño del trabajo de investigación es experimental, se van obteniendo datos en las pruebas físico-químicas, en la pirolisis y activación. Y se comparan los resultados con resultados obtenidos de las pruebas espectro métricas que se aplican al final de la experimentación.

La presente investigación, debido a que, al variar la concentración del H<sub>2</sub>O contaminada con Hg, aumenta o disminuye el tamaño y cantidad de las NPs sintetizadas de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. De tal manera el diseño de investigación a realizarse es experimental o de laboratorio.

El desarrollo experimental se llevó a cabo en tres etapas las cuales consistirán en la preparación de la muestra que contenía una concentración determinada de Hg luego se llevara a cabo la síntesis de NPs de Hg las mismas que interactuaran directamente con la muestra contaminada de Hg una vez realizado este procedimiento se deberá caracterizar las NPs de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> mediante métodos ópticos para la determinación de la efectividad de las NPs directamente en el H<sub>2</sub>O contaminada por Hg.

Para este diseño se realizó un análisis Factorial con la muestra madre (MM), con tres variables de concentración de NPs sintetizadas (CH1), (CH2), Y (CH3) que interactuaran en dos tiempos (T1) Y (T2) EL cual se encuentra estructurado de la siguiente manera:

**Tabla 3-2:** Diseño Experimental - Muestra: concentración de Hg

	[CH]		[CH]		[CH]	
Hg	T1	T2	T1	T2	T1	T2
MM	M1-T1-[CH]	M1-T2-[CH]	M2-T1-[CH]	M2-T2-[CH]	M3-T1-[CH]	M3-T2-[CH]

Realizado por: Paredes, G; Vacacela, E. 2022.

**Donde:**

**MM:** Muestra de Concentración de Hg.

**[CH]:** Concentración de NPHs.

**T:** Tiempo de emulsión.

## 2.5.2. Diseño experimental de la investigación

### 2.5.2.1. Descripción de los materiales equipos y reactivos

**Tabla 4-2:** Compuestos y Reactivos

1. Hidróxido de Sodio	2. Cloruro Férrico-Hexahidratado
 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fórmula: NaOH</li> <li>• Masa molar: 39.98 g/mol</li> <li>• Casa comercial: J.T. BAKER</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fórmula: <math>FeCl_3 \cdot 6H_2O</math></li> <li>• Masa molar: 270.19 g/mol</li> <li>• Casa comercial: J.T. BAKER</li> </ul>
3. Nitrato de Hg	4. Argón
 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fórmula: <math>Hg(NO_3)_2</math></li> <li>• Masa molar: 324.7 g/mol</li> <li>• Casa comercial: A.P. CHEMICAL</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fórmula: <math>C_{18}H_{34}O_2</math></li> <li>• Masa molar: 283.47 g/mol</li> <li>• Casa comercial: H.T. SNACK</li> </ul>
5. Agua destilada	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fórmula: <math>H_2O</math></li> <li>• Masa molar: 18.02 g/mol</li> <li>• Casa comercial: Baterías Ecuador</li> </ul> 	

Realizado por: Paredes, G; Vacacela, E. 2022.

**Tabla 5-2: Materiales**

1. Vasos de precipitación de 100 y 150 mL	
2. Vidrio reloj	
3. Espátula	
4. Pipetas de 1 y 10 mL	
5. Probeta de 10 mL	
6. Piseta	
7. Pera de succión	

<p>8. Termómetro</p>	
<p>9. Varilla de agitación</p>	
<p>10. Tubos falcón de centrifuga de 50 mL</p>	
<p>11. Balones de aforo de 100 y 250 mL</p>	
<p>12. Balón de destilación 1000 mL</p>	

**Realizado por:** Paredes, G; Vacacela, E. 2022.

**Tabla 6-2: Equipos**

1. Agitador-Calentador magnético	2. Espectrofotómetro FT-IR
 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Marca: Fisher Scientific</li> <li>• Modelo: C1928150310708H</li> <li>• Temperatura máxima: 300 °C</li> <li>• Peso Máximo: 2 L</li> <li>• Velocidad Máxima: 2500 rpm</li> <li>• Dimensiones: 21 x 13.3 x 11.1cm</li> <li>• Características:</li> <li>• Control de velocidad analógico variable de 250 a 2500rpm</li> <li>• Agita hasta 2L de H<sub>2</sub>O</li> <li>• La placa superior de acero inoxidable recubierta de porcelana resiste ácidos y base</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Marca: JASCO</li> <li>• Modelo: FT/IR-4100</li> <li>• Resolución máxima: 0.9 cm<sup>-1</sup></li> <li>• Software de análisis: Spectra Manager</li> <li>• Características:</li> <li>• Extensión de numero de onda</li> <li>• Escaneo rápido 10 exploraciones por segundo</li> <li>• Reconocimiento IQ: reconoce automáticamente el accesorio de muestreo</li> </ul>
3. Espectrofotómetro UV	4. Microscopio electrónico de barrido (SEM)
 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Marca: Thermo Scientific</li> <li>• Modelo: G10s UV- VIS</li> <li>• Rango de Longitudes de Onda: 190-1100 nm</li> <li>• Lampara: Xenón de alta intensidad</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Marca: JEOL</li> <li>• Modelo: JSM-IT500HR</li> <li>• Software de Análisis: Deben Chamberscope/</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Características:</li> <li>• Acelera los barridos de longitud de onda con velocidades de barrido de hasta 3600 nm/min</li> <li>• Adquisición de datos UV</li> <li>• Uso de óptica de doble haz para una exactitud fotométrica superior</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resolución máxima</li> <li>• Características:</li> <li>• Tiene sistema de cañones de electrones de alto brillo</li> <li>• Imágenes sorprendentes de alta resolución</li> <li>• Una alta sensibilidad y un análisis de alta resolución espacial a velocidades aún más rápidas</li> </ul>
<p><b>5. Sorbona</b></p>	<p><b>6. Estufa</b></p>
<div style="text-align: center;">  </div> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Marca: BIOBASE</li> <li>• Modelo: FH1000(X)</li> <li>• Dimensiones de Operación(mm): 880*730*745</li> <li>• Características:</li> <li>• Filtro de carbón activado</li> <li>• Soplador: ventilador centrifugo incorporado con velocidad ajustable</li> <li>• Tablero fisicoquímico resistente a químicos solidos</li> </ul>	<div style="text-align: center;">  </div> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Marca: ESCO</li> <li>• Modelo: OFA-54-8</li> <li>• Temperatura Máxima: 300°C / 500°F</li> <li>• Volumen: 54 L</li> <li>• Características:</li> <li>• Múltiples sistemas redundantes de protección contra sobre temperatura.</li> <li>• Protección electrónica contra sobre temperatura integrada en el microprocesador.</li> <li>• Protección de sobre temperatura mecánica redundante, ajustable desde la parte delantera, independiente del microprocesador.</li> </ul>

<p style="text-align: center;"><b>7. Mufla</b></p>  <ul style="list-style-type: none"> <li>• Marca: THERMO SCIENTIFIC</li> <li>• Modelo: FB1410M</li> <li>• Capacidad: 2.1 L</li> <li>• Rango de temperatura: 100° a 1100°C</li> <li>• Características:</li> <li>• Calentamiento rápido y excelente eficiencia energética</li> <li>• La pantalla dual muestra la temperatura real y el punto de ajuste</li> <li>• La puerta desplegable se dobla como un estante para cargar y descargar</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>8. pH metro</b></p>  <ul style="list-style-type: none"> <li>• Marca: HANNA INSTRUMENTS</li> <li>• Modelo: HI4221</li> <li>• Rango: -20.0 a 120°C</li> <li>• Memoria: 5000 registros</li> <li>• Características:</li> <li>• Posee calibración de pH fija</li> <li>• Compensación de temperatura manual o automática</li> <li>• Control de la condición y el tiempo de respuesta del electrodo</li> <li>• Electrodo con cuerpo de vidrio</li> </ul>
<p style="text-align: center;"><b>9. Conductímetro</b></p>  <ul style="list-style-type: none"> <li>• Marca: PH MONITOR</li> <li>• Modelo: P460-TW</li> <li>• Características:</li> <li>• Ajuste automático de la memoria intermedia</li> <li>• DC24V controlador de dos hilos</li> <li>• Salida de 4-20 mA con DC24V</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>10. Espectrómetro de absorción atómica</b></p>  <ul style="list-style-type: none"> <li>• Marca: THERMO SCIENTIFIC</li> <li>• Modelo: ICE-3300</li> <li>• Características:</li> <li>• Capacidad de detección de ultratrazas en partes-por-billón del sistema horno de grafito dedicado.</li> <li>• Monocromadores auto calibrados y lámparas auto alineadas ofrecen un</li> </ul>

	<p>sencillo setup óptico y una óptima transmisión de luz en los sistemas llama dedicados.</p>
<p><b>11. Balanza electrónica</b></p>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marca: OHAUS</li> <li>• Modelo: Explorer EX623</li> <li>• Precisión: <math>\pm 0.1</math> mg</li> <li>• Capacidad: 620g * 0.001 g</li> <li>• Software de Análisis: Ingeniosuly Practical</li> <li>• Calibración interna automática</li> <li>• Sensores IR para activar la luz y para tara la balanza</li> <li>• Pantalla digital táctil</li> <li>• Variabilidad de unidades métricas</li> </ul>	

**Realizado por:** Paredes, G; Vacacela, E. 2022.

## 2.6. Unidad de Análisis

Muestras de H<sub>2</sub>O con concentración determinada de Hg generada en el laboratorio.

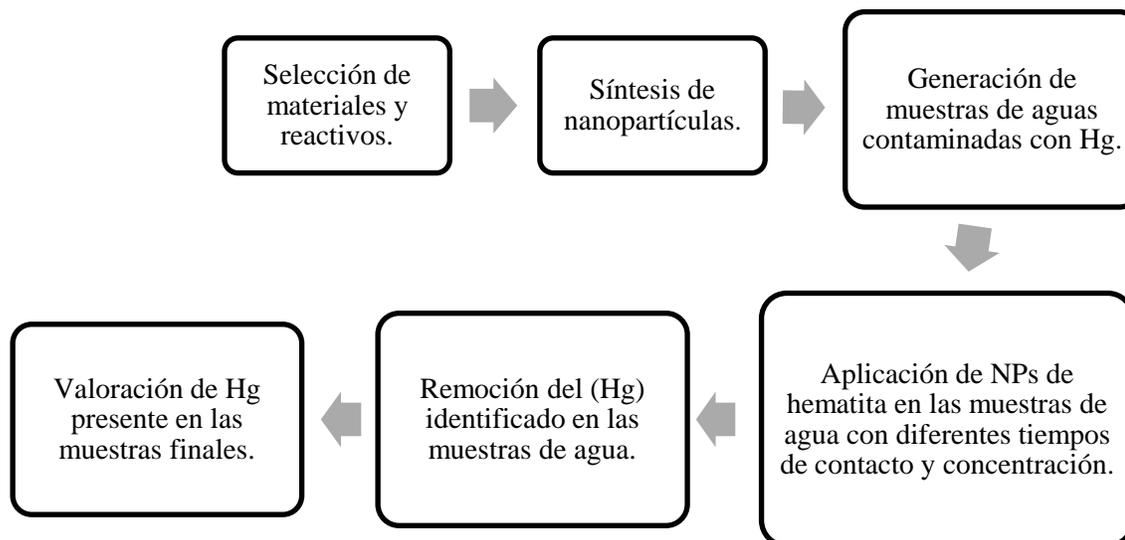
## 2.7. Población de estudio

Alrededor de 150 mL de H<sub>2</sub>O contaminada con Hg formadas en el laboratorio tratando de simular muestras naturales de contaminación de esta naturaleza.

## 2.8. Tamaño de muestra

Durante la investigación se trabajó con 1 g de NPHs para cada muestra seleccionada de H<sub>2</sub>O a concentraciones de 15, 20, 30 ppm de Hg.

## 2.9. Selección de muestra



**Gráfico 1-2:** Esquema de síntesis de NPHs y remoción de Hg

Realizado por: Paredes, G; Vacacela, E. 2022.

## 2.10. Localización del Trabajo de Integración Curricular

Las pruebas de la materia prima y se llevaron a cabo en el laboratorio de Investigación de la facultad de Ciencias De la Escuela Superior politécnica del Chimborazo de la ciudad de Riobamba cuyas coordenadas son  $78^{\circ}40'20''$  que se encuentra ubicada en la panamericana Sur Km 1  $\frac{1}{2}$  vía a una altura de 2815msnm.



**Figura 1-2:** Localización del laboratorio de investigación en la ESPOCH

Realizado por: Paredes, G; Vacacela, E. 2022.

## **2.11. Técnicas de recolección de datos**

### ***2.11.1. Esterilización de materiales***

El primer paso fue lavar los materiales con jabón, cepillo y H<sub>2</sub>O, se enjuagó con H<sub>2</sub>O destilada y después se puso en la estufa. Luego, nuevamente se lavó con H<sub>2</sub>O extra pura y H<sub>2</sub>O destilada para evitar la contaminación en los materiales y que no se afecte la síntesis de NPs.

Se realizó una mezcla de H<sub>2</sub>O y jabón para poder lavar todos los materiales que se utilizó, donde es sumergido el cepillo tratando de formar abundante espuma con el objetivo de esterilizar el material en las bordes y esquinas. Luego del lavado se colocó en la estufa a 70°C aproximadamente 25 minutos, por último, se colocó una franela extendida que estaba limpia y seca para poner los materiales después que estén esterilizados.

### ***2.11.2. Síntesis de nanopartículas***

Se realizó una revisión de la bibliografía en la cual se identificará diferentes métodos seleccionando el método más adecuado según los materiales y equipos que se tengan disponibles.

Para la síntesis de los FeO existen varios métodos químicos por las cuales se obtendrán NPHs, donde serán utilizadas a fin de la investigación.

### ***2.11.3. Método de Síntesis de nanopartículas de Hematita***

Se realizó una revisión de bibliografía en la cual se identificó el método más adecuado según los materiales y equipos que se tengan disponibles. En la síntesis de los FeO se realizó por medio del MPC.

#### ***2.11.3.1. Precipitación controlada***

El MPC permite controlar las diferentes etapas de la síntesis modificando el pH del sistema, evaluando el potencial y registrando la conductividad, específicamente consta de 3 etapas: la primera etapa de precipitación, la segunda un proceso de lavado y la tercera un tratamiento térmico permitiendo obtener NPHs.

En la primera etapa durante la síntesis, se utilizó como precursor el  $\text{Cl}_3\text{Fe} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  a 1M y como precipitante el NaOH a 6M, se tituló mediante goteo, 300 mL de solución de  $\text{Cl}_3\text{Fe} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  con una solución de NaOH hasta alcanzar un valor en el pH de 6. Esto se obtuvo con la ayuda de un pH metro marca Jenway que se utilizaba después de añadir el valorante durante la titulación hasta alcanzar el pH de trabajo 6.

El tiempo de reacción de la disolución coloidal fue de 8 horas a temperatura de ebullición.



**Figura 2-2:** Precipitación controlada

**Realizado por:** Paredes, G; Vacacela, E. 2022.

En la segunda etapa se procedió a eliminar los subproductos de las NPs mediante lavados utilizando  $\text{H}_2\text{O}$  destilada, el proceso se realizó por centrifugación para separar las fases sólida y acuosa. Para determinar la cantidad de lavados se utilizó un conductímetro el cual proporcionaba el valor conductímetro de la fase acuosa denotando que con 3 lavados se obtuvo un valor de conductividad semejante al valor del  $\text{H}_2\text{O}$  destilada también conocida como purificación química.

### *2.11.3.2. Purificación química*

Los métodos de purificación química se utilizaron para obtener muestras más limpias y eliminar las trazas de productos químicos entre ellos, elementos o compuestos que generen contaminación en nuestro producto. Este método se utiliza simultáneamente como se describe a continuación.

Se colocó  $\text{H}_2\text{O}$  destilada dentro de los tubos de centrifuga hasta homogenizarla y permitir que las

NPHs adheridas en la pared del tubo, por efecto realizado del campo magnético, formen una sola mezcla. Luego de esto, se mezcló el precipitado para remover las NPs del fondo para que puedan liberarse de los restos sobrantes y, con ayuda de un imán de neodimio se retira toda el H<sub>2</sub>O destilada y restos químicos presentes en las NPs. En este punto se realiza nuevamente el paso 1,2 y 3 hasta obtener una muestra más pura. Finalmente se repite este procedimiento hasta que nuestro sobrenadante no denote turbidez.



**Figura 3-2:** Muestras de NPHs en dos fases

**Realizado por:** Paredes, G; Vacacela, E. 2022.

En la tercera etapa, el sólido húmedo obtenido se lo secó por medio de una estufa, en una temperatura de 60 °C por 48 horas, al obtener el producto seco se trituro en un mortero y posterior a eso, se calcinó en una mufla a 500 °C durante 2 horas, obteniendo Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sin contaminantes.



**Figura 4-2:** Obtención de la Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

**Realizado por:** Paredes, G; Vacacela, E. 2022.

Obteniendo el producto final y observar el color característico de la  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (rojo pardo), este resultado se sometió a procesos de caracterización.

#### **2.11.4. Técnicas de caracterización de las NPs de Hematita**

Son técnicas que, que permiten analizar la composición química, tamaño, forma de las muestras, siendo esto de naturaleza cuantitativa o cualitativa. Las técnicas aplicadas se mencionan a continuación.

##### **2.11.4.1. Espectroscopia IR**

Para realizar la técnica de caracterización denominada espectroscopia IR, luego de una previa calibración del equipo, se colocó aproximadamente 3 gotas de solución de NPHs en el porta muestra del equipo (espectroscopio modelo FT/IR-4100), éstas fueron tomadas con la ayuda de una pipeta Pasteur. Luego se alineó y aseguró el cristal para que durante el análisis todo el rango de luz pueda atravesar sin ninguna interferencia la solución de las NPs.

Realizándose la absorbancia de energía en el equipo, por medio de vibraciones directas en los enlaces de cada molécula, las cuales es importante analizar y realizar correcciones en los espectros a través del software propio de equipo (Spectra Manager) y realizar así la lectura y procesamiento del análisis, comparando con espectros encontrados en investigaciones para determinar el resultado.



**Figura 5-2:** Absorbancia

**Realizado por:** Paredes, G; Vacacela, E. 2022.

#### 2.11.4.2. Espectroscopia UV

Para esta técnica se utilizó el equipo espectrofotómetro Thermo Electrón, modelo Helios B UV-Visible que permitió efectuar el análisis en las muestras, las cuales fueron diluidas con la utilización de agua destilada. Mediante la ayuda de una celda de cuarzo, se realizó un análisis de la muestra madre creando un Background que se convierte en un espectro línea base, posteriormente se realizó las titulaciones.

En este proceso se colocó una cantidad NPs en polvo previamente sometidas en H<sub>2</sub>O destilada y secadas en la estufa a 60 °C.

Luego se corrieron los barridos tomando como límite inferior 750nm en longitud de onda vs absorbancia 0.182 Abs, se sacó el espectro en el software THERMO con los datos de absorbancia contra longitud de onda, se analizaron los datos y se estudió resultados tomando en cuenta lo análisis en trabajos bibliográficos.



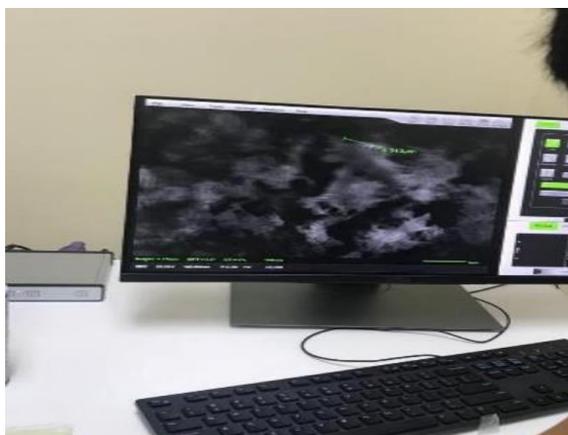
**Figura 6-2:** Espectroscopia UV

Realizado por: Paredes, G; Vacacela, E. 2022.

#### 2.11.4.3. Microscopia Electrónica de Barrido (SEM)

Se realizó la observación y caracterización de las NPs en el equipo SEM, Es necesario obtener muestras completamente secas. Para ello, se utilizó la estufa SNOL, a 70°C. Para la realización del proceso se colocó una gota de NPHs en un porta muestras de vidrio. Luego de un tiempo de 10 min de meterlo en la estufa se extrajo el porta muestra y se procedió a raspar la muestra. Se colocó el polvo de NPs en una cinta doble faz completamente oscura, permitiendo no ser refaccionada la muestra, luego se colocó de manera correcta en el porta muestra del equipo SEM, una vez listas se procedió a realizar el análisis físico y químico de las NPs.

En el SEM se realizó análisis estructurales y químicos, de la muestra de NPHs.



**Figura 7-2:** Empleo de microscopio de barrido

Realizado por: Paredes, G; Vacacela, E. 2022.

### ***2.11.5. Generación de las muestras contaminadas con Hg, para su remoción con NPHs***

#### ***2.11.5.1. Generación de muestra de aguas contaminadas con Hg***

A partir de la bibliografía se identificó el nivel de Hg adecuado para generar una muestra con un elevado nivel de contaminación, para ello se utilizó materiales de laboratorio como pipetas, balanzas analíticas entre otros materiales, generando parámetros que demuestren que el método de síntesis MPC para las NPHs fue correcto.

Para realizar la generación de la muestra se debe usar un solo material para su uso, evitando la contaminación con Hg a otros materiales, no disponiendo de material de uso específico, se debe realizar la utilización  $\text{HNO}_3$  al 8% durante un tiempo de 3 horas.

Con ayuda del material sin contaminantes de Hg, se realizó de manera segura la preparación de disoluciones de  $\text{H}_2\text{O}$  contaminada con  $\text{Hg}^{2+}$ . Para ello se preparó una disolución madre de  $\text{H}_2\text{O}$  contaminada de  $\text{Hg}^{2+}$  a una concentración 90 ppm, generada a partir 4,5 mg de  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$  en 50 mL de  $\text{H}_2\text{O}$ . Posteriormente de generar la muestra madre, se cogen los 50 mL de la disolución madre y fue diluida en un balón de aforo de 150 mL obteniendo una disolución a una concentración de 30 ppm de  $\text{Hg}^{2+}$ . Continuamente se preparó dos disoluciones en valones de aforo de 50 mL a diferentes concentraciones de  $\text{Hg}^{2+}$ . Denotadas en la tabla 7-2 resumiendo las disoluciones que fueron preparadas a diferentes concentraciones de  $\text{Hg}^{2+}$  :

**Tabla 7-2:** Disoluciones de  $\text{Hg}^{2+}$  preparadas.

Vial	mL de disolución 30 ppm $\text{Hg}^{2+}$	mL de $\text{H}_2\text{O}$	$[\text{Hg}^{2+}]$ (ppm)
1	25,00	25,00	15
2	33,33	16,67	20
3	50,00	0,00	30

**Realizado por:** Paredes, G; Vacacela, E. 2022

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 3.1. Resultados

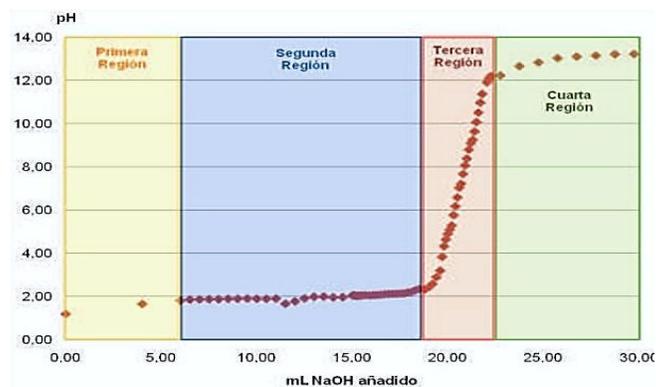
##### 3.1.1. Determinación del tiempo mínimo de reacción para la síntesis NPHs por el MPC

El gráfico 1-3 representa la curva de valoración potenciométrica obtenida durante la titulación, determinando el punto de equivalencia para el sistema, dando como resultado un pH igual a 6, obtenidos por medio de los cálculos de una primera y segunda derivada para la realización de una curva de valoración. El gráfico 1-3 demostró distinguir 4 regiones las cuales limitan los valores del pH según los tamaños de las NPHs.

En su primera región se observa que los iones OH generan un gran consumo, producido por la solución precursora en reacción, debido a su característica ácida, donde constantemente durante toda la reacción los complejos se disuelven.

La segunda región demuestra que el consumo de iones OH sigue siendo muy alta, por lo cual pH casi no varía. Esto se debe a que los complejos iónicos se agrupan y crean conglomerados llamados embriones. Luego, la siguiente etapa evidencia un decrecimiento embrionario, se efectúa un bajo consumo de oxidrilos y el pH comienza a subir. Esta región se caracteriza por formar embriones estables y tener el pH adecuado, donde se efectúa la precipitación.

Finalmente, se aprecia en la cuarta región un consumo menor de los iones OH y la disolución formada durante el proceso alcanza lentamente la saturación deseada, formándose un gel espeso, debido a que los núcleos se agrupan formando óxidos férricos hidratados.



**Gráfico 1-3:** Tiempo mínimo de reacción

Realizado por: Paredes, G; Vacacela, E. 2022.

En investigaciones sobre síntesis de NPHs el pH de trabajo al cuál se manejaba variaba de 5 a 7 (Rodríguez, 2001, p.175). En base a esta información es obtenido el punto de equivalencia deseado, la síntesis de las NPHs se trabajó con un pH de 6.

### 3.1.2. Conductividad del H<sub>2</sub>O de los lavados

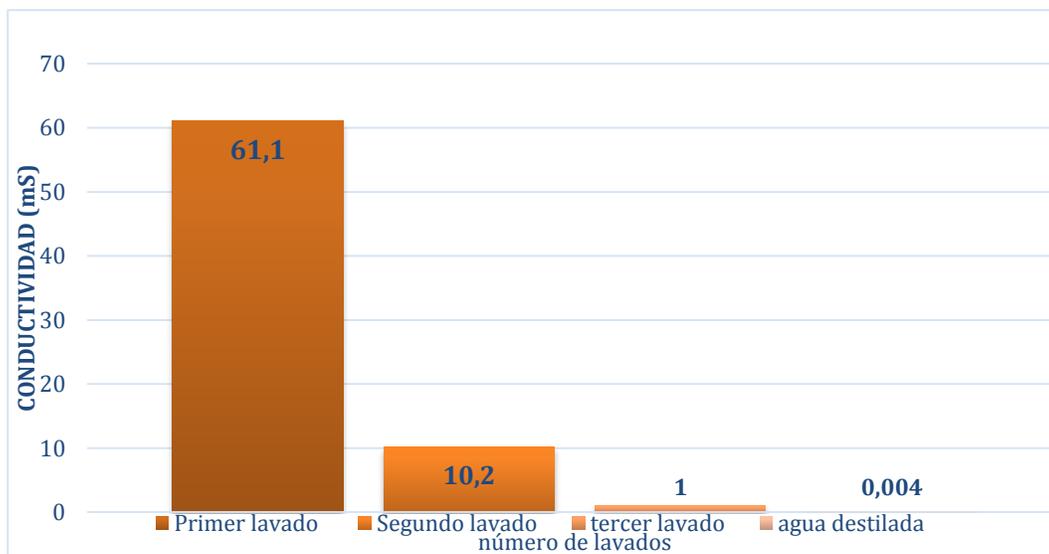
Se realizó pruebas de conductividad desde el primer lavado de las NPs con H<sub>2</sub>O destilada, obteniendo el valor de 61,1 mS/cm en el primer lavado, siendo un valor muy elevado al valor del agua destilada con 0.004 mS/cm, se realizó un segundo lavado y al medir la conductividad de la fase acuosa su conductividad es de 10,2 mS/cm, demostrando un descenso en el valor de conductividad con un 85% menos que el primer lavado, por lo que se realizó un tercer lavado alcanzando un valor de 1,0 mS/cm; tres lavados sucesivos provocaron un disminución de un 98% de las trazas y contaminantes de las NPs en su concentración inicial.



**Figura 1-3:** a) Conductividad del primer lavado;  
b) Conductividad del tercer lavado

**Realizado por:** Paredes, G; Vacacela, E. 2022.

En el Grafico 2-3 se presenta los valores de las pruebas de conductividad efectuadas de la fase acuosa generada posteriormente de cada lavado de las NPs. Luego que se realizó el primer lavado, el valor de conductividad generado corresponde a 61,1 mS/cm, el segundo corresponde a 10,2mS/cm y el tercer lavado a 1,0 mS/cm, el último bloque corresponde al valor del H<sub>2</sub>O destilada para realizar la comparación.

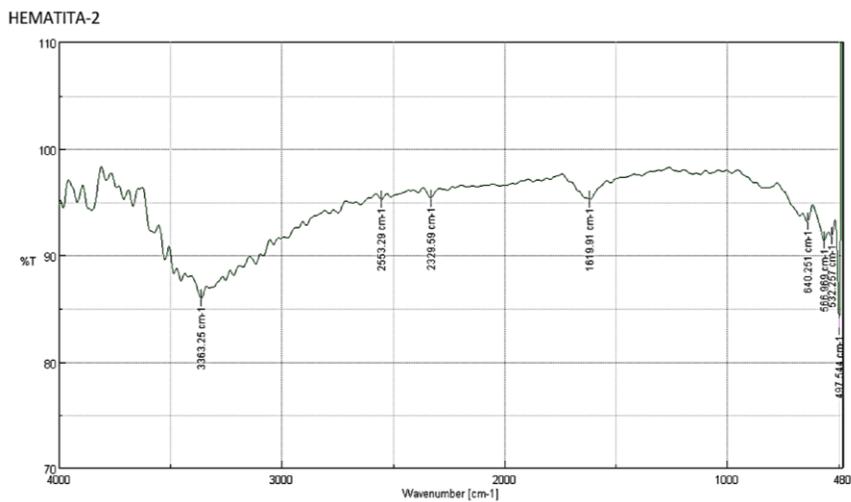


**Gráfico 2-3:** Conductividad de los lavados

Realizado por: Paredes, G; Vacacela, E. 2022.

Estudios bibliográficos señalan que no es posible eliminar el 100 % del NaCl, debido a que cantidades de iones quedan absorbidos en el producto obtenido. Tras eliminar por arriba del 95% de los subproductos, se evidencio que con 3 lavados son suficientes para obtener un buen producto (Berrones & Lascano, 2008, pp.91-95).

### 3.1.3. Resultados de la Síntesis de NPMs en Espectroscopia FT/IR

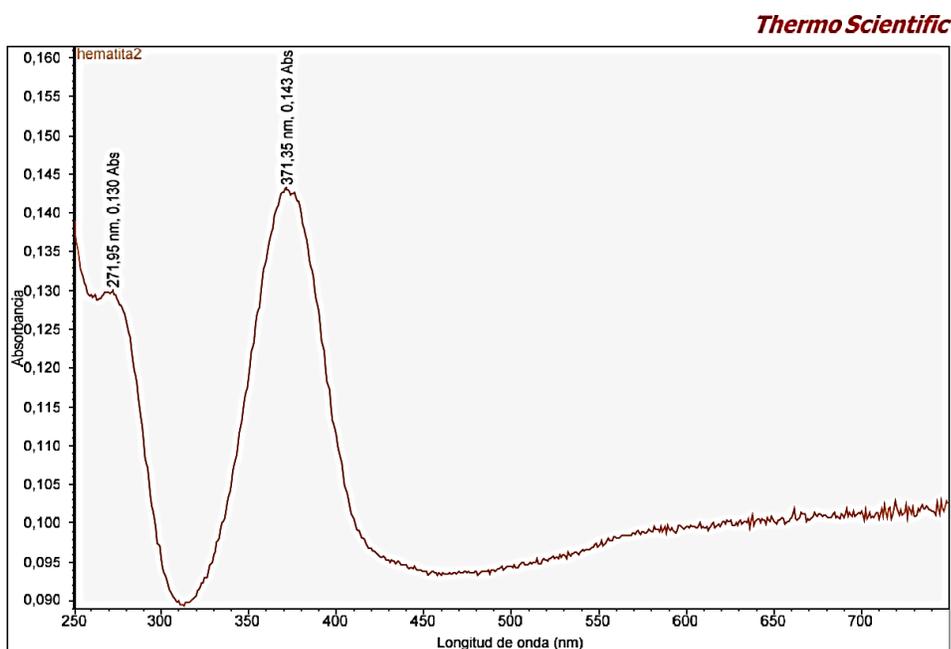


**Gráfico 3-3:** Conductividad del H<sub>2</sub>O de los lavados

Realizado por: Paredes, G; Vacacela, E. 2022.

El Gráfico 3-3, se muestra la generación de un espectro propio procedente de la formación de NPHs, se logró observar bandas de absorción que son características de los grupos funcionales comunes indicando la existencia de los enlaces como: la banda 3600 a 300  $\text{cm}^{-1}$  y en la banda 1640  $\text{cm}^{-1}$ , que se atribuye a los enlaces del grupo hidroxilo (O-H) absorbida del ambiente por el KBr; la banda de 3000 a 2950.41  $\text{cm}^{-1}$  y 1550 a 1450  $\text{cm}^{-1}$ , conjunto de enlaces correspondientes a las características del alargamiento antisimétrico, carbono-hidrógeno (C-H), las bandas correspondientes a 1384, 1260, 880 y 617  $\text{cm}^{-1}$  que atribuyen a ferrihidrita y 700 a 500  $\text{cm}^{-1}$ , correspondiente a magnetita y finalmente se logra la obtención de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  en entre la bandas de 570 a 474  $\text{cm}^{-1}$ , verificando la presencia de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  como se aprecia en el gráfico y dicho resultado se le da veracidad bibliográficamente (Nava, 2016, p.24).

### 3.1.4. Resultados de la Síntesis de NPMs en Espectroscopía UV-Vis



**Gráfico 4-3:** Síntesis de NPMs en Espectroscopía UV-Vis

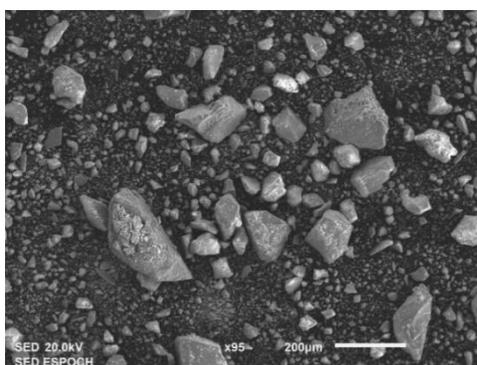
Realizado por: Paredes, G; Vacacela, E. 2022.

El espectro de las NPs en el UV-Vis se obtuvo después del proceso de recocido que se muestra en el gráfico 4-3. Se puede observar que las NPHs absorbe luz de aproximadamente en la banda de 300 a 550 nm con un pico relevante de absorción de 200 a 300 nm, que correspondiente a la región UV-Vis. En la parte visible las NPHs, absorbe de 370 a 550 nm, donde se realiza la absorción de luz azul y violeta. El rango de absorción denotado en el UV-Vis en el espectro se encontró a 371,35nm, que

corresponde a la luz violeta, además, se encontró otro pico a 271,85nm. La alta absorción en el UV-Vis, proviene de la transferencia de carga de  $O_2-2p$  a  $Fe^{3+}3d$ , así en la menor absorción de energía, debido a la excitación de transición indirecta de espín  $Fe^{3+}3d-$  a  $3d$  conocida como transición prohibida (Palma & Peñafiel, 2020, p.28).

### 3.1.5. Resultados en SEM

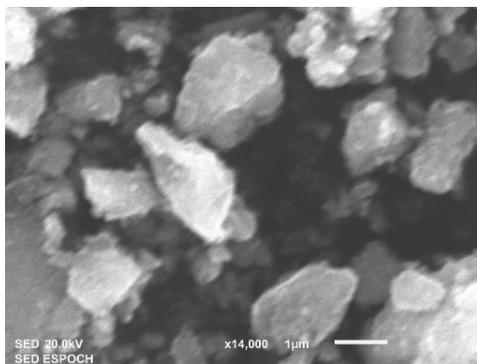
El SEM ayudo a observar imágenes nítidas de la  $Fe_2O_3$ , aquí se mira múltiples NPs dando a entender que la  $Fe_2O_3$  se sintetizó de manera correcta.



**Figura 2-3:** Muestra en SEM

**Realizado por:** Paredes, G; Vacacela, E. 2022.

En la figura 2-3 se puede observar la primera muestra analizada mediante el cañón de electrones tomando en cuenta que la distancia fue de 3.0 mm, el aumento a 200  $\mu m$  y la energía de 20 KV y de igual manera se puede observar la formación de NPHs con el tamaño promedio de 0,055  $\mu m$  (55 nm), apreciamos formas romboidales en la muestra.



**Figura 3-3:** Tamaño de NPs en el SEM

**Realizado por:** Paredes, G; Vacacela, E. 2022.

En la figura 3-3 se puede observar el tamaño de las NPHs en un rango de 30-45 nm, tomando en cuenta la distancia del análisis de 3.0 mm, el aumento a 1  $\mu\text{m}$  y la energía de 20 KV, observando con mayor claridad el tamaño de las NPs analizadas en el equipo.

### 3.1.6. Resultados de la remoción de mercurio

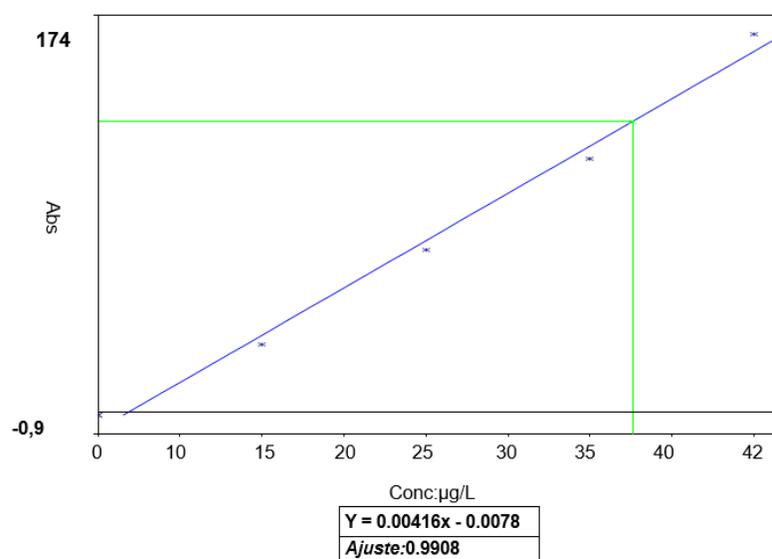
#### 3.1.6.1. Curva de calibración para el tiempo de contacto

La curva de calibración se realizó a partir de una disolución estándar de Hg tomando 0.1 mL y diluyéndola hasta 50 mL para generar la muestra madre, seguidamente en 4 balones de aforo se colocan 1 mL, 2 mL, 3 mL y 4 mL de solución madre y se las diluyen hasta 50mL con agua destilada.

**Tabla 1-3:** Soluciones estándar empleadas para la curva de calibración

Concentración de $\text{Hg}^{2+}$ ppm	Absorbancia $\mu\text{g/L}$
0	0.1
1	30
2	71
3	111
4	166

Realizado por: Paredes, G; Vacacela, E. 2022.



**Gráfico 5-3:** Curva de calibración para la determinación de  $\text{Hg}^{2+}$

Realizado por: Paredes, G; Vacacela, E. 2022.

### 3.1.6.2. Capacidad de adsorción del mercurio

Realizando estudios de absorción de Hg en la que interfieran diferentes parámetros que puedan afectar durante el proceso de absorción. Es así como la influencia de las concentraciones para el absorbente fue realizada con valores de 1 gr de NPHs en la muestra madre a 90ppm a temperatura ambiente. Durante un tiempo de contacto de 2, 4, 7, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 60, 90 y 120 minutos.



**Figura 4-3:** Ensayos de absorción de Hg

**Realizado por:** Paredes, G; Vacacela, E. 2022.

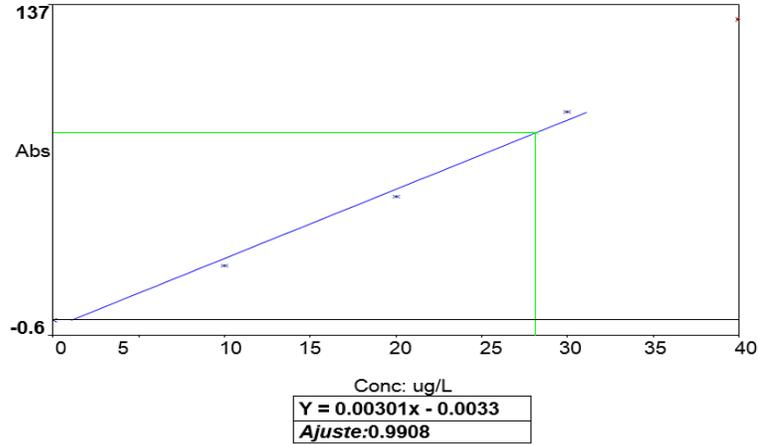
### 3.1.6.3. Curva de calibración del Hg para la experimentación del diseño experimental

La curva de calibración para la experimentación partió de una solución estándar de Hg tomando 0.1 mL y diluyéndola hasta 50 mL para generar la muestra madre, seguidamente en 4 balones de aforo se colocan 1, 2, 3 y 4 mL de solución madre y se las diluyen hasta 50mL con agua destilada.

**Tabla 2-3:** Soluciones estándar empleadas para la curva de calibración

Concentración de Hg <sup>2+</sup> ppm	Absorbancia ug/L
0	0.1
1	24
2	53
3	90

**Realizado por:** Paredes, G; Vacacela, E. 2022.



**Gráfico 6-3:** Curva de calibración para la determinación de Hg<sup>2+</sup>

**Realizado por:** Paredes, G; Vacacela, E. 2022.

Determinando la concentración del absorbente, evidenciando durante los tiempos de contacto, donde se puede apreciar que a partir del primer momento de contacto de las NPs con el Hg ya se efectuaba la remoción apreciada en los resultados obtenidos se realizaron ensayos con una concentración de 1 g NPHs para 50 mL de H<sub>2</sub>O contaminada por Hg a concentraciones de 15, 20, 30 ppm en tiempos de contacto de 10 y 30 min.

**Tabla 3-3:** Remoción de Hg con NPHs

NPHs	[CH]1		[CH]2		[CH]3	
	T1	T2	T1	T2	T1	T2
R	3.5	3.45	3.2	2.4	1.87	1.86
M	M1	M1	M2	M2	M3	M3

**Realizado por:** Paredes, G; Vacacela, E. 2022.

**Donde:**

**R:** Concentración final de Hg en ppm

**CH:** 1 g NPHs

**T1:** tiempo de contacto a 10 minutos

**T2:** tiempo de contacto a 30 minutos

**M1:** muestra de Hg a 30 ppm

**M2:** muestra de Hg a 20 ppm

**M3:** muestra de Hg a 15 ppm

### 3.1.7. Análisis estadístico

#### 3.1.7.1. Resumen Estadístico para Concentración final de mercurio

**Tabla 4-3:** Resumen Estadístico para Concentración final Hg (ppm)

Tiempo (min)	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	Mínimo	Máximo
10	3	2.04667	1.36207	66.5506%	0.73	3.45
30	3	0.823333	0.722865	87.7973%	0.31	1.65
Total	6	1.435	1.18325	82.4561%	0.31	3.45

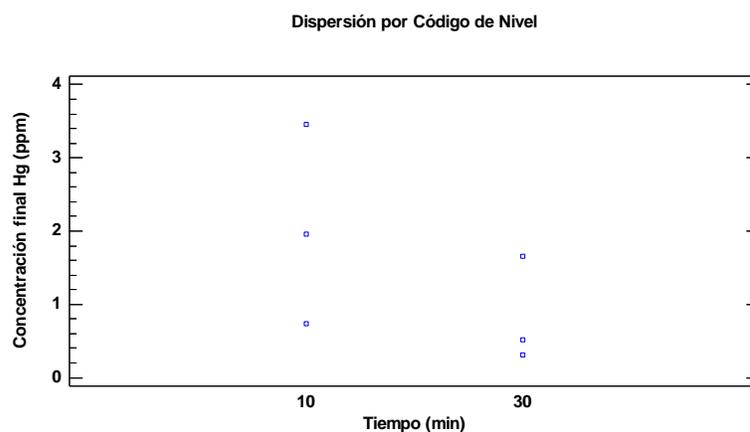
Realizado por: Paredes, G; Vacacela, E. 2022.

**Tabla 5-3:** Niveles de Tiempo vs Concentración final de Hg

Tiempo (min)	Rango	Sesgo Estandarizado	Curtosis Estandarizada
10	2.72	0.201645	
30	1.34	1.12012	
Total	3.14	1.04495	0.293313

Realizado por: Paredes, G; Vacacela, E. 2022.

Las tablas 4-3 y 5-3 muestran diferentes datos estadísticos sobre la concentración final Hg (ppm) en cada uno de los 2 niveles de Tiempo (min). La comparación de las medidas de los diferentes niveles realizados mediante el análisis de varianza de un factor es la intención primordial del cálculo.



**Gráfico 7-3:** Dispersión por código de nivel de tiempo vs concentración de Hg

Realizado por: Paredes, G; Vacacela, E. 2022.

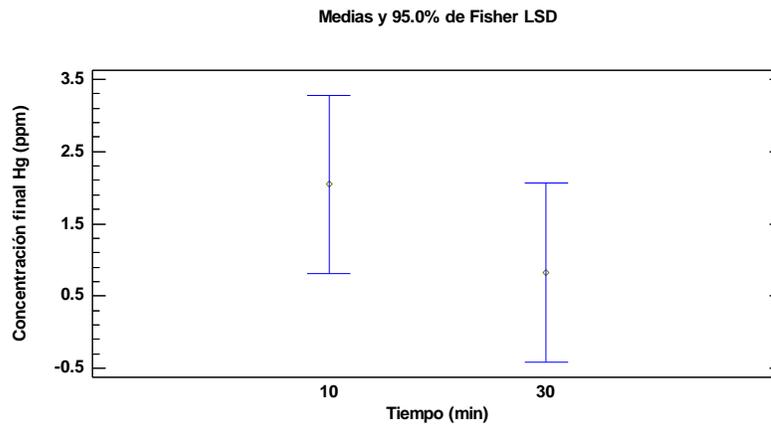
3.1.7.2. Método ANOVA para  $Hg^{2+}$  final

**Tabla 6-3:** ANOVA para Concentración final Hg (ppm) por Tiempo (min)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	2.24482	1	2.24482	1.89	0.2414
Intra grupos	4.75553	4	1.18888		
Total (Corr.)	7.00035	5			

Realizado por: Paredes, G; Vacacela, E. 2022.

La tabla 6-3 ANOVA, descompone la varianza de Concentración final Hg (ppm) en dos componentes: un componente entre grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, representa el cociente entre el estimado entre grupos y el estimado dentro-de-grupos, este caso es igual a 1.88817. Puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de concentración final Hg (ppm) entre un nivel de Tiempo (min) y otro, con un nivel del 95.0% de confianza.



**Gráfico 8-3:** Medias y Fisher de tiempo vs concentración de Hg (ppm)

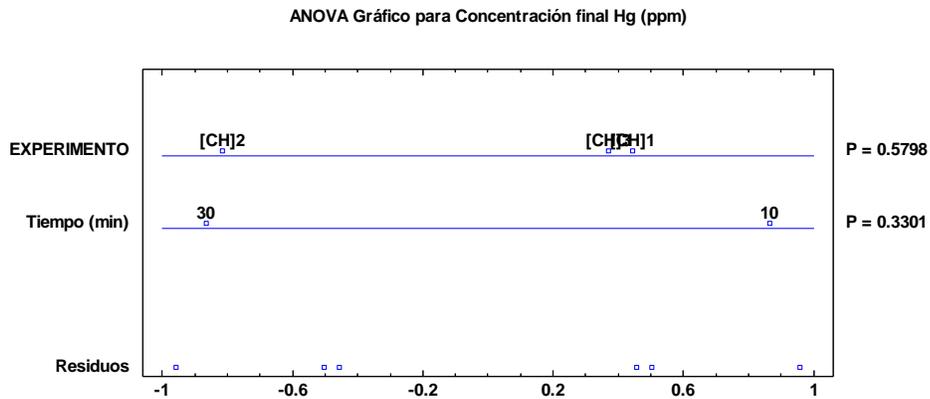
Realizado por: Paredes, G; Vacacela, E. 2022.

**Tabla 7-3:** Análisis de Varianza para Concentración final Hg (ppm) - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Tiempo (min)	2.24482	1	2.24482	1.63	0.3301
B: EXPERIMENTO ([CH]1, [CH]2, [CH]3)	1.9983	2	0.99915	0.72	0.5798
RESIDUOS	2.75723	2	1.37862		
TOTAL (CORREGIDO)	7.00035	5			

Realizado por: Paredes, G; Vacacela, E. 2022.

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual. En cambio, la tabla 7-3 ANOVA presenta la variabilidad de concentración final de Hg (ppm) en las diferentes contribuciones de los factores. Dado que se selecciona la suma de cuadrados de tipo III (por defecto), la contribución de cada factor se mide excluyendo la influencia de los otros factores. Los valores-P prueban la significación estadística de cada factor. Dado que ningún término tuvo un efecto estadísticamente significativo en la concentración final de Hg (ppm) con un nivel de confianza del 95,0 %.



**Gráfico 9-3:** Concentración final de Hg (ppm), experimento, tiempo y residuos

Realizado por: Paredes, G; Vacacela, E. 2022.

### 3.1.7.3. Índice de Remoción

**Tabla 8-3:** Índice de remoción

Concentración inicial (ppm)	Concentración final (ppm)	Índice de remoción (%)
15	1.87	87.53
15	1.86	87.6
20	3.2	84
20	2.4	88
30	3.5	88.3
30	3.45	88.5

Realizado por: Paredes, G; Vacacela, E. 2022.

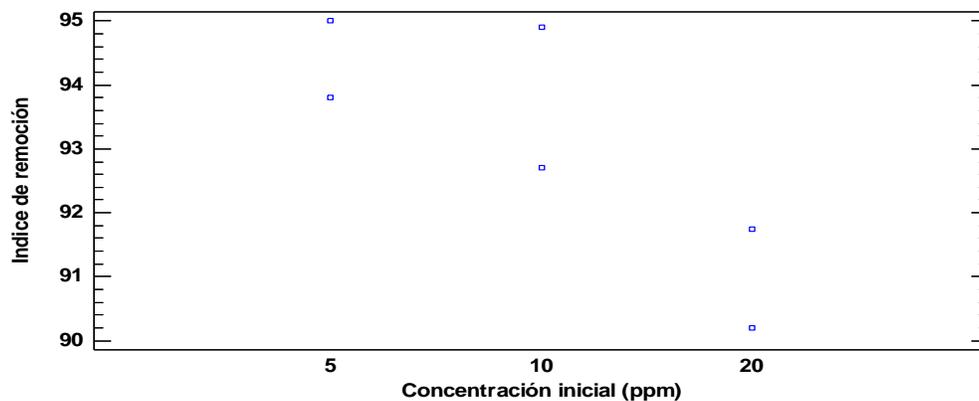
La tabla 8-3 demuestra porcentaje (%) final de remoción de Hg con NPHs, que fueron realizadas en el equipo de absorción de metales.

**Tabla 9- 3:** Resumen Estadístico para Índice de remoción

Concentración inicial (ppm)	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación
15	2	94.4	0.848528	0.898865%
20	2	93.8	1.55563	1.65846%
30	2	90.975	1.09602	1.20474%
Total	6	93.0583	1.88266	2.0231%

Realizado por: Paredes, G; Vacacela, E. 2022.

**Dispersión por Código de Nivel**



**Gráfico 10-3:** Dispersión por niveles de concentración inicial vs índice de remoción

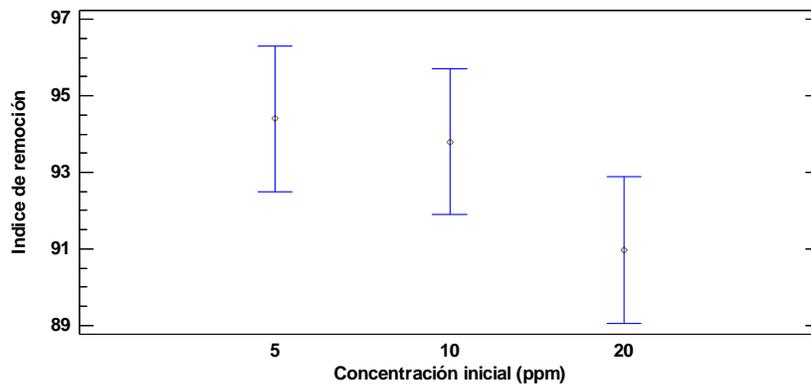
Realizado por: Paredes, G; Vacacela, E. 2022.

**Tabla 10-3:** Niveles de concentración

Concentración inicial (ppm)	Mínimo	Máximo	Rango	Sesgo Estandarizado	Curtosis Estandarizada
15	93.8	95.0	1.2		
20	92.7	94.9	2.2		
30	90.2	91.75	1.55		
Total	90.2	95.0	4.8	-0.524372	-0.458356

Realizado por: Paredes, G; Vacacela, E. 2022.

Esta tabla 9-3 y 10-3 muestran diferentes estadísticos de Índice de remoción para cada uno de los 3 niveles de Concentración inicial (ppm). La intención principal del análisis de varianza de un factor es la de comparar las medias de los diferentes niveles, enlistados aquí bajo la columna de Promedio. Selecciones Gráfica de Medias de la lista de Opciones Gráficas para mostrar gráficamente las medias.



**Gráfico 11-3:** Niveles de concentración. Índice de remoción vs concentración inicial (ppm)

Realizado por: Paredes, G; Vacacela, E. 2022.

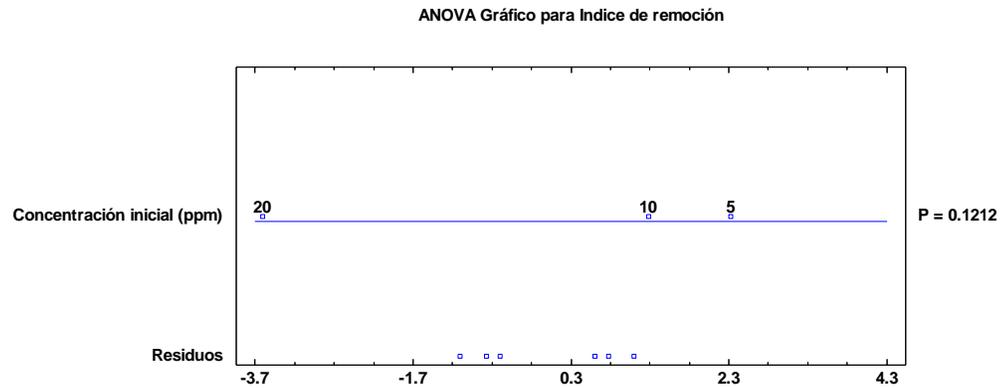
#### 3.1.7.4. Método ANOVA para el índice

**Tabla 11-3:** ANOVA para Índice de remoción por Concentración inicial (ppm)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	13.3808	2	6.69042	4.62	0.1212
Intra grupos	4.34125	3	1.44708		
Total (Corr.)	17.7221	5			

Realizado por: Paredes, G; Vacacela, E. 2022.

La tabla 11-3 ANOVA analiza la varianza del índice de remoción en dos componentes que son: un componente entre grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón F dio en este caso 4.62338, es el cociente entre el estimado entre grupos y el estimado dentro de grupos. Dado que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0,05 es decir que no existe una gran diferencia estadísticamente entre la media de índice de remoción y el nivel de concentración inicial (ppm), tomando en cuenta que se tiene una confianza de 95.0%.



**Gráfico 12-3:** Índice de remoción de la concentración inicial y residuos

**Realizado Por:** Paredes, G; Vacacela, E. 2022.

## CONCLUSIONES

- Las nanopartículas de hematita fueron sintetizadas por el método de precipitación controlada y caracterizadas por tres tipos de métodos ópticos, al ser aplicadas en procesos de remoción de mercurio permitió obtener niveles de hasta un 88.5%, considerándose un proceso óptimo.
- La revisión del estado del arte relacionada con la síntesis de nanopartículas de óxido de hierro (hematita), permitió identificar el método de precipitación controlada, siendo el método más adecuado, por permitir contralar las etapas del proceso de síntesis por medio de sus variables generando un sustrato óptimo.
- El método químico determinado para la síntesis de hematita fue el proceso de precipitación controlada. Se utilizó como agente precursor el cloruro férrico hexahidratado ( $\text{Cl}_3\text{Fe} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) y como precipitante el hidróxido de sodio (NaOH), logrando formar una solución coloidal, la cual luego de pasar por la etapa de lavado y secado permitió obtener nanopartículas de hematita con tamaño promedio de 55 nm.
- Mediante el uso de técnicas ópticas como Microscopia electrónica de barrido (SEM) con la cual se pudo visualizar características morfológicas y posteriormente determinar sus tamaños que oscilan entre 50 y 60 nm; la espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FT/IR) con la cual se identificó las bandas características de este tipo de nanopartículas y, finalmente la espectroscopia por luz ultravioleta (UV-Vis) se pudo observar que las NPHs absorbe luz aproximadamente en la banda de 300 a 550 nm, correspondiente a la región UV-Vis, donde se realiza la absorción de luz azul y violeta., cuyo espectro determinó los picos característicos de las mismas.
- Con la aplicación del nitrato de mercurio se generó una muestra madre, en base a la cual se pudo obtener tres muestras con diferentes concentraciones, de 15, 20 y 30 ppm preparadas a nivel de laboratorio. Estas muestras posteriormente fueron puestas en contacto con las nanopartículas para los análisis de remoción.
- El proceso de adsorción de mercurio a partir de las nanopartículas de hematita permitió obtener niveles que están dentro de 80 y 90% de remoción, con lo cual se puede decir que la remoción de mercurio a partir de este material es un proceso óptimo y, a futuro y con ciertas modificaciones se puede aplicar para otros estudios, logrando llegar a niveles mucho más altos de remoción.

## **RECOMENDACIONES**

- Continuar con la investigación para llegar a implementar en procesos que ayuden a la remoción de metales pesados y diferentes aplicaciones.
- Para la síntesis de nanopartículas se recomienda tomar muy en cuenta los diferentes factores que intervienen, como son la temperatura, el lavado y el tiempo de calcinación para obtener un buen producto.
- Cuando se trabaja con medidas muy pequeñas que son nanométricas hay que tener mucho cuidado en el pesaje y medida de los reactivos que se va a utilizar ya que las mínimas alteraciones pueden afectar en los resultados finales.
- Se debe verificar los equipos que estén correctamente calibrados para que de esa manera las medidas que arrojen sean más confiables y tomar más importancia cuando se utilicen equipos que trabajen unidades muy pequeñas.

## BIBLIOGRAFÍA

**AGUAIZA, S. y ALDÁS, O.**, Formación de Hematita a Partir de Desechos Sólidos Producidos en la Extracción de Oro , Mediante Tratamientos Térmicos. *Revista Politécnica* [en línea], 2014. vol. 33, no. 2, pp. 1. Disponible en: [https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista\\_politecnica2/article/view/90](https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/90).

**BERRONES, María de Los Ángeles y LASCANO, Luis**, Síntesis de nanopartículas de hematita por el método de precipitación controlada. *Revista Politécnica* [en línea], 2008. vol. 30, no. 1, pp. 91-95. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/5547>.

**CASAS, Isabel, GÓMEZ, Elidier, RODRÍGUEZ, Lina, GIRÓN, Sandra y MATEUS, Julio**, Hacia un plan nacional para el control de los efectos del mercurio en la salud en Colombia. *Biomedica* [en línea], 2015. vol. 35, no. 2, pp. 31. ISSN 0120-4157. DOI <https://doi.org/10.7705/biomedica.v35i0.2458>. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/843/84340725004.pdf>.

**CHAMÉ, Karely Fernández**, *Síntesis y Caracterización de Nanopartículas Magnéticas* [en línea]. S.l.: 2013. s.n. Disponible en: <https://cio.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1002/559/1/15611.pdf>.

**CLAVIJO, Josué**, Caracterización de materiales a través de medidas de microscopía electrónica de barrido (SEM). *Elementos* [en línea], 2013. vol. 3, no. 3, pp. 133-134. ISSN 2248-5252. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5085347>.

**DEL RIO, Mateu**, *Aplicación de nanopartículas magnéticas de hierro a la eliminación de mercurio del agua* [en línea]. S.l.: 2013. Universitat de les Illes Balears. Disponible en: <https://docplayer.es/9526511-Aplicacion-de-nanoparticulas-magneticas-de-hierro-a-la-eliminacion-de-mercurio-del-agua.html>.

**DURÁN, Juan**, *Diagnóstico de la contaminación por mercurio en aguas y sedimentos de ríos que reciben efluentes de la minería de oro en los sectores de Nambija, Ponce Enríquez y Portovelo* [en línea]. S.l.: 2008. Universidad de las Fuerzas Armadas de Ecuador. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/785>.

**GREGORIO, Karla, RIVERA, Jorge, SAADE, Hened, LÓPEZ, Raúl, MARTÍNEZ, José y ILINA, Anna**, *Las nanopartículas magnéticas y sus múltiples aplicaciones* [en línea]. S.l.: 2012. s.n. Disponible en: [https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/494/1/Las nanopartículas magnéticas y sus múltiples aplicaciones.pdf](https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/494/1/Las_nanopartículas_magnéticas_y_sus_múltiples_aplicaciones.pdf).

**HASANY, Syed, AHMED, Iqbal, RAJAN, Jose y REHMAN, A.**, Systematic Review of the Preparation Techniques of Iron Oxide Magnetic Nanoparticles. *Nanoscience and Nanotechnology* [en línea], 2012. vol. 2, no. 6, pp. 151-152. DOI 10.5923/j.nm.20120206.01. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/236159167\\_Systematic\\_Review\\_of\\_the\\_Preparation\\_Techniques\\_of\\_Iron\\_Oxide\\_Magnetic\\_Nanoparticles](https://www.researchgate.net/publication/236159167_Systematic_Review_of_the_Preparation_Techniques_of_Iron_Oxide_Magnetic_Nanoparticles).

**MARIMON, Wilfredo**, *Ingeniería de Nanopartículas Magnéticas para la remoción de metales pesados en aguas*. [en línea]. S.l.: 2018. Pontificia Universidad Javeriana. Disponible en: <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/39649>.

**MATA, M.M., GUERRERO, C.I., ROJAS, M., DELGADO, R.J., GONZÁLEZ, C.A., SÁNCHEZ, V., PÉREZ, D.G. y VÁZQUEZ, G.J.**, Componentes Principales mediante Espectroscopia FTIR como Técnica de Caracterización Innovadora durante la Diferenciación de Células Madre Pluripotentes a Células Pancreáticas. *Revista Mexicana de Ingeniería Biomedica* [en línea], 2017. vol. 38, no. 1, pp. 227. DOI 10.17488/RMIB.38.1.17. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/rmib/v38n1/2395-9126-rmib-38-01-225.pdf>.

**MEIJER, J.M. y ROSSI, L.**, Preparation, properties, and applications of magnetic hematite microparticles. *Soft Matter* [en línea], 2021. vol. 17, no. 9, pp. 2. ISSN 17446848. DOI 10.1039/d0sm01977a. Disponible en: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2021/sm/d0sm01977a>.

**MORALES, Jimmy Alexander**, Synthesis of Hematite  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nano Powders by the controlled precipitation method. *Ciencia en Desarrollo* [en línea], 2016. vol. 8, no. 1, pp. 2-3. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/cide/v8n1/0121-7488-cide-8-01-00099.pdf>.

**NAVA, Lizbeth**, *Obtención y caracterización de hematita (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) por precipitación a partir de sulfatos* [en línea]. S.l.: 2016. Instituto Politécnico Nacional. Disponible en: [https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/24491/1/Obtención y caracterización de Hematita %28α-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>%29 por precipitación a partir de sulfatos..pdf](https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/24491/1/Obtención%20y%20caracterización%20de%20Hematita%20por%20precipitación%20a%20partir%20de%20sulfatos..pdf).

**NOREÑA, Angela**, *Uso de óxido de hierro y colorantes minerales para la coloración de ladrillos de arcilla* [en línea]. S.l.: 2009. Universidad Libre Seccional Pereira. Disponible en: <https://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/18568>.

**PABÓN, S., BENÍTEZ, R., SARRIA-VILLA, R. y GALLO, A.**, Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión. *Entre Ciencia e Ingeniería* [en línea], 2020. vol. 14, no. 27, pp. 9-10. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/ecei/v14n27/1909-8367-ecei-14-27-9.pdf>.

**PALMA, Alex y PEÑAFIEL, Sofia**, *Synthesis and characterization of hematite electrodes: preliminary results in the photoelectrochemical conversion of glycerol into value added products* [en línea]. S.l.: 2020. Universidad de Investigación de Tecnología Experimental Yachay. Disponible en: <https://repositorio.yachaytech.edu.ec/handle/123456789/158?locale=es>.

**PLAZAS, Pedro y GARCIA, Andrea**, *Utilización de nanopartículas magnéticas para eliminar los metales pesados en el agua tratada por la PTAR el Salitre*. [en línea]. S.l.: 2020. Universidad Católica de Colombia. Disponible en: <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/25160?locale=es>.

**RESABALA, Carola**, 2008. Inventario Nacional De Emisiones De Mercurio Y Productos Que Contienen Mercurio. [en línea]. Ecuador: Disponible en: [https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/11685/1/ECUADOR\\_Hg\\_Inventory\\_FINAL\\_report\\_SPANISH\\_Aug\\_2008.pdf](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/11685/1/ECUADOR_Hg_Inventory_FINAL_report_SPANISH_Aug_2008.pdf).

**REZA, Dabiriana, WANG, Wei-Min, LOZA, David y HWU, En-Te**, Sistema de microscopía de fuerza atómica basada en una unidad de lectura óptica digital y un escáner-zumbador. *Revista Mexicana De Física* [en línea], 2015. vol. 61, no. 4, pp. 238-239. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/570/57039234001.pdf>.

**RODRÍGUEZ, Dunia**, Intoxicación ocupacional por metales pesados. *Medisan* [en línea], 2017. vol. 21, no. 12, pp. 1-6. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1029-30192017001200012](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1029-30192017001200012).

**RODRÍGUEZ, Jorge**, Ceramic powdes synthesis to precipitation method. *Boletin de la Sociedad Espanola de Cerámica y Vidrio* [en línea], 2001. vol. 40, no. 3, pp. 175. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/287522053\\_Ceramic\\_powdes\\_synthesis\\_to\\_precipitation\\_method](https://www.researchgate.net/publication/287522053_Ceramic_powdes_synthesis_to_precipitation_method).

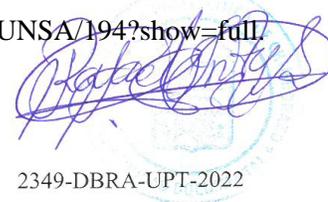
**SÁNCHEZ, Bernardo Godoy**, 2016. Espectroscopia Ultravioleta - Visible. *docplayer.es* [en línea]. Disponible en: <https://docplayer.es/14053228-Espectroscopia-uv-visible.html>.

**SILVA, H.S., SANTÁNGELO, J..., RUIZ, S.V., GRANADOS, D.L. y DEIANA, A.C.**, Adsorción de Mercurio En Solución Sobre Carbones Activados Sulfurizados. *Instituto de Ingeniería Química* [en línea], 2008. pp. 2. Disponible en: <https://docplayer.es/212610387-Adsorcion-de-mercurio-en-solucion-sobre-carbones-activados-sulfurizados-silva-h-s-santangelo-j-m-ruiz-s-v-granados-d-l-deiana-a-c.html>.

**VELÁSQUEZ, Wilmer, DÍAZ, Brayan y GUTIÉRREZ, Sharon**, *Aplicación de espectrometría infrarroja por transformada de fourier (Ftir) para la caracterización de la firma espectral de morteros utilizados en la construcción* [en línea]. S.l.: 2018. Universidad Cooperativa de Colombia. Disponible en: [https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/6831/1/2018\\_aplicacion\\_espectrometría\\_infrarroja.pdf](https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/6831/1/2018_aplicacion_espectrometría_infrarroja.pdf).

**WARR, Laurence**, IMA–CNMNC approved mineral symbols. *Mineralogical Magazine* [en línea], 2021. vol. 85, pp. 291. ISSN 0026-461X. DOI 10.1180/mgm.2021.43. Disponible en: [https://rruff.info/rruff\\_1.0/uploads/MM85\\_291.pdf](https://rruff.info/rruff_1.0/uploads/MM85_291.pdf).

**ZEVALLOS, Pablo y FLORES, Diego**, *Síntesis y Caracterización de Pigmentos de Hematita Obtenidos a Partir de Cascarilla de Laminación* [en línea]. S.l.: 2015. Universidad Nacional de San Agustín Arequipa. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/194?show=full>.



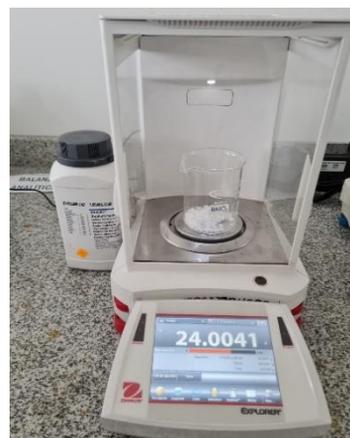
2349-DBRA-UPT-2022

**ANEXOS**

**ANEXO A: SINTETIZAR Y CARACTERIZAR HEMATITA (PESAJE)**



a)



b)

<b>NOTAS:</b>	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</b>	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>	<b>LABORATORIO DE ANÁLISIS INSTRUMENTAL</b>		
a. Pesaje del cloruro férrico hexahidratado. b. Pesaje del hidróxido de sodio.					
			1	1:1	00/00/2022

**ANEXO B: EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE LA SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE HEMATITA I**



c)



d)



e)

<b>NOTAS:</b>	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</b>	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>	<b>LABORATORIO DE ANÁLISIS INSTRUMENTAL</b>			
c. Preparación del equipo.			<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar	<b>FACULTAD DE CIENCIAS</b>	<b>LÁMINA</b>	<b>ESCALA</b>
d. Soluciones de hidróxido de sodio y cloruro férrico hexahidratado.	<b>CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA</b>	2			1:1	00/00/2022
e. Medición de pH.	<b>REALIZADO POR:</b>					
		Galo Paredes y Erick Vacacela				

**ANEXO C: EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE LA SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE HEMATITA II**



f)



g)



h)

<b>NOTAS:</b>	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</b>	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>	<b>LABORATORIO DE ANÁLISIS INSTRUMENTAL</b>			
f. Hematita secada.			<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar	<b>FACULTAD DE CIENCIAS</b>	<b>LÁMINA</b>	<b>ESCALA</b>
g. Calentamiento de la mezcla de soluciones.	<b>CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA</b>	3			1:1	00/00/2022
h. Preparación de tubos para la centrifugadora.	<b>REALIZADO POR:</b> Galo Paredes y Erick Vacacela					

**ANEXO D: EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE LA SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE HEMATITA III**



i)



j)



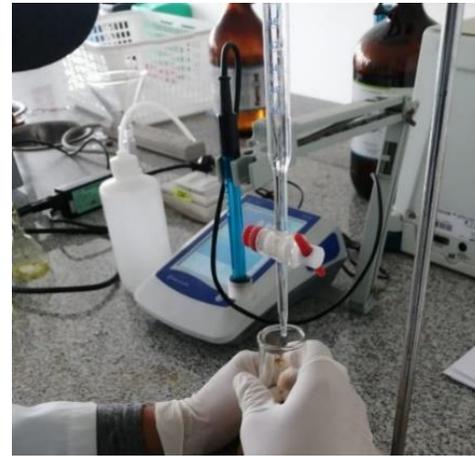
k)

<b>NOTAS:</b>	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</b>	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>	<b>LABORATORIO DE ANÁLISIS INSTRUMENTAL</b>			
i. Ensayos para métodos de adsorción.			<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar	<b>FACULTAD DE CIENCIAS</b>	<b>LÁMINA</b>	<b>ESCALA</b>
j. Hematita en estado acuoso.	<b>CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA</b>	4			1:1	00/00/2022
k. trituración de hematita.	<b>REALIZADO POR:</b>					
		Galo Paredes y Erick Vacacela				

**ANEXO E: EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE LA SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE HEMATITA IV**



**l)**



**m)**

<b>NOTAS:</b>	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</b> <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b> <b>CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA</b> REALIZADO POR: Galo Paredes y Erick Vacacela	<b>LABORATORIO DE ANÁLISIS INSTRUMENTAL</b>		
l. Espectrómetro de adsorción atómica. m. Medición de pH.			<b>LÁMINA</b>	<b>ESCALA</b>	<b>FECHA</b>
	1		1:1	00/00/2022	

**ANEXO F: MEDIA DEL TAMAÑO DE LAS NANOPARTÍCULAS REALIZADAS EN IMAGEJ**

Área	Mean	Min	Max	Angle	Length	Área nm
1	0.004	198.382	132	243.372	-62.892	1.011
2	0.004	188.313	148.519	233.122	-47.521	1.206
3	0.004	220.135	174.854	253.445	31.608	1.145
4	0.003	199.033	117.66	239.944	-26.281	0.968
5	0.001	107.536	92.66	121.16	-138.652	0.357
6	4.08E-04	102.953	85.548	112.645	-95.528	0.111
7	7.27E-04	139.839	115.337	163.571	-52.306	0.199
8	6.76E-04	87.108	76.788	101.248	-159.829	0.186
9	0.002	158.411	120	192.667	-23.575	0.429
10	0.002	125.947	103.154	145.933	-41.009	0.653
11	8.29E-04	120.439	101.82	140.125	-36.158	0.23
12	0.001	124.825	76	159.163	-51.34	0.366

13	0.001	97.527	74.106	108.017	-32.005	0.337
14	8.29E-04	104.841	97.055	115.656	-41.186	0.228
15	8.04E-04	125.424	94.613	154.097	-175.389	0.222
16	0.001	225.22	196	250.913	-40.84	0.279
17	0.001	97.259	83	113.801	-29.745	0.346
18	3.19E-04	205.343	181	237	-48.366	0.086
19	5.10E-04	204.641	169.256	249.615	-91.469	0.139
20	7.27E-04	124.934	93	150.735	-10.305	0.2
21	6.12E-04	97.926	71.892	113.217	23.839	0.168
22	0.002	122.861	100.731	149.692	-17.038	0.695
23	6.89E-04	104.584	89.687	120.456	-47.291	0.19
24	0.005	163.009	104.774	244.279	63.869	1.265
25	0.002	207.939	176.549	243.512	-111.975	0.659

<b>NOTAS:</b>	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</b> <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b> <b>CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA</b> REALIZADO POR: Galo Paredes y Erick Vacacela	<b>PROGRAMA IMAGEJ</b>		
Medición de tamaño de las nanopartículas con IMAGEJ.			<b>LÁMINA</b>	<b>ESCALA</b>	<b>FECHA</b>
			6	1:1	00/00/2022

**ANEXO G: IMÁGENES PROPORCIONADAS POR EL EQUIPO DE ABSORCIÓN DE METALES, SOBRE LA REMOCIÓN DE HG**

**SOLAAR AA Report**

Nombre Operador: Lab. Investigación

Fecha: 27/5/2022 11:06:04

Fichero Result.: C:\SOLAAR\MIDATA\MERCURIO\IGALOPAREDES-2.SLR

Lab. Investigación: DESKTOP-0SSLSK6

10ppm-30min 10:55:10 : Borrado

**Result. Disolución - Hg**

ID Muestra	Señal Abs	Rsd %	Conc. µg/L	Conc. Corregida µg/L
Hg Blanco	-0.000		0.0000	
Hg Estándar 1	0.024		10.0000	
Hg Estándar 2	0.053		20.0000	
Hg Estándar 3	0.090		30.0000	
Hg Estándar 4	0.131		40.0000	
Hg 5ppm-10min	0.031		11.5538	23107.50
Hg 5ppm-30min	0.031		11.4726	22945.20
Hg 10ppm-10min	0.047		16.7903	33580.65
Hg-ID Muestra 4	0.069		24.0102	48020.43
Hg-10ppm-30min	0.077		26.5811	26.5811
Hg 20ppm-30min	0.081		28.1379	56275.74
Hg 20ppm-10min	0.081		28.1370	56273.92
Hg 10ppm-30min	0.050		17.6433	35286.63

a)

**Registro de trazabilidad Elemento - Hg**

No cambios registr. para este elemento

**Result. Disolución - Hg**

ID Muestra	Señal Abs	Rsd %	Conc. µg/L	Conc. Corregida µg/L
Hg Blanco	-0.001		0.0000	
Hg Estándar 1	0.030		10.0000	
Hg Estándar 2	0.071		20.0000	
Hg Estándar 3	0.111		30.0000	
Hg Estándar 4	0.166		40.0000	
Hg 2MINUTOS	0.145		36.7640	367640.4
Hg 4MINUTOS	0.132		33.5768	335767.8
Hg 7MINUTOS	0.134		34.0230	340229.7
Hg 10MINUTOS	0.135		34.2606	342606.2
Hg 15MINUTOS	0.132		33.5975	335974.7
Hg 20MINUTOS	0.125		32.0622	320622.2
Hg 25MINUTOS	0.132		33.5959	335959.0
Hg 30MINUTOS	0.139		35.2357	352356.5
Hg 40MINUTOS	0.131		33.3101	33.3101
Hg 60MINUTOS	0.151		38.0888	380888.2
Hg 90MINUTOS	0.124		31.6610	316609.9
Hg 120MINUTOS	0.128		32.6042	326041.6

b)

NOTAS:  Registro de trazabilidad del elemento Hg.	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</b> <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b> <b>CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA</b> REALIZADO POR: Galo Paredes y Erick Vacacela	<b>LABORATORIO DE ANÁLISIS INSTRUMENTAL</b>		
			<b>LÁMINA</b>	<b>ESCALA</b>	<b>FECHA</b>
			7	1:1	00/00/2022



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: 09 / 03 / 2023

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> Galo Alexander Paredes Paredes  Erick Javier Vacacela Gonzalez
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> Ciencias
<b>Carrera:</b> Ingeniería Química
<b>Título a optar:</b> Ingeniero Químico
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.

2349-DBRA-UPT-2022