



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA FÍSICA

**GENERACIÓN DE UN FILTRO BASADO EN NANOPARTÍCULAS
DE ÓXIDO DE HIERRO (MAGNETITA) PARA LA REMOCIÓN
DE MERCURIO EN AGUAS CONTAMINADAS**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

FÍSICO

AUTORA: CYNTHIA ESMERALDA INTRIAGO GUZMÁN

DIRECTOR: ING. HUGO JAVIER SÁNCHEZ MORENO, MSc

Riobamba – Ecuador

2024

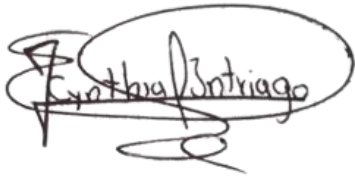
© 2023, Cynthia Esmeralda Intriago Guzmán

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.

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

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

Riobamba, 05 de enero de 2024

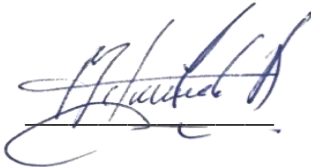


A handwritten signature in black ink, enclosed within a hand-drawn oval. The signature is written in a cursive style and appears to read 'Cynthia Intriago Guzmán'. There are some additional scribbles below the main signature.

Cynthia Esmeralda Intriago Guzmán

180576292-7

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA FÍSICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; tipo: Proyecto de Investigación, **GENERACIÓN DE UN FILTRO BASADO EN NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDO DE HIERRO (MAGNETITA) PARA LA REMOCIÓN DE MERCURIO EN AGUAS CONTAMINADAS**, realizado por la señorita: **CYNTHIA ESMERALDA INTRIAGO GUZMÁN**, 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
Dr. Arquímedes Xavier Haro Velasteguí PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2024-01-05
Ing. Hugo Javier Sánchez Moreno, MSc DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-01-05
Biof. Diana Carolina Coello Fiallos, PhD ASESORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-01-05

DEDICATORIA

A mis padres quienes han sido el pilar fundamental para poder llevar a cabo mis estudios, especialmente a mi madre quien ha sido la encargada de mi formación como persona y de quien he aprendido todos los valores que conforman mi persona, también dedico este trabajo a mis profesores y compañeros que compartieron conmigo sus conocimientos a lo largo de toda la carrera, con mucha gratitud también se lo dedico a quien fue mi docente, Biof. Rosa Ormaza, quien dio paso y origen a este proyecto, además de haber sido muy constante durante el desarrollo de este.

Esmeralda

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento especial a mi familia quienes siempre han tenido como prioridad el estudio y nos han permitido culminarlo gracias a sus esfuerzos, agradezco principalmente a mi madre que ha sido quien me ha apoyado siempre y quien día con día me ha mantenido fuerte y luchando por mis sueños.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por abrirme sus puertas y darme la oportunidad de obtener una profesión

A mis docentes y amigos que me ayudaron a crecer como persona y me apoyaron no solo reforzando conocimientos sino también en el ámbito personal y emocional para convertirme en una mejor persona y luchar por mis propósitos.

Esmeralda

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	xii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1.	MARCO TEÓRICO	4
1.1.	Objetivos de la investigación	4
1.1.1.	<i>Objetivo general</i>	4
1.1.2.	<i>Objetivos específicos</i>	4
1.2.	Antecedentes.....	4
1.3.	Bases teóricas	7
1.3.1.	<i>Mercurio (Hg)</i>	7
1.3.2.	<i>Nanomateriales</i>	7
1.3.2.1.	<i>Nanopartículas (NPs)</i>	8
1.3.3.	<i>Hierro (Fe)</i>	8
1.3.3.1.	<i>Óxido de hierro</i>	9
1.3.4.	<i>Magnetita (Fe₃O₄)</i>	9
1.3.5.	<i>Síntesis de nanopartículas magnéticas (NPMs)</i>	10
1.3.5.1.	<i>Método de coprecipitación química</i>	11
1.3.6.	<i>Nanotecnología en el tratamiento de aguas.</i>	11
1.3.7.	<i>Adsorción</i>	12
1.3.8.	<i>Fibra sintética</i>	12

CAPÍTULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO	14
2.1.	Tipo y diseño de la investigación	14
2.1.1.	<i>Método experimental</i>	14
2.2.	Enfoque de la investigación	14
2.3.	Identificación de variables	14
2.3.1.	<i>Variables independientes</i>	14
2.3.2.	<i>Variables dependientes</i>	15
2.4.	Operacionalización de variables	16
2.4.1.	<i>Operacionalización de variables</i>	16
2.5.	Diseño de la investigación	17
2.5.1.	<i>Diseño del tratamiento experimental</i>	17
2.6.	Unidad de análisis	17
2.7.	Población de estudio	17
2.8.	Tamaño de la muestra	17
2.9.	Localización de la investigación	18
2.10.	Reactivos, equipos y materiales necesarios para el desarrollo de la investigación	18
2.10.1.	<i>Reactivos</i>	18
2.10.2.	<i>Equipos</i>	18
2.10.3.	<i>Materiales</i>	20
2.10.4.	<i>Metodología estadística</i>	22
2.10.4.1.	<i>Hipótesis Nula</i>	22
2.10.4.2.	<i>Hipótesis Alternativa</i>	22
2.10.5.	<i>Metodología experimental</i>	22
2.10.5.1.	<i>Esterilización de materiales</i>	22
2.10.5.2.	<i>Hidrolización de la fibra sintética</i>	23
2.10.5.3.	<i>Síntesis de NPs de óxido de hierro (magnetita) e impregnación en las fibras sintéticas</i>	27

2.10.5.4.	<i>Caracterización de las NPMs (magnetita) y de la fibra sintética con magnetita impregnada</i>	30
2.10.5.5.	<i>Evaluación de la adsorción de Hg</i>	31
2.10.5.6.	<i>Análisis de la concentración de Hg</i>	34

CAPÍTULO III

3.	MARCO DE INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	36
3.1.	Resultados de la síntesis de NPMs (magnetita)	36
3.1.1.	<i>Espectrofotometría Infrarroja (FTIR)</i>	36
3.1.2.	<i>SEM de fibras sintéticas con magnetita</i>	38
3.2.	Evaluación de la adsorción de Hg	41
3.3.	Análisis estadístico	47
3.3.1.	<i>Supuesto de Normalidad</i>	47
3.3.2.	<i>Supuesto de Independencia</i>	48
3.3.3.	<i>Supuesto de Igualdad de Varianzas (homocedasticidad)</i>	48
3.4.	Pruebas Post hoc (Comparaciones Múltiples)	50

CAPÍTULO IV

4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	52
4.1.	Conclusiones	52
4.2.	Recomendaciones	53

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Características de la Fe_3O_4 natural	9
Tabla 2-2: Operacionalización de variables	16
Tabla 2-3: Reactivos utilizados en la síntesis e impregnación de NPMs (Fe_3O_4) en las fibras sintéticas	18
Tabla 2-4: Equipos utilizados en la síntesis e impregnación de NPMs (Fe_3O_4) en las fibras sintéticas	19
Tabla 2-5: Materiales utilizados en la síntesis e impregnación de NPMs (Fe_3O_4) en las fibras sintéticas	20
Tabla 2-6: Dimensiones y peso de las fibras A	23
Tabla 2-7: Dimensiones y pesos de las fibras B	23
Tabla 2-8: Valores de pH, conductividad y temperatura de cada fibra con la solución de NaOH	25
Tabla 2-9: Valores obtenidos en cada sonicación de la fibra A	26
Tabla 2-10: Valores obtenidos en la sonicación de la fibra B.....	27
Tabla 2-11: Valores de la fibra A, tratamiento 1	32
Tabla 2-12: Valores de la fibra A, tratamiento 2	32
Tabla 2-13: Valores de la fibra A, tratamiento 3	33
Tabla 2-14: Valores de la fibra B, tratamiento 1	33
Tabla 2-15: Valores de la fibra B, tratamiento 2	33
Tabla 2-16: Valores de la fibra B, tratamiento 3	34
Tabla 3-17: Distribución de tamaños de partículas	41
Tabla 3-18: Adsorción de Hg de FA1	42
Tabla 3-19: Adsorción de Hg de FA2	42
Tabla 3-20: Adsorción de Hg de FA3	43
Tabla 3-21: Adsorción de Hg de FB1.....	44
Tabla 3-22: Adsorción de Hg de FB2.....	44
Tabla 3-23: Adsorción de Hg de FB3.....	45
Tabla 3-24: Porcentajes de adsorción de los 6 tratamientos	46
Tabla 3-25: Supuesto de Normalidad para el tipo de fibra	47
Tabla 3-26: Supuesto de Independencia para el tipo de fibra con NPs	48
Tabla 3-27: Factores inter-sujetos	48
Tabla 3-28: Supuesto de igualdad de varianza	49
Tabla 3-29: Análisis ANOVA para factores inter-sujetos.	50

Tabla 3-30: Prueba de Tukey para las comparaciones múltiples	51
---	----

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-1: Estructura de espinela inversa de Fe_3O_4	10
Ilustración 2-2: Diseño experimental de la investigación	17
Ilustración 2-3: Toma de pesos de las planchas correspondientes a cada tipo de fibra	23
Ilustración 2-4: Solución 1 molar de NaOH	24
Ilustración 2-5: Calentamiento de fibras	25
Ilustración 2-6: Lavados para reducir el pH de las fibras.....	26
Ilustración 2-7: Pesos de cada reactivo utilizado para la síntesis de Fe_3O_4	27
Ilustración 2-8: Preparación y división de las soluciones para ambas fibras	28
Ilustración 2-9: Proceso de síntesis de magnetita e impregnación de NPMs en fibras sintéticas	29
Ilustración 2-10: Peso de las fibras A y B con magnetita	29
Ilustración 2-11: Proceso de remoción de Hg en agua contaminada.....	32
Ilustración 2-12: Preparación del equipo de EAA para el análisis de remoción de Hg	35
Ilustración 3-13: Espectro IR de la Fe_3O_4 y la fibra A con Fe_3O_4	37
Ilustración 3-14: Espectro IR de la Fe_3O_4 y la fibra B con Fe_3O_4	38
Ilustración 3-15: Micrografías SEM de la fibra A con Fe_3O_4 a distintos aumentos (A, B, y C) y (D) Fe_3O_4 sólida.....	39
Ilustración 3-16: Micrografía SEM de NPs de Fe_3O_4	40
Ilustración 3-17: Comparación de resultados entre FA1, FA2, y FA3	43
Ilustración 3-18: Comparación entre resultados de FB1, FB2, y FB3.....	45
Ilustración 3-19: Comparación de resultados obtenidos para cada tratamiento	46

ÍNDICE DE ANEXOS

**ANEXO A: DATOS DESCRIPTIVOS CORRESPONDIENTES AL TIPO DE FIBRA A Y B
PARA LA OBTENCIÓN DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

RESUMEN

El ser humano ha hecho un uso excesivo de los recursos hídricos, además de contaminarlos, por ejemplo, la actividad minera ha provocado que el agua posea altos niveles de concentración de metales pesados, por lo tanto, el objetivo de la presente investigación fue generar filtros con magnetita (Fe_3O_4) impregnada para aplicarlo a la remoción de mercurio en aguas contaminadas. Para llevar a cabo este proceso, se realizó la hidrolización de las fibras sintéticas que actuaron como filtros, mismos que fueron agregados durante la síntesis de Fe_3O_4 creadas a partir del método de coprecipitación química. Las nanopartículas, y filtros fueron caracterizados mediante técnicas ópticas; con ayuda de la Espectrofotometría Infrarroja, se pudo evidenciar las bandas de absorción características de los grupos funcionales más comunes en la Fe_3O_4 , y con el Microscopio Electrónico de Barrido se obtuvo información sobre la morfología, tamaño e impregnación de la Fe_3O_4 sobre las fibras. La determinación del nivel de adsorción de Hg que presentaron los filtros con NPMs se llevó a cabo utilizando el equipo de Espectrofotometría de Absorción Atómica de la cantidad de Hg presente en el agua después de realizar los tratamientos. Se utilizaron dos tipos de fibras sintéticas como filtros (A y B) y por cada una se realizaron 3 pruebas, obteniendo en total 6 tratamientos; en cada tratamiento se tomaron 4 tiempos de contacto, en intervalos de 15 minutos. Se realizó un análisis estadístico ANOVA de inter-sujetos, del cual se concluyó que el tipo de fibra con NPMs y el tiempo de contacto influyeron en el porcentaje de adsorción de Hg. Finalmente, se determinó que el mejor resultado en la aplicación de filtros sintéticos con NPMs correspondió a la fibra A, más específicamente el tercer tratamiento, mismo que obtuvo un porcentaje de remoción del 95.96 % al minuto 30 de contacto.

Palabras clave: <NANOPARTÍCULAS MAGNÉTICAS (NPMs)>, <MAGNETITA>, <FIBRA SINTÉTICA>, <MERCURIO (Hg)>, <ADSORCIÓN>, <SÍNTESIS>.

0148-DBRA-UPT-2024

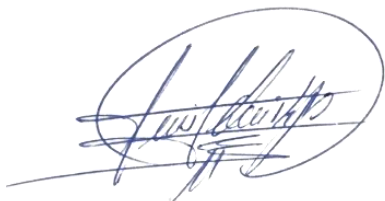


ABSTRACT

Human beings have made excessive use of water resources. In addition to contaminating them, for example, mining activity has caused water to have high levels of concentration of heavy metals. Therefore, the objective of this research was to generate filters with magnetite (Fe_3O_4) impregnated to apply it to the removal of mercury in contaminated waters. The hydrolyzation of the synthetic fibers that acted as filters was carried out to carry out this process, which were added during the synthesis of Fe_3O_4 created from the chemical coprecipitation method. The nanoparticles and filters were characterized using optical techniques. With the help of Infrared Spectrophotometry, the characteristic adsorption bands of the most common functional groups in Fe_3O_4 were evident, and with the Scanning Electron Microscope the information was obtained on the morphology, size and impregnation of Fe_3O_4 on the fibers. The determination of the level of Hg adsorption presented by the filters with MNPs was carried out using the Atomic Adsorption Spectrophotometry equipment of the amount of Hg present in the water after carrying out the treatments. Two types of synthetic fibers were used as filters (A and B) and 3 tests were carried out for each one, obtaining a total of 6 treatments. In each treatment, 4 contact times were taken at 15-minute intervals. A between-subjects ANOVA statistical analysis was carried out, from which it was concluded that the type of fiber with MNPs and the contact time influenced the percentage of Hg adsorption. Finally, it was determined that the best result in the application of synthetic filters with MNPs corresponded to fiber A, more specifically the third treatment, which obtained a removal percentage of 95.96% at minute 30 of contact.

Keywords: <MAGNETIC NANOPARTICLES (MNPs)>, <MAGNETITE>, <SYNTHETIC FIBER>, <MERCURY (Hg)>, <ADSORPTION>, <SYNTHESIS>.

0148-DBRA-UPT-2024



Lic. Luis Armando Quishpe Hipo, Mgs.

C.I. 0102801016

DOCENTE INGLÉS CARRERA DE FÍSICA

INTRODUCCIÓN

Uno de los elementos más importantes que debemos considerar es el agua, misma que para su consumo por los seres humanos proviene en su mayoría de fuentes naturales. Sin embargo, su uso no se lo realiza de forma adecuada, por lo que se generan diversos problemas de contaminación (García & González, 2021, p.16); uno de estos involucra el uso desmesurado de los recursos hídricos, además de que se presenta una gran contaminación durante distintas actividades (Robles et al., 2017, p. 431), dentro de este grupo de procesos contaminantes se encuentra la actividad minera, la cual produce que las aguas presenten altos niveles de concentración de metales pesados como el plomo (Pb), arsénico (As), mercurio (Hg), entre otros. En este contexto, se considera importante darle un debido tratamiento para mejorar su calidad (García & González, 2021, p.16).

Por otro lado, en los últimos años los metales pesados, se han esparcido alrededor del mundo por diversos factores como el aumento de la población y, la expansión agrícola e industrial (Borja J. et al., 2020, p. 341). La importancia de crear una intervención en estos materiales radica en su alta toxicidad, ya que, a diferencia de los contaminantes orgánicos, no pueden ser biodegradados en componentes menos tóxicos para la salud, sino más bien tienden a acumularse en organismos vivos y por consecuencia causa graves problemas a la salud (Marimon, 2018, p.2).

Un caso particular es el Hg, elemento que se encuentra dentro de los metales pesados y es altamente peligroso cuando se encuentra en el agua; ciertas bacterias lo transforman en metil mercurio, compuesto muy tóxico y nocivo para el ser humano. Se debe considerar que la exposición a largo plazo de este tipo de metales puede causar varios tipos de cáncer, distrofia muscular, esclerosis múltiple, enfermedad de Parkinson, procesos degenerativos neurológicos, entre otros (Marimon, 2018, p. 3).

El problema de los tratamientos para aguas contaminadas con este tipo de material es que, las técnicas para la remoción utilizadas son relativamente costosas además de requerir equipos específicos que aumentan su valor. Como una alternativa de remediación, se han desarrollado tecnologías amigables con el ambiente contribuyendo así a la degradación de estos contaminantes (Borja J. et al., 2020, p. 341).

Por eso existe un gran interés en desarrollar nuevos procesos que incluyan materiales más asequibles y sobre todo que presenten adecuados niveles de remoción (Macías, 2022, p. 4). En nuestro caso, buscamos elaborar un filtro sintético con impregnación de NPMs, puesto que una de las

múltiples aplicaciones de estos materiales se orienta a la remoción de metales pesados con un bajo costo de operación y limitada complejidad de producción.

Los óxidos de hierro se pueden encontrar con gran facilidad en la naturaleza, además de que se pueden sintetizar en el laboratorio sin mayores complicaciones, en su mayoría son cristalinos y el tamaño u orden estructural dependerá de las condiciones bajo las cuales los cristales se formen. El óxido de hierro tiene más de 15 variantes, los más comunes son: magnetita (Fe_3O_4), hematita ($\alpha - \text{Fe}_2\text{O}_3$), goethita ($\alpha - \text{FeOOH}$), akaganeíta ($\beta - \text{FeOOH}$), maghemita ($\gamma - \text{Fe}_2\text{O}_3$), entre otros. Además de eso, se debe considerar que sus propiedades tanto físicas como químicas variarán dependiendo del tamaño de partícula (Caballero & López, 2012, p. 399).

Se debe considerar el uso de partículas a una escala nanométrica, ya que en estas dimensiones presentan propiedades fisicoquímicas distintas a partículas de mayor tamaño; se cree necesario un enfoque más específico a las NPMs, debido a que estas se han podido aprovechar en pro de la salud humana, o como en el caso de la Fe_3O_4 que comprende amplias aplicaciones en el uso de tratamientos contra el cáncer, biodetección y principalmente para la remediación ambiental, siendo esta última donde las NPs trabajan como adsorbentes de contaminantes presentes en el agua (Robles et al., 2017, p. 432).

Para llevar a cabo esta investigación trabajamos con la Fe_3O_4 , que como se explicó con anterioridad, proviene del óxido de hierro y presenta varias propiedades como una elevada área superficial específica, alta reactividad y gran afinidad para metales pesados contribuyendo así a su remoción (Pilicita et al., 2021, p. 1). Entre una de sus grandes ventajas también se destaca su baja toxicidad, lo que significa que puede ingresar en el organismo humano y no generar mayor inconveniente dentro del mismo, esto a su vez permite que tenga una gran gama de aplicaciones en distintas áreas como la medicina, biotecnología, y principalmente como una solución ambiental (Caballero & López, 2012, p. 406).

Por otro lado, tenemos a la fibra sintética compuesta de nylon o poliéster y que además se encuentran recubiertas con partículas abrasivas y pigmentos; presenta algunas características como larga duración, ser poco higroscópicas y la ventaja principal es que al tratarse de una fibra inerte puede ser sometida a cualquier ambiente sin reducir su vida útil (Pineda, 2015, p. 17). Su estructura en forma de malla la vuelve ideal para combinarla con otros materiales y utilizarla para la eliminación de contaminantes del agua como los metales pesados (López, 2020, pp. 11-12). Son estas las propiedades de gran beneficio e importancia para la elaboración de filtros que en

conjunto con las NPMs de óxido de hierro (Fe_3O_4) nos ayudarán con la remoción de metales pesados (Hg).

El presente estudio se considera de gran importancia, puesto que analiza uno de los recursos más importantes como es el agua, sus niveles de contaminación con metales pesados (Hg) y, un posible método de remoción de este, que podría ser empleado en un futuro en tratamientos de agua procedente de actividad minera. Además, se enfoca de manera directa con la línea de investigación de nanociencia y nanotecnología de la carrera de física de la ESPOCH.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Objetivos de la investigación

1.1.1. Objetivo general

Generar un filtro basado en nanopartículas de óxido de hierro (magnetita) para la remoción de mercurio en aguas contaminadas.

1.1.2. Objetivos específicos

- Generar nanopartículas de óxido de hierro con niveles altos de estabilidad y baja oxidación.
- Construir un filtro sintético con nanopartículas de magnetita impregnadas.
- Caracterizar el filtro sintético y nanopartículas.
- Aplicar el filtro en proceso de remoción de metales pesados en una muestra de agua contaminada.
- Caracterizar las muestras de agua post tratamiento.

1.2. Antecedentes

Dentro de este trabajo de investigación es importante considerar que el objetivo principal es utilizar NPMs para la remoción de metales pesados, por lo que, la mayoría de los antecedentes que se presentan a continuación se encuentran con distintos elementos tanto para las NPMs como para el metal pesado que se está removiendo. De forma específica este proyecto se basa en el uso de NPMs de Fe_3O_4 y Hg como el metal pesado que se removió.

En el 2011, en Venezuela, Arenas et al, evaluaron la capacidad biorremediadora de "*Lemna minor*" en función del tiempo en aguas contaminadas con metales pesados, más específicamente el Hg (Arenas et al., 2011, p. 1), el mayor porcentaje de remoción se consiguió a los 22 días y fue del 30% con lo que se concluyó que el uso de esta planta acuática funciona como una alternativa para la remoción de metales pesados con cantidades de hasta los 0.13 mg/L.

En 2013, en México, Barrientos y Matutes sintetizaron NPMs (hematita y magnetita) por medios físicos como lo es el aerosol asistido por deposición de vapor y medios químicos (coprecipitación química), con el objetivo de aplicarlo a remoción de As, logrando una eficiencia de eliminación del 100% a los 5 minutos de contacto con hematita y del 95% utilizando magnetita (Barrientos & Matutes, 2013, p. 76). En este mismo año, en la ciudad de Bucaramanga, Colombia, un grupo de estudiantes de la Universidad Industrial de Santander sintetizaron *in situ* NPs de óxido de hierro soportadas en fibra de fique, las cuales fueron utilizadas para la degradación de colorantes; obtuvieron variantes como la magnetita, hematita y goethita, las cuales ayudaron con alta eficiencia en la decoloración de soluciones acuosas de colorantes catiónicos y aniónicos (Ortiz et al., 2014, p. 152).

En el 2016, Vela Fernando, realizó una evaluación de la eficiencia de la fitorremediación en la remoción de Hg, sulfatos y nitratos de aguas residuales que se producen durante la extracción del oro en la provincia del Oro, para ello utilizó 3 géneros de microalgas nativas del Ecuador, “*Pleurococcus*”, “*Scenedesmus*”, y “*Chlorella*” (Vela, 2016, p. 3). Finalmente, se logró obtener un alto porcentaje de remoción de metales pesados (Hg) siendo este valor del 93% y haciendo uso de la microalga “*Pleurococcus*”.

En el año 2017, en Colombia, Pinedo et al, evaluaron la eficiencia del proceso de fotocatalisis heterogénea con dióxido de titanio (TiO₂) promovido por luz ultravioleta (UV) artificial, en la remoción de Hg presente en efluentes mineros, para esto se valoraron especialmente efectos del pH y concentración de TiO₂ sobre la eficiencia de remoción de este metal pesado (Pinedo et al., 2017, p. 306). Se pudo concluir que el modelo que encontraron y expresaron a través de una ecuación de segundo orden predice una máxima eficiencia del 98.53% tomando en cuenta un pH de 6.98 y una concentración de TiO₂ de 0.51 g/L.

En la India, en el 2018, Majumder et al., trabajaron en la remediación de As en la utilización de agua y lodos con NPs de óxido de hierro sintetizadas utilizando el método de síntesis verde, en consecuencia, se obtuvo un tamaño de alrededor de 60 nm, y la adsorción fue realizada por lotes, en donde, en las primeras 8 horas de contacto se logró una eliminación del 94.511% de arseniato (Majumder et al., 2019, p. 796). En este mismo año, en la ciudad de Riobamba-Ecuador, Llamuca J., realizó una evaluación de la actividad biosorbente de la cáscara de naranja y espiga de arroz para aplicarla en la remoción de Hg inorgánico en soluciones acuosas, para ello utilizó una solución de nitrato mercuríco con una concentración inicial de 408.25 mg/L a un pH de 3.24 en donde finalmente, obtuvo un porcentaje de remoción del 22.06% luego de 40 minutos de filtración (LLamuca, 2018, p. 12).

También se consideró importante revisar distintos procesos de impregnación de NPMs en varios materiales, y realizar distintas pruebas para considerar la más favorable, algunos de estos métodos se detallan a continuación.

En Colombia, Pineda Xiomara en el año 2019, estudió el comportamiento reológico de suspensiones de fibra de celulosa modificadas con NPMs de ferrita de cobalto, dichas fibras fueron extraídas de eucalipto y además de eso el método de impregnación que usó para su trabajo experimental fue mediante un proceso de agitación (Pineda, 2019, p. 22).

Acuña C., en el año 2020, realizó un estudio comparativo bibliográfico de 3 adsorbentes naturales, todos ellos utilizados para la biorremediación de aguas contaminadas con Hg. En base a su estudio pudo observar que el Warao presenta un mayor porcentaje de adsorción de metal Hg^{2+} siendo este un valor del 98%, el uso de la moringa obtuvo un valor del 48% y finalmente, la cáscara de naranja en conjunto con espigas de arroz un porcentaje del 22%, Acuña además concluye que el alto porcentaje de remoción del Warao se debe a varios factores como: su pH alcalino, mayor tiempo de contacto y a la composición de su biomasa (Acuña, 2020, p. 13).

En el año 2022, en Arequipa, Perú, Marquez et al., desarrollaron la impregnación de NPs de óxido de cobre en tejidos de algodón con acabado antimicrobiano, para su proceso de impregnación lo que hicieron fue pasar el textil a través del coloide, para posteriormente exprimirlo entre dos rodillos con una presión de 4 bar, con el objetivo de lograr una absorción uniforme y controlada a lo largo y ancho del textil, mismo que presentó una zona de inhibición promedio de 1,5 mm y 2 mm para *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus* respectivamente, la inhibición indica que el textil funcionalizado posee una actividad antibacteriana debido a la acción de las NPs sobre las células bacterianas (Marquez et al., 2022, p. 61).

A nivel local se han realizado algunas investigaciones por parte de los estudiantes de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo como, por ejemplo, en el caso de Vera Francisco que, en el 2018, se planteó como objetivo sintetizar y caracterizar NPMs de hierro más específicamente Fe_3O_4 (Vera, 2018 p. 15). Pilicita Víctor en el 2020, realizó un estudio sobre la evaluación de la adsorción de especies de As en medio acuoso usando NPs de Fe_3O_4 , mediante simulaciones AB-initio en el marco DFT orientada a la creación de filtros de agua (Pilicita, 2020, p. 1). En 2022, González Myriam sintetizó NPs de Fe_3O_4 recubiertas de quitosano para la adsorción de cromo hexavalente (González, 2022, p. 16) y en el mismo año Macías Karen estudió la aplicación de NPMs de hierro (magnetita) en la adsorción de As en aguas contaminadas (Macías, 2022, p. 1).

Una revisión bibliográfica del tema nos lleva a concluir que no se han encontrado estudios experimentales utilizando filtros sintéticos a base de poliéster, además de la impregnación de NPs de Fe_3O_4 sobre esta para su posterior aplicación en la remoción de metales pesados (Hg) en aguas contaminadas.

1.3. Bases teóricas

1.3.1. Mercurio (Hg)

El Hg es un elemento que se puede encontrar en el suelo, agua y aire, este existe en tres formas: mercurio elemental (Hg^0), inorgánico (Hg^+ , Hg^{2+}) y orgánico (metil o etil mercurio) (USEPA, 2022); los organismos se encargan de convertir el Hg en metil mercurio, compuesto orgánico más común en el medio ambiente y el que perjudica de una manera más directa a la salud de los seres vivos (Gaona, 2004, p. 15). El Hg es líquido a temperatura ambiente y se evapora con facilidad, dicho vapor puede llegar a ser más perjudicial que en líquido (Balali et al., 2021, p. 2). Algunas propiedades fisicoquímicas establecen su número atómico igual a 80, un peso atómico de 200.59, temperatura de fusión de $-38.87\text{ }^\circ\text{C}$ y una temperatura de ebullición de $356.58\text{ }^\circ\text{C}$ (Gaona, 2004, p. 10).

Este elemento es considerado uno de los metales más tóxicos que se puede encontrar en aguas, especialmente en las de minería; se han hecho estudios en donde se ha comprobado que la toxicidad del Hg ha causado daños neurológicos, dentro de ellos la ataxia, distrofia muscular, alteraciones del habla y deglución entre los pacientes que se han expuesto a cantidades masivas de metil mercurio. Además de eso, tiene tendencia a acumularse en los riñones, ejerciendo efectos nocivos, especialmente en los túbulos proximales (Balali et al., 2021, p. 2). También puede provocar temblores, insuficiencia respiratoria y síntomas psicopatológicos por interrupción de procesos metabólicos en el cerebro, pérdida de la visión periférica y problemas cardiovasculares (Urbina, 2022, p. 9).

En la dieta humana una dosis letal se encuentra entre los 150 y hasta 300 mg/día, además los niveles de contaminación máximos establecidos por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos no debe exceder los 0.00003 mg/L (Caviedes et al., 2015, p. 75).

1.3.2. Nanomateriales

Se los considera como una nueva clase de materiales, y se clasifica en varios tipos: cerámicos, metales, semiconductores, polímeros, o bien una combinación de estos (nanocompuestos), en

donde por lo menos una de sus dimensiones se encuentra entre 1 y 100 nm (Carrasco, 2016, p. 10), estos se forman a partir de cristales muy pequeños, tanto así que hasta los átomos se pueden contabilizar dentro de ellos (Rosas, 2022, p. 22).

Se los puede encontrar de forma natural o como subproducto de un proceso industrial, también se incluyen los nanomateriales manufacturados (INSHT, 2015, p. 7) que, en la escala nanométrica presenta propiedades muy diferentes en comparación a las que exhibe un material volumétrico. Por lo tanto, conforme se minimizan las dimensiones de las partículas a una escala nanométrica se modifican sus propiedades físicas, ópticas y electromagnéticas (Carrasco, 2016, p. 10); este último tipo de nanomateriales pueden presentarse en forma de nano-objetos como lo son las nanoplacas, nanofibras (nanotubo, nanohilo, y nanovarilla) y nanopartículas, o de material nanoestructurado como los nanocompuestos, nanoespumas sólidas, materiales nanoporosos, entre otros (INSHT, 2015, pp. 8-9).

1.3.2.1. Nanopartículas (NPs)

Aunque sus dimensiones se encuentran entre 1 nm y los 100 nm llegan a ser más grandes que las moléculas y átomos, no se rigen a las leyes de la física clásica y tampoco obedecen a la química cuántica (Rosas, 2022, p. 19).

Las NPs son un área de intensa investigación científica, debido a que éstas se pueden utilizar en diversos campos como lo son la biomedicina, óptica, electrónica, entre otros. Además de eso se pueden sintetizar utilizando procesos físicos o químicos; se distinguen por su gran área superficial que otorga a varios metales a escala nanométrica distintos beneficios, entre ellos la capacidad de funcionar como adsorbentes (Tapia & Huanca, 2019, p. 26), siendo las NPMs las más utilizadas en el área de nanotecnología para la remoción de contaminantes.

1.3.3. Hierro (Fe)

Es considerado uno de los elementos más abundantes en la tierra, y se lo encuentra en varias formas como: óxidos, hidróxidos y oxi-hidróxidos, también en minerales, rocas y suelos (Carrasco, 2016, p. 13). Su número atómico es el 23, dentro del núcleo es un componente principal junto con el níquel y otros elementos ligeros y pesados. El mayor beneficio del Fe radica en su configuración electrónica la cual permite obtener dos cationes importantes para la creación de la magnetita, estos son los cationes ferrosos (Fe^{2+}), y férricos (Fe^{3+}) (Lagroix et al., 2016, pp. 10-11).

1.3.3.1. Óxido de hierro

Se forma por una unión entre el hierro (Fe) y oxígeno (O), tienen la particularidad de permanecer en estados catiónicos como: divalentes, trivalentes o de valencia mixta (Pilicita, 2020, p. 16); los minerales de óxido de hierro de origen natural más conocidos se clasifican en óxidos como hematita, magnetita, maghemita, ferrihidrita; óxidos hidróxidos como lepidocrocita, goethita, akaganeíta, feroxihita y entre los menos comunes están los óxidos como la wustita (Schwertmann & Cornell, 2000, p. 5).

1.3.4. Magnetita (Fe_3O_4)

Es un óxido mixto de hierro, en donde el 27.6 % de su composición corresponde al oxígeno y el 72.4 % al hierro (Noval et al., 2017, p. 43), también se lo conoce como una forma mineral ferromagnética de óxido de hierro (II, III), no metálico, cuya fórmula molecular es Fe_3O_4 , es la única ferrita que presenta comportamiento semimetálico. Una de las ventajas cuando se utiliza NPs de Fe_3O_4 se debe a esta propiedad, ya que, gracias a que su magnetismo se mantiene, permite que se manipule desde una cierta distancia con un campo magnético, aunque esté cubierta, enlazada a otro material, o inmerso en alguna sustancia. Además de eso, su toxicidad es de bajo riesgo y aunque afecte al sabor u olor del agua no presenta un peligro para la salud. Las NPs de óxidos de hierro como la Fe_3O_4 , son ampliamente estudiadas debido a su bajo costo y fácil obtención. Se la puede encontrar comúnmente en la naturaleza, pero también pueden producirse de manera sintética (Carrasco, 2016, p. 15). En la Tabla 1-1 se describen algunas características generales de la magnetita.

Tabla 1-1: Características de la Fe_3O_4 natural

Fórmula química	$FeFe_2O_4 (Fe^{2+}Fe^{3+}_2O_4)$, Fe_3O_4
Clase	Óxido
Grupo	Espinela
Tipo de celda unitaria	Cúbica (espinela inversa)
Color	Negro
Brillo	Metálico
Densidad	5.2 g/cm ³
Óptica	Opaco, de color gris e isótropo
Magnetismo	Ferrimagnética

Fuente: Noval et al., 2017, p. 44.

Realizado por: Intriago C., 2023.

Presenta una estructura de espinela inversa, en donde su celda unitaria está compuesta de 56 átomos; 32 de ellos le pertenecen al oxígeno y los 24 átomos restantes son cationes de hierro, de los cuales 8 se encuentran en su forma ferrosa (Fe^{2+}) y los otros 16 en forma férrica (Fe^{3+}) (Noval et al., 2017, p. 43). Los iones de Fe^{2+} ocupan espacios tetraédricos y se encuentran colocados tanto en el centro como en los vértices de un cubo, por otro lado, los iones de Fe^{3+} ocupan espacios octaédricos (Caballero & López, 2012, pp. 401-402), para tener una mayor apreciación de su distribución se presenta la Ilustración 1-1.

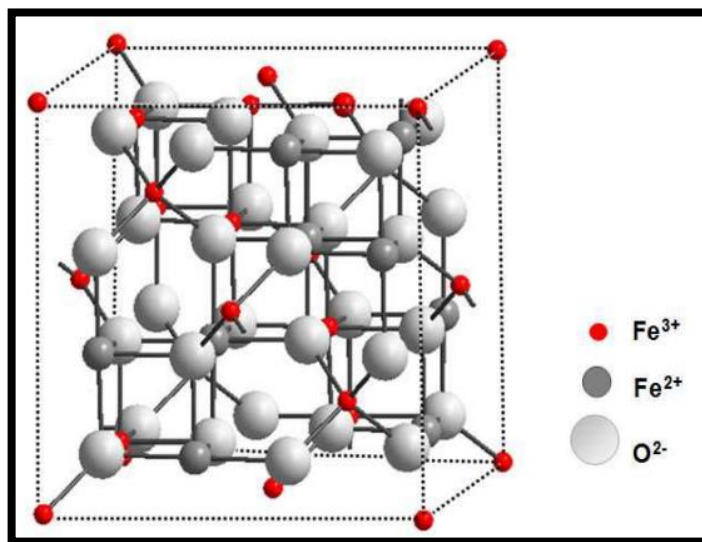


Ilustración 1-1: Estructura de espinela inversa de Fe_3O_4
Fuente: Noval et al., 2017, p. 43.

1.3.5. Síntesis de nanopartículas magnéticas (NPMs)

Los métodos de síntesis se refieren al conjunto de procedimientos que se realizan en el laboratorio con el objetivo de obtener NPs con alta cristalinidad y pureza (Borja & Rojas, 2020, p. 429).

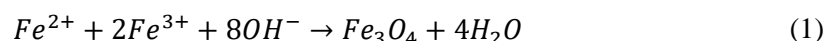
Dicha preparación de NPMs puede ser clasificada en dos categorías: las técnicas *Top-down* que puede producir estructuras muy pequeñas a partir de un material con gran tamaño (Ormaza et al., 2020, p. 1097), entre ellos tenemos: la molienda mecánica y condensación de gas inerte, y las *Bottom-up* que se basa en el crecimiento de NPs a partir del uso de distintos precursores, dentro de esta técnica podemos encontrar: la coprecipitación química, síntesis solvotermal, hidrotérmica, sol-gel, y el método de oxidación-reducción (Vera, 2018, p. 30).

Para la elección del método más adecuado para la síntesis se debe tomar en cuenta aspectos importantes como: la temperatura, el solvente o agente estabilizante y la reproducibilidad, siendo el método de coprecipitación química el más utilizado para la síntesis de NPs de óxido de hierro,

gracias a su simplicidad, bajo costo de operación y eficiencia; este proceso generalmente consiste en una mezcla entre sales ferrosas y férricas en un medio acuoso (Pabón et al., 2021, p. 221). Debido a estas características se optó por utilizar este método para el presente trabajo.

1.3.5.1. Método de coprecipitación química

El proceso de esta síntesis se da mediante una reacción de iones de Fe (II y III) con una relación estequiométrica de 1:2, respectivamente (Ecuación 1), para evitar la oxidación del hierro se la hace en un ambiente libre de oxígeno. La completa precipitación de Fe_3O_4 se consigue una vez alcanzado un pH entre 8 y 12. Sin embargo, la Fe_3O_4 es sensible a la oxidación y no es muy estable al ambiente, por ello cuando está en presencia de oxígeno, puede llevar a la producción de otras especies no deseadas como la ($\gamma - Fe_2O_3$) (Pabón et al., 2021, p. 221).



Para evitar la oxidación y preservar el comportamiento magnético de las NPs sintetizadas, se utilizan síntesis en atmosfera inerte de nitrógeno y agua desoxigenada en la preparación de las soluciones de Fe (Marimon, 2018, p. 8).

Una de las ventajas que presenta este método también involucra a la gran cantidad de NPs que se pueden sintetizar, pero este se limita por el control del tamaño de las partículas debido a que el crecimiento del cristal se da por factores cinéticos. Debido a esto el tamaño y forma de las NPs se pueden controlar con un ligero éxito siempre y cuando se ajusten parámetros como la temperatura, el tipo de sales que se está usando y el pH. La adición de polímeros superficiales o aniones orgánicos quelantes pueden ayudar a controlar el tamaño durante la formación de la magnetita (Pabón et al., 2021, p. 221).

1.3.6. Nanotecnología en el tratamiento de aguas.

La nanotecnología ha tenido un enfoque en distintas áreas como las ciencias básicas, electrónica, el medio ambiente y la ciencia de los materiales (Rosas, 2022, p. 19), dentro de esta última se encuentra el estudio de las NPs que es la que más destaca debido a que se pueden emplear en la medicina, catálisis, electrónica, cosméticos, alimentos, y en el caso de esta investigación para el control de contaminantes (Borja & Rojas, 2020, p. 428). Gracias a esta se ha podido diseñar nuevos procesos para la remoción de metales pesados y demás contaminantes.

En el caso del Hg, los procesos se caracterizan por ser más selectivos, más eficientes, y ser mejores adsorbentes. Se cree que con ayuda de la nanotecnología se podría transformar el agua contaminada en agua apta para riego, consumo humano y saneamiento. Dentro de las ventajas del empleo de esta tecnología, se encuentra la capacidad de adsorción de las NPs debido a su elevado valor de área superficial lo que permite que sea de gran utilidad para el tratamiento de aguas (Tapia & Huanca, 2019, p. 26).

1.3.7. Adsorción

Es una técnica muy utilizada para la remoción de metales pesados como el Hg, se llama adsorción al fenómeno de acumulación de partículas sobre la superficie de un sólido, la sustancia que se acumula se conoce como adsorbato y el material sobre el cual lo hace se denomina adsorbente (Tapia & Huanca, 2019, p. 34).

Las características principales de este proceso son: la selectividad la cual nos indica que depende de la naturaleza y de un previo tratamiento al que se haya sometido a la superficie del adsorbente, así también como el origen de la sustancia adsorbida. Al aumentar la superficie del adsorbente y la concentración del adsorbato, aumentará la adsorción (Tapia & Huanca, 2019, p. 34); suele ser un proceso rápido cuya velocidad aumenta cuando aumenta la temperatura, pero desciende cuando aumenta la adsorción, se da espontáneamente y se divide en dos tipos.

Existe la adsorción física, que se da gracias a las fuerzas de atracción secundarias de Van Der Waals, como las interacciones dipolo-dipolo, mientras que la adsorción química, implica la formación de enlaces químicos, posee una similitud con las reacciones químicas, además de que requiere de una transferencia de electrones entre el adsorbente y adsorbato (Tapia & Huanca, 2019, p.35).

1.3.8. Fibra sintética

El proceso de fabricación de este tipo de fibras radica en el uso de nylon o poliéster que se tiende a recubrir con resina, abrasivos y pigmentos, a diferencia de las fibras vegetales que se derivan de plantas.

El objetivo de utilizar estos materiales radica en las características que presenta como: larga duración, alta resistencia, y principalmente que al tratarse de una fibra inerte se vuelve ideal para exponerla a cualquier tipo de ambiente sin reducir el tiempo de vida útil (Pineda, 2015, p. 17). Con respecto a su estructura, esta se ve representada por hebras que se sobreponen unas con otras,

dándonos como resultado un sistema vascular fibroso rígido, que es de gran utilidad para utilizarlo como aislante, en la textilería, para materiales de embalajes o filtros para la remoción de contaminantes (López, 2020, pp. 11-12).

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Tipo y diseño de la investigación

La presente investigación de tipo experimental está basada en un análisis de tipo correlacional, ya que se varió el tipo de fibra sintética y también el tiempo de contacto aplicado al tratamiento de la fibra con NPMs de Fe_3O_4 , siendo estos intervalos de 15 minutos durante una hora; así fue como se identificó el nivel de adsorción de Hg en 4 muestras en total. Este tratamiento se repitió 3 veces para cada fibra, para la comparación de resultados.

2.1.1. Método experimental

Se establecieron 2 unidades experimentales, una de ellas utilizando fibra sintética de la marca “Estrella” y la otra con fibra sintética de la marca “Scotch-Brite”, a ambas fibras se les hizo un previo tratamiento llamado hidrolización. Además, cada fibra fue sometida a tres repeticiones en las que se realizó adsorciones por una hora y tomando alícuotas cada 15 minutos, los datos de la cantidad de Hg se obtuvieron mediante análisis con Espectrofotometría de Absorción Atómica.

2.2. Enfoque de la investigación

El enfoque de la investigación es cuantitativo porque se analizó la concentración de Hg presente en aguas contaminadas antes y después de la remoción realizada con los 2 tipos de fibra con NPMs de magnetita con el objetivo de conocer su eficiencia.

2.3. Identificación de variables

2.3.1. Variables independientes

Concentración de Hg en el agua contaminada

Cantidad de magnetita impregnada en las fibras sintéticas

Tiempo de contacto en la adsorción

Tipo de fibra sintética

2.3.2. Variables dependientes

Nivel de adsorción de Hg de las fibras con magnetita

Concentración de Hg en el agua tratada

2.4. Operacionalización de variables

2.4.1. Operacionalización de variables

Tabla 2-2: Operacionalización de variables

VARIABLE	TIPO DE VARIABLE	CONCEPTO	INDICADOR	INSTRUMENTO
Concentración de Hg en el agua contaminada	Independiente	Cantidad de Hg presente en el agua contaminada	Ppb ($\mu g/L$)	Espectrofotómetro de Absorción Atómica
Cantidad de magnetita impregnada en las fibras sintéticas	Independiente	Cantidad de magnetita utilizada para el filtro sintético	Miligramos (mg)	Balanza analítica
Tiempo de contacto en la adsorción	Independiente	Alcance de adsorción máxima de Hg con las fibras sintéticas	Minutos (min)	Cronómetro
Tipo de fibra sintética	Independiente	Marca de fibra que se utilizó como filtro para la remoción	Marca	Ninguno
Nivel de adsorción de Hg	Dependiente	Cantidad de Hg presente en el agua que se adsorbe con el filtro	Porcentaje (%)	Espectrofotómetro de Absorción Atómica
Concentración de Hg en el agua tratada	Dependiente	Cantidad de Hg presente en el agua a tratar	Ppb ($\mu g/L$)	Espectrofotómetro de Absorción Atómica

Realizado por: Intriago C., 2023.

2.5. Diseño de la investigación

2.5.1. Diseño del tratamiento experimental

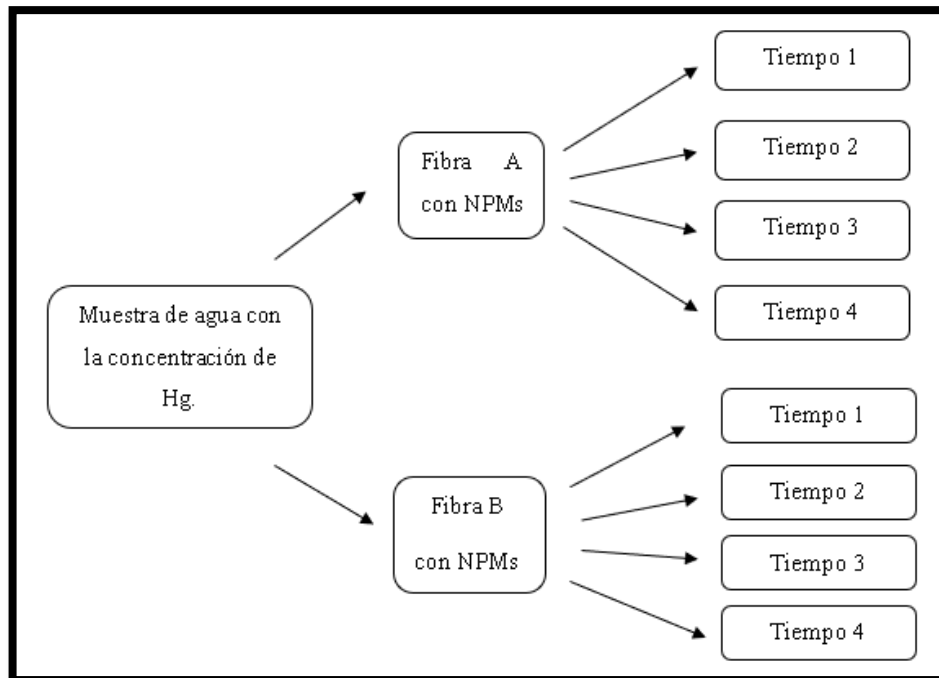


Ilustración 2-2: Diseño experimental de la investigación
Realizado por: Intriago C., 2023.

2.6. Unidad de análisis

Se considera el nivel de adsorción de Hg que presentan los filtros con impregnación de NPMs (magnetita) para el tratamiento de aguas contaminadas.

2.7. Población de estudio

La población de estudio está basada en el uso de aguas contaminadas con Hg, se utilizó una unidad de ppm (1 ppm) disuelto en un balón de aforo de 100 mL con agua desionizada.

2.8. Tamaño de la muestra

El tamaño de la muestra se establece por 6 muestras de agua con una concentración de Hg (1 ppm), se extrajeron 4 alícuotas (1 cada 15 minutos), teniendo finalmente 24 datos para la lectura de análisis de la concentración de Hg en el agua contaminada.

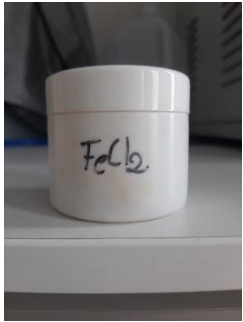




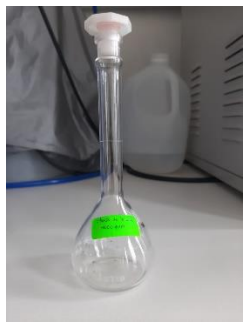
2.9. Localización de la investigación

La localización del estudio se centró en la ciudad de Riobamba, provincia del Chimborazo, Ecuador, de forma específica, el laboratorio de Química Instrumental de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

2.10. Reactivos, equipos y materiales necesarios para el desarrollo de la investigación

2.10.1. Reactivos


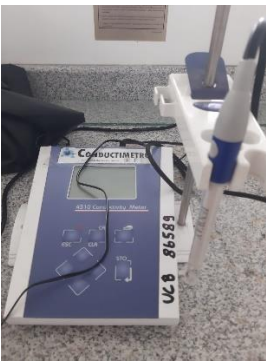







Tabla 2-3: Reactivos utilizados en la síntesis e impregnación de NPMs (Fe_3O_4) en las fibras sintéticas


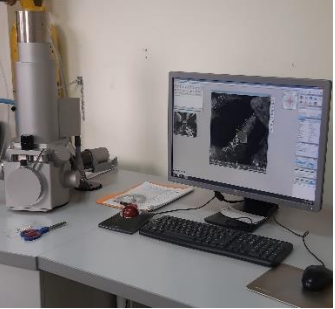

		
Cloruro ferroso (FeCl_2)	Cloruro férrico (FeCl_3)	Hidróxido de sodio (NaOH)
		
Tanque de gas con nitrógeno	Agua desionizada	Estándar de Hg

Realizado por: Intriago C., 2023.

2.10.2. Equipos

Tabla 2-4: Equipos utilizados en la síntesis e impregnación de NPMs (Fe_3O_4) en las fibras sintéticas

 <p>Espectrofotómetro infrarrojo (FTIR)</p>	 <p>Conductímetro</p>	 <p>pHmetro</p>
 <p>Balanza analítica</p>	 <p>Agitador magnético</p>	 <p>Estufa</p>
 <p>Sonicador</p>	 <p>Plancha de calentamiento</p>	 <p>Espectrofotómetro de Absorción Atómica</p>

 <p style="text-align: center;">Sorbona</p>	 <p style="text-align: center;">Microscopio electrónico de barrido (SEM)</p>	 <p style="text-align: center;">Bomba de vacío</p>
--	--	---

Realizado por: Intriago C., 2023.

2.10.3. Materiales

Tabla 2-5: Materiales utilizados en la síntesis e impregnación de NPMs (Fe_3O_4) en las fibras sintéticas

 <p style="text-align: center;">Espátula</p>	 <p style="text-align: center;">Balón de aforo de 100 mL</p>	 <p style="text-align: center;">Probeta de 100 mL</p>
 <p style="text-align: center;">Bureta</p>	 <p style="text-align: center;">2 pipetas (1 mL y 10 mL) y una pera</p>	 <p style="text-align: center;">Papel Aluminio</p>

 <p data-bbox="395 544 512 577">Etiquetas</p>	 <p data-bbox="791 544 874 577">Tijeras</p>	 <p data-bbox="1166 544 1259 577">Soporte</p>
 <p data-bbox="400 922 509 956">Magneto</p>	 <p data-bbox="735 922 932 956">Fibra sintética A</p>	 <p data-bbox="1118 922 1315 956">Fibra sintética B</p>
 <p data-bbox="384 1379 528 1413">Papel filtro</p>	 <p data-bbox="727 1391 943 1424">Embudo Buchner</p>	 <p data-bbox="1161 1391 1265 1424">Kitasato</p>
 <p data-bbox="293 1809 617 1895">2 vasos de precipitación de 250 mL</p>	 <p data-bbox="665 1809 1005 1843">24 tubos de vidrio de 10 mL</p>	 <p data-bbox="1050 1800 1378 1886">2 vasos de precipitación de 100 mL</p>

Realizado por: Intriago C., 2023.

2.10.4. Metodología estadística

Para el análisis estadístico se utilizó el programa estadístico SPSS, en el cual se tomó como variable independiente al tipo de fibra que se utilizó durante la remoción y el tiempo de contacto que para cada tratamiento fue en intervalos de 15 min durante una hora. Como variable dependiente se consideró la concentración de Hg.

Se realizó un análisis ANOVA de inter-sujetos para comprobar la influencia del tipo de fibra con respecto a los resultados de adsorción, también se realizaron las distintas pruebas estadísticas para la comprobación de los supuestos necesarios para la obtención de este análisis que son: independencia, normalidad e igualdad de varianzas (homocedasticidad).

Para llevar a cabo el análisis se debe plantear una hipótesis nula y una alternativa, con el objetivo de comprobar que se cumpla alguna de las dos.

2.10.4.1. Hipótesis Nula

El tipo de fibra con NPs de magnetita impregnada utilizado en el tratamiento no influye en el porcentaje de adsorción de Hg obtenido en el experimento

2.10.4.2. Hipótesis Alternativa

El tipo de fibra con NPs de magnetita impregnada utilizado en el tratamiento influye en el porcentaje de adsorción de Hg obtenido en el experimento.

2.10.5. Metodología experimental

2.10.5.1. Esterilización de materiales

Para la generación de filtros sintéticos con Fe_3O_4 impregnada, debemos usar materiales que se encuentren limpios, esto con el objetivo de que algún tipo de residuo no interfiera con la efectividad de NPMs y con ello la remoción de Hg que se llevará a cabo.

Para la limpieza se utilizó agua y jabón; primero se procedió a cepillar todos los materiales con escobillas, se enjuagó con agua normal y se realizó un segundo enjuague con agua desionizada,

se dejó escurrir sobre una toalla y posterior a esto se introdujeron todos los materiales de vidrio a la estufa a una temperatura de 50 °C durante 10 minutos.

2.10.5.2. Hidrolización de la fibra sintética

Se denominó a la fibra de la marca “Estrella” como “A” y la fibra “Scotch-Brite” como “B”, se tomaron valores de dimensiones y peso (Ilustración 2-3), se obtuvieron 3 muestras de fibra para cada marca y los valores se detallan en la Tabla 2-6 y 2-7 respectivamente. Cada fibra fue marcada con un corte específico para identificarlas.

Tabla 2-6: Dimensiones y peso de las fibras A

Fibra A	Ancho (cm)	Largo (cm)	Grosor (cm)	Peso (mg)
FA1	4.5	4.5	0.1	757.1
FA2	4.5	4.5	0.1	771.6
FA3	4.5	4.5	0.1	786.5

Realizado por: Intriago C., 2023.

Tabla 2-7: Dimensiones y pesos de las fibras B

Fibra B	Ancho (cm)	Largo (cm)	Grosor (cm)	Peso (mg)
FB1	4.5	4.5	0.2	526.6
FB2	4.5	4.5	0.2	563.9
FB3	4.5	4.5	0.2	664.5

Realizado por: Intriago C., 2023.

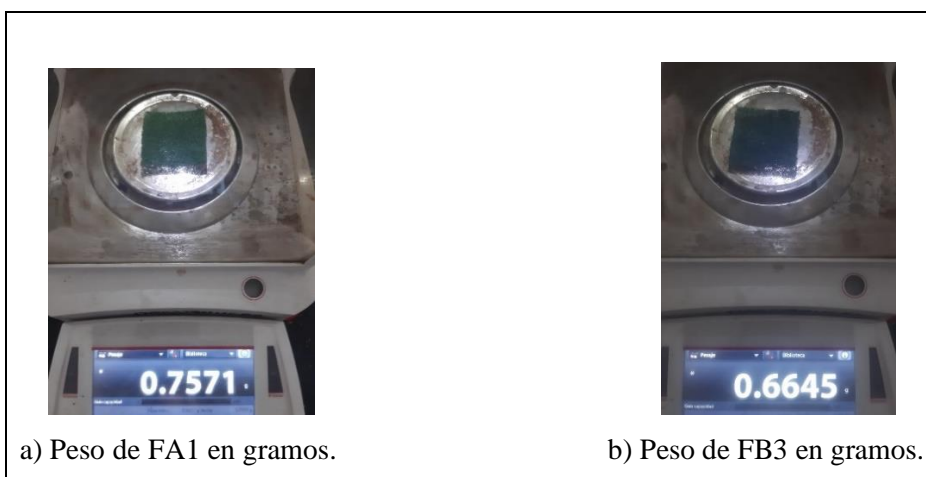


Ilustración 2-3: Toma de pesos de las planchas correspondientes a cada tipo de fibra

Realizado por: Intriago C., 2023.

Lo primero que se realizó fue la solución uno molar (1M) de NaOH (Ilustración 2-4), que consiste en pesar 4 g y disolverlos en un balón de aforo de 100 mL con agua desionizada, como se utilizaron 2 tipos de fibra se duplicó la cantidad y en total se usó 8.0173 g, después se dejó sonicar durante 3 minutos para disolver el NaOH.



Ilustración 2-4: Solución 1 molar de NaOH

Realizado por: Intriago C., 2023.

La solución fue colocada en 2 vasos de precipitación de 100 mL junto con las 3 planchas de fibra perteneciente a cada tipo, se llevó a la sorbona y a la plancha de calentamiento y aquí se dejaron ambos vasos de precipitación con las fibras durante 4 horas a una temperatura constante de 40 °C (Ilustración 2-5).

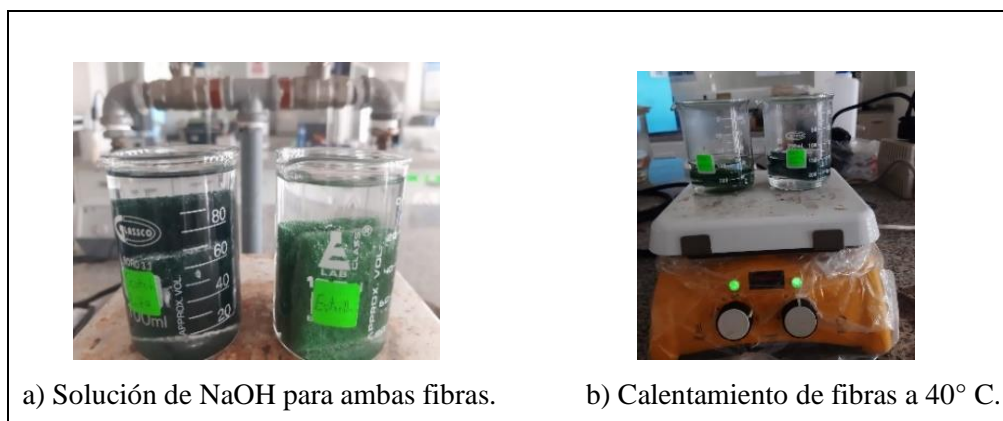


Ilustración 2-5: Calentamiento de fibras

Realizado por: Intriago C., 2023.

Transcurrido este tiempo se midieron valores de pH, conductividad y temperatura en cada solución, datos que se muestran en la Tabla 2-8.

Tabla 2-8: Valores de pH, conductividad y temperatura de cada fibra con la solución de NaOH.

Tipo	Solución	pH	Conductividad (mS)	Temperatura (°C)
Solución acuosa sin la fibra A	Agua desionizada con NaOH	13.42	133.6	19
Solución con Fibra "A"		13.09	128.2	20
Solución acuosa sin la fibra B		13.54	134.5	19
Solución con Fibra "B"		13.17	147.5	26.1

Realizado por: Intriago C., 2023.

Se debe reducir el pH a un valor entre 6 y 7, por lo que, se debe sonicar ambas fibras. Se realizaron baños de ultrasonido de la fibra A y B usando el sonicador por intervalos de 30 min, luego se midieron valores de pH, conductividad y temperatura, además de eso se cambió el agua desionizada por cada intervalo de tiempo (Ilustración 2-6); todos estos valores se muestran en la Tabla 2-9 y 2-10 respectivamente.



Ilustración 2-6: Lavados para reducir el pH de las fibras

Realizado por: Intriago C., 2023.

Tabla 2-9: Valores obtenidos en cada sonicación de la fibra A

N° de lavado	Tiempo de sonicación (min)	pH	Conductividad (μS)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)
1	30	12.04	11.17	22
2	30	9.82	78.1	23.6
3	30	8.85	23.9	24.7
4	30	8.70	14.33	23.5
5	30	7.73	100.6	26.2
6	30	7.74	16.96	24.6
7	30	6.87	18.86	25.3

Realizado por: Intriago C., 2023.

Tabla 2-10: Valores obtenidos en la sonicación de la fibra B

N° de lavado	Tiempo de sonicación (min)	pH	Conductividad (μS)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)
1	30	11.93	7.11	23.1
2	30	9.84	39.9	23.9
3	30	8.81	31.3	23.5
4	30	8.78	20.2	23.7
5	30	8.73	9.87	24.4
6	30	7.70	116.6	25.3
7	30	7.50	32.4	23.1
8	30	6.53	29.3	25.5

Realizado por: Intriago C., 2023.

Finalmente, el valor de pH para las fibras fue de 6.87 y 6.53 respectivamente, al encontrarse ambas fibras con un pH adecuado fueron enviadas a la estufa a una temperatura de 60°C por un tiempo estimado de 12 horas.

2.10.5.3. Síntesis de NPs de óxido de hierro (magnetita) e impregnación en las fibras sintéticas.

Las cantidades de los reactivos que se utilizaron para llevar a cabo la síntesis (Ilustración 2-7) fueron las siguientes: cloruro férrico (FeCl_3): 3.2412 g, cloruro ferroso (FeCl_2): 1.2686 g e hidróxido de sodio (NaOH): 7.9993 g.



Ilustración 2-7: Pesos de cada reactivo utilizado para la síntesis de Fe_3O_4

Realizado por: Intriago C., 2023.

En un balón de aforo de 200 mL se colocó 50 mL de agua desionizada, junto con el FeCl_2 y FeCl_3 , se lo sonicó por alrededor de 5 min hasta disolverse finalmente, se añadió el total de agua, obteniendo la solución 1. Por otro lado, en un balón de aforo de 200 mL se disolvieron 7.9993 g de NaOH con agua desionizada, se sonicó hasta disolverse obteniendo la solución 2 (Ilustración 2-8).

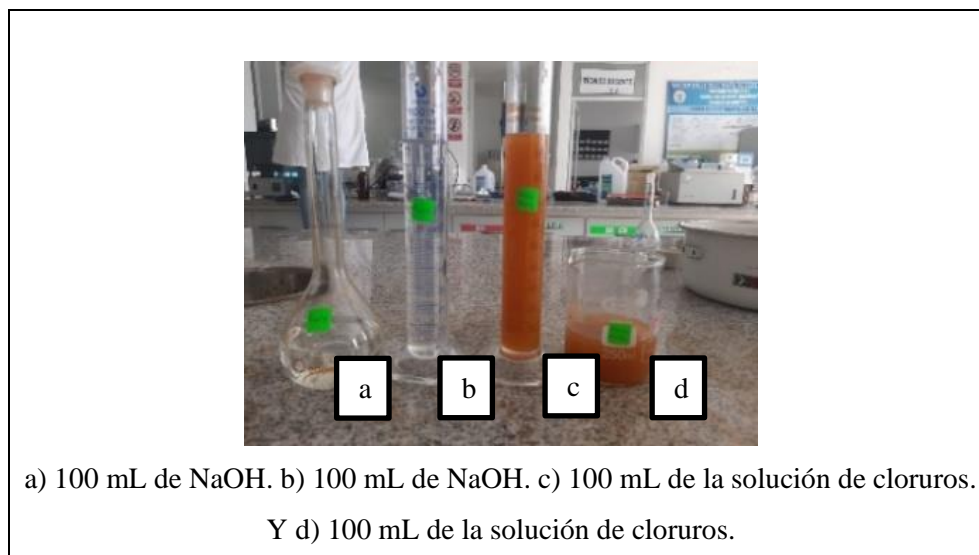


Ilustración 2-8: Preparación y división de las soluciones para ambas fibras

Realizado por: Intriago C., 2023.

100 mL de la solución 1 fue vaciada en un vaso de precipitación de 250 mL, en una bureta se añadió la solución 2; el vaso junto con las fibras fue llevado a un agitador magnético y sobre este también se introdujo la manguera de nitrógeno para generar un ambiente inerte y así evitar la oxidación. Una vez que el nitrógeno empezó a burbujear dentro de la solución se prendió el agitador a 200 rpm, y también se abrió la llave de la bureta para que empiece con el goteo lento de NaOH (Ilustración 2-9).

En un lapso de 5 a 10 minutos, se pudo observar un cambio de color en la solución 1, por lo que, se empezó a medir el pH constantemente; para llegar a obtener ferrofluido de magnetita el valor de este debe encontrarse entre 8 y 12. Este proceso se repitió exactamente igual para la fibra B y el pH final obtenido fue de 10.29 y de 10.27, para las fibras A y B respectivamente. En este punto las fibras estuvieron aptas para ser enviadas a la estufa a una temperatura de $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 24 h, para su posterior secado.

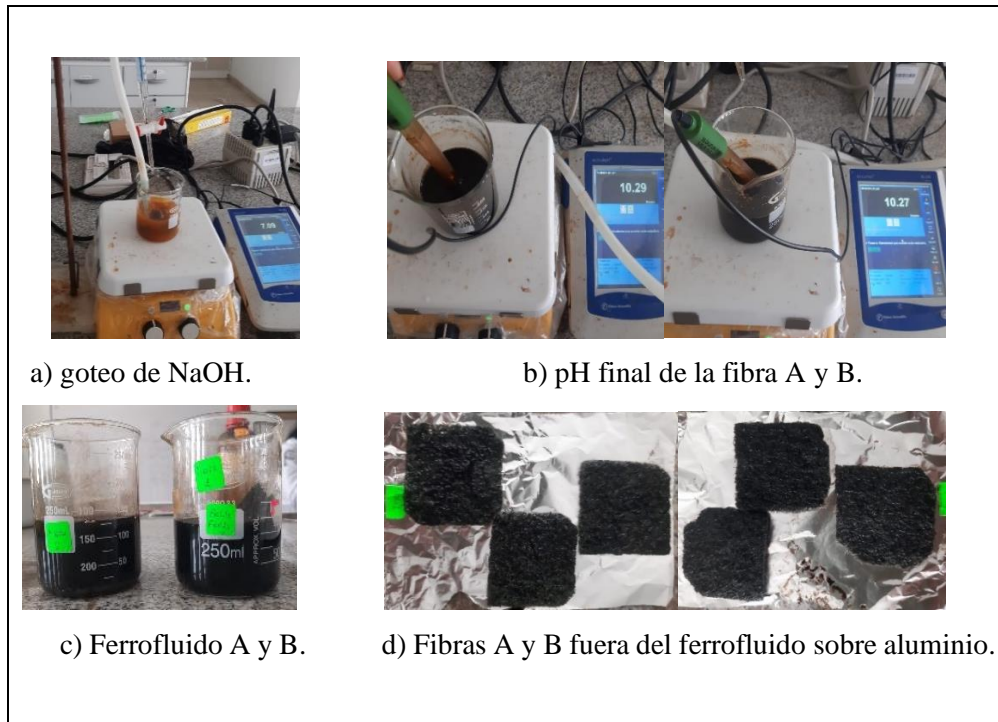


Ilustración 2-9: Proceso de síntesis de magnetita e impregnación de NPMs en fibras sintéticas

Realizado por: Intriago C., 2023.

Las fibras fueron pesadas una vez secas, con el objetivo de conocer la cantidad de magnetita que se impregnó en ellas, este valor se obtuvo de la sustracción entre el peso de la fibra con NPMs y el peso de la fibra hidrolizada (Ilustración 2-10). Los valores para las fibras A fueron de 66.2 mg, 101.8 mg, 72.9 mg y para las fibras B 48.2 mg, 54.1 mg, 74.9 mg, respectivamente.



Ilustración 2-10: Peso de las fibras con NPMs

Realizado por: Intriago C., 2023.

2.10.5.4. Caracterización de las NPMs (magnetita) y de la fibra sintética con magnetita impregnada

Un factor clave para identificar la composición de un determinado material se puede llevar a cabo mediante el uso de distintas técnicas ópticas como: el equipo de espectrofotometría infrarrojo (FTIR), con luz ultravioleta (UV-Vis) o fluorescencia. Para el estudio de la morfología y tamaños existen otros equipos como el Microscopio Electrónico de Barrio (SEM), el Microscopio Electrónico de Transmisión (TEM) o el de Fuerza atómica. Para este trabajo, debido a distintas complicaciones como la falta de equipos, disponibilidad y recursos económicos se realizaron dos técnicas que se describen a continuación:

- Espectrofotometría Infrarroja (FTIR)

Su funcionamiento se basa en el movimiento de los átomos como la torsión, rotación, flexión o vibración. Cuando la radiación infrarroja interactúa con la muestra, una parte de la radiación se absorbe a ciertas longitudes de onda, y gracias a las vibraciones se produce el espectro que va a depender de los grupos funcionales y la configuración atómica (enlaces, estructura molecular) que componen a nuestro objeto de estudio. La mayoría de los equipos usan como sistema de análisis a las transformadas de Fourier de haz sencillo y el gráfico que se obtiene viene representado por %T (transmitancia) frente al número de onda (cm^{-1}) (Domínguez, 2015, p. 9).

Con la ayuda de este equipo vamos a poder observar los grupos funcionales característicos de las NPMs (magnetita) así también como de la fibra con NPMs impregnadas, para ello es importante considerar algunos factores mientras se utiliza este equipo, como por ejemplo que se encuentre limpio y principalmente que este calibrado; lo primero que se debe realizar es un “background” para “limpiar” el área donde se coloca la muestra, esto con el objetivo de que los grupos funcionales de la magnetita no se confundan con los del aire o algún otro residuo.

Se lo puede utilizar tanto para muestras líquidas como sólidas, en nuestro caso se decidió realizar algunos lavados (en centrifugadora) con alcohol y agua desionizada al ferrofluido obtenido durante la impregnación y posteriormente se lo secó en la estufa a una temperatura no mayor a 50°C por 24 horas finalmente, la muestra fue pulverizada con ayuda de un mortero.

Después de haber calibrado el equipo, se colocó una pequeña cantidad de magnetita molida sobre el porta muestras del espectrofotómetro, se cerró el equipo y se aseguró el cristal para evitar algún tipo de interferencia.

- Microscopio Electrónico de Barrido (SEM)

Se basa principalmente en el uso de un haz de electrones para la creación y obtención de una imagen, es muy versátil en el estudio de sólidos y esto es debido a que se genera una gran variedad de señales cuando el haz interacciona con la muestra, se recomienda que para su uso las muestras sean conductoras o se debe recubrir con alguna capa de carbono o de un metal como el oro para otorgarles el carácter de un material conductor y así obtener una imagen de mayor calidad (Domínguez, 2015, pp. 8-9).

Se tomó una pequeña cantidad de la fibra A y se colocó en el porta muestra, por otro lado la magnetita pulverizada fue esparcida en una mínima cantidad también sobre un porta muestras; el software que este equipo posee nos permite visualizar si se ha dado o no la impregnación de magnetita en la fibra sintética y también ayuda para observar el tamaño de las partículas que se han sintetizado.

2.10.5.5. Evaluación de la adsorción de Hg

Se tomaron 0.1 mL de estándar de Hg de 1000 ppm y se aforó en un balón de 100 mL con agua desionizada, esta solución fue llevada a una agitación de 200 rpm junto a cada fibra, se tomaron alícuotas cada 15 min por una hora, se midieron valores de pH, conductividad y temperatura (Ilustración 2-11); los datos de cada fibra y su repetición se muestran en las Tablas de la 2-11 a la 2-16. Finalmente, cada alícuota fue guardada en tubos de vidrio con su respectivo etiquetado y enviadas a refrigeración. Es importante mencionar que todas las muestras fueron analizadas en el equipo de Espectrofotometría de Absorción Atómica (EAA) en donde se midió la concentración de Hg presente en cada alícuota para posteriormente calcular el porcentaje de remoción.



a) Extracción de 0.1 mL de estándar de Hg



b) Dilución de Hg en agua desionizada

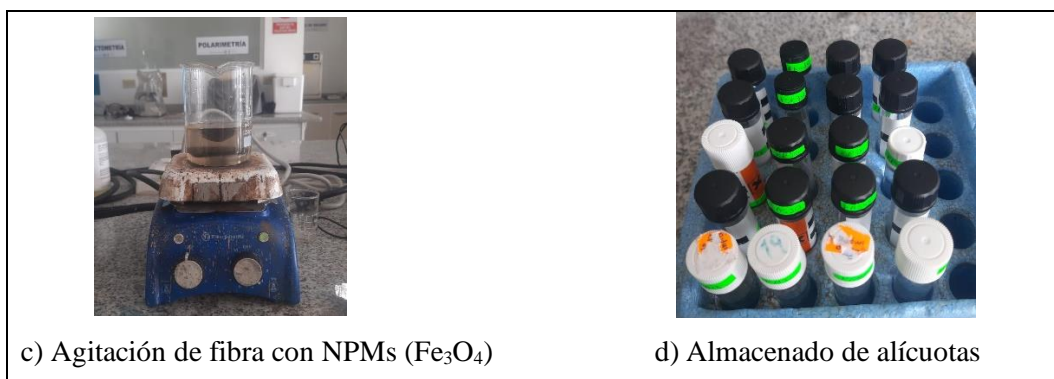


Ilustración 2-11: Proceso de remoción de Hg en agua contaminada

Realizado por: Intriago C., 2023.

Tabla 2-11: Valores de la fibra A, tratamiento 1

N° Muestra	pH	Conductividad (μS)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)
Sin fibra	3.66	880	17.8
1	4.18	842	17
2	4.10	921	18.4
3	4.10	749	17
4	4.00	1417	16.8

Realizado por: Intriago C., 2023.

Tabla 2-12: Valores de la fibra A, tratamiento 2

N° Muestra	pH	Conductividad (μS)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)
Sin fibra	3.72	989	17.2
1	3.88	1174	16.9
2	3.87	782	19.9
3	4.26	743	17
4	4.14	656	17.2

Realizado por: Intriago C., 2023.

Tabla 2-13: Valores de la fibra A, tratamiento 3

N° Muestra	pH	Conductividad (μS)	Temperatura (°C)
Sin fibra	3.80	1279	17.6
1	3.92	1168	18.1
2	3.94	782	18.2
3	3.91	669	18.2
4	3.94	538	18.1

Realizado por: Intriago C., 2023.

Tabla 2-14: Valores de la fibra B, tratamiento 1

N° Muestra	pH	Conductividad (μS)	Temperatura (°C)
Sin fibra	3.93	1261	17.4
1	4.06	1736	18.7
2	3.90	1473	28.5
3	4.17	1925	17.6
4	4.10	1504	21.2

Realizado por: Intriago C., 2023.

Tabla 2-15: Valores de la fibra B, tratamiento 2

N° Muestra	pH	Conductividad (μS)	Temperatura (°C)
Sin fibra	3.80	1262	17.3
1	4.02	2110	18.4
2	4.14	1880	19.8
3	4.22	1870	18
4	4.10	1720	25.3

Realizado por: Intriago C., 2023.

Tabla 2-16: Valores de la fibra B, tratamiento 3

N° Muestra	pH	Conductividad (μS)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)
Sin fibra	3.91	1212	17.3
1	4.26	1838	17.7
2	4.35	1735	18.8
3	4.41	1677	18.6
4	4.88	1622	18.1

Realizado por: Intriago C., 2023.

2.10.5.6. *Análisis de la concentración de Hg*

Para la medición de la concentración de Hg se utiliza el equipo de Espectrofotometría de Absorción Atómica (EAA) en donde se deben preparar soluciones para calibrar el equipo y para que este tenga la capacidad de medir la concentración de Hg presente en el agua, los procesos se describen a continuación:

Primero se realizó una solución con 10 mL de ácido clorhídrico en un balón de aforo de 500 mL más la adición de agua desionizada, la cual renombraremos como solución A.

Después, se tomó 0.1 mL de estándar de Hg de 1000 ppm y se aforó en un balón de 100 mL con la solución A, a esta la llamaremos solución B.

Finalmente, en 4 balones de aforo de 100 mL se colocaron 1 mL, 2 mL, 3 mL, y 4 mL de la solución B respectivamente y cada uno se aforó con la solución A (Ilustración 2-12).

Para la calibración del equipo también se debe hacer otra solución que consiste en pesar 3 g de borohidruro de sodio y 1.5 g de hidróxido de sodio, los cuales se aforaron en un balón de 500 mL con agua desionizada.

Una vez que se enciende el EAA, este debe ser calibrado con las soluciones que se prepararon con anterioridad para así obtener la curva de calibración, después se procede a leer cada muestra en donde se usan distintos valores de dilución, mismos que se ingresan en el equipo con el objetivo de obtener resultados de las concentraciones corregidas para finalmente analizar la adsorción.



a) Preparación de soluciones para el equipo de EAA



b) Soluciones aforadas.



c) Calibración del equipo de EAA.



d) Equipo de EAA.

Ilustración 2-12: Preparación del equipo de EAA para el análisis de remoción de Hg

Realizado por: Intriago C., 2023.

CAPÍTULO III

3. MARCO DE INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1. Resultados de la síntesis de NPMs (magnetita)

3.1.1. Espectrofotometría Infrarroja (FTIR)

El espectro IR que se muestra en la Ilustración 3-13, 3-14 nos muestra las bandas de absorción de los diferentes grupos funcionales que están presentes en la magnetita, así también como en la fibra con NPMs. El espectro relaciona Transmitancia (%T) y el número de onda en el rango de 500 a 4000 cm^{-1} .

- Espectros de la magnetita sintetizada para la fibra A y la fibra A con NPMs.

En la Ilustración 3-13 se observan bandas de absorción características a los grupos funcionales más comunes, por ejemplo, la banda en 3359 cm^{-1} con mayor intensidad para la Fe_3O_4 y la banda de 3347 cm^{-1} para la fibra A con Fe_3O_4 ; según (Shurvell, 2006, p. 1791) indica que aquellos valores encontrados en un rango de 2900 cm^{-1} a 3700 cm^{-1} pueden ser atribuidos a la vibración del grupo hidroxilo (O-H), que comúnmente son indicativo de agua o alcoholes (Morales et al., 2019, p. 41), y el ensanchamiento de la banda se lo asocia con puentes de hidrogeno entre los átomos de hidrógeno (Cortés, 2018, p. 29). También se les puede atribuir a este mismo grupo (O-H), pero considerando una vibración de deformación a aquellas bandas que se encuentran en 1631 cm^{-1} para la Fe_3O_4 y 1716 cm^{-1} para la fibra A con Fe_3O_4 según la bibliografía encontrada en (Morales et al., 2019, p. 41) y (Ormaza et al., 2020, p. 1100).

Con respecto a las bandas de absorción encontradas en 2896 cm^{-1} para la Fe_3O_4 y 2908 cm^{-1} para la fibra A con Fe_3O_4 corresponden a una vibración antisimétrica de los enlaces carbono-hidrógeno (C-H) (Ormaza et al., 2020, p. 1100); finalmente, la presencia de las NPs de Fe_3O_4 puede notarse por aquellas bandas encontradas en 549 cm^{-1} para la Fe_3O_4 y 578 cm^{-1} con 538 cm^{-1} para la fibra A con Fe_3O_4 , ya que se atribuyen al estiramiento simétrico del enlace (Fe-O) en las estructuras tetraédricas (Cortés, 2018, p. 27).

Es importante tomar en cuenta que la absorción relacionada con la vibración (Fe-O) de la Fe_3O_4 , es de mayor intensidad en comparación a la de la fibra A con Fe_3O_4 , lo que revela que las

partículas para la Fe_3O_4 poseen una mayor cristalinidad que las partículas impregnadas en la fibra (Pabón et al., 2021, p. 225).

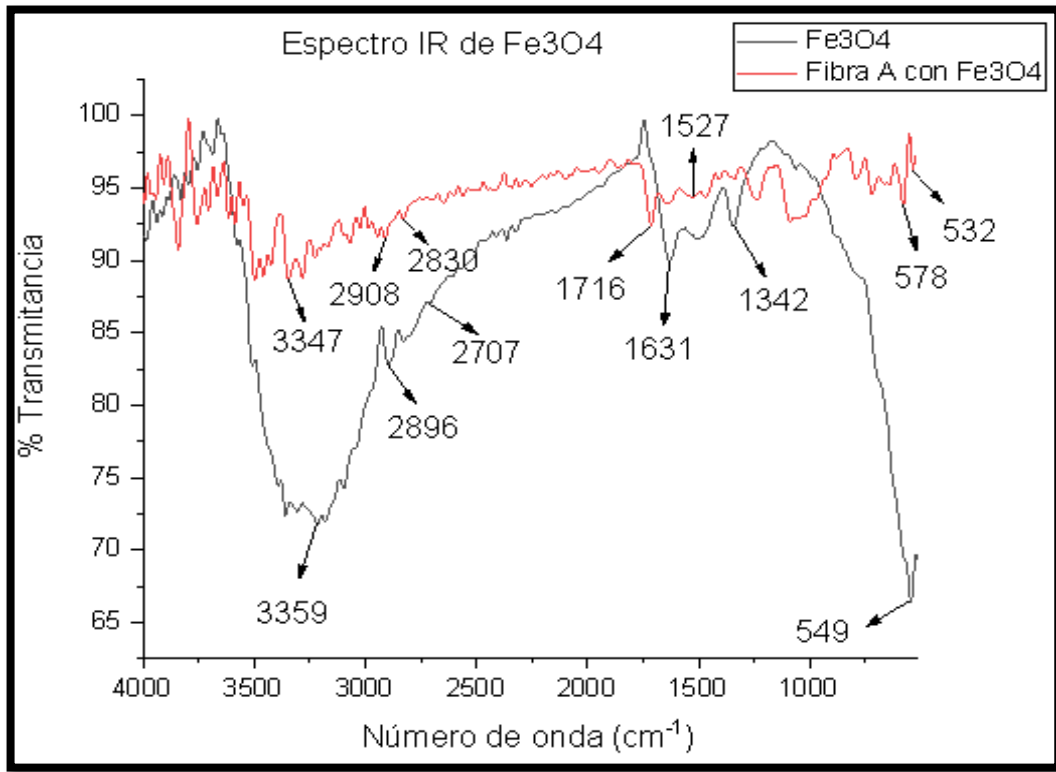


Ilustración 3-13: Espectro IR de la Fe_3O_4 y la fibra A con Fe_3O_4

Realizado por: Intriago C., 2023.

- Espectros de la magnetita sintetizada para la fibra B y la fibra B con NPMs.

Debido a que la síntesis de Fe_3O_4 utilizada para la fibra B se llevó a cabo de la misma forma que para la primera, se obtuvieron bandas de absorción bastante similares; entre ellas se destaca la banda de 3266 cm^{-1} y la de 1631 cm^{-1} que como se indicó anteriormente corresponde a las vibraciones de los grupos hidroxilo (O-H), además de eso tenemos un pico significativo en 2900 cm^{-1} que corresponde a una vibración antisimétrica de los enlaces C-H.

Finalmente, el pico de 555 cm^{-1} nos indica el estiramiento simétrico de los enlaces Fe-O y con ello la presencia de NPs de Fe_3O_4 , la gran intensidad que esta banda posee nos ayuda a corroborar la gran cristalinidad que posee.

Con respecto al espectro generado por la fibra B con Fe_3O_4 las bandas que más pueden destacar son: la de 3341 cm^{-1} correspondiente a las vibraciones de los grupos hidroxilo, y la banda

encontrada en 582 cm^{-1} que es indicativo del estiramiento simétrico de los enlaces Fe-O, pero debido a su baja intensidad se rechaza la hipótesis de que tenga una gran cristalinidad a diferencia de los otros espectros. A diferencia de la fibra A con Fe_3O_4 , la dificultad para encontrar semejanzas con la Fe_3O_4 es significativa, se cree que esto sucedió por la baja impregnación que se obtuvo, además de que dicha información se corrobora con los resultados obtenidos al momento de aplicarlo a remoción.

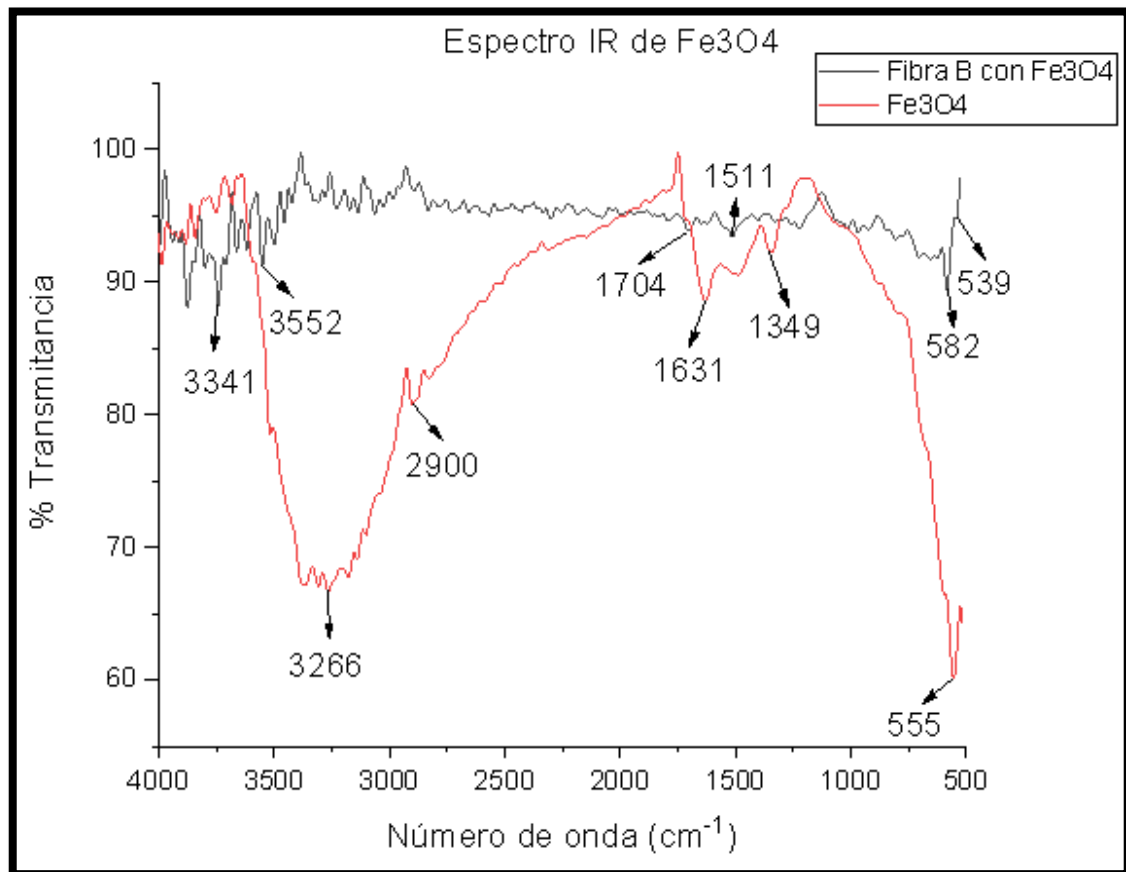


Ilustración 3-14: Espectro IR de la Fe_3O_4 y la fibra B con Fe_3O_4

Realizado por: Intriago C., 2023.

3.1.2. SEM de fibras sintéticas con magnetita

Para la caracterización utilizando el SEM, se tomó una pequeña cantidad de la fibra A con Fe_3O_4 , con el objetivo de comprobar que en efecto la magnetita se ha impregnado en las hebras que la componen.

Se debe considerar que la presente investigación está relacionada con la obtención de NPs, así que se tomó una pequeña cantidad de Fe_3O_4 sólida perteneciente a la síntesis de la fibra A,

obteniendo como resultantes las micrografías que se muestran en la Ilustración 3-15. La selección de las muestras para el SEM se las realizó solo para la fibra A y su respectiva síntesis debido a las limitaciones de uso del equipo.

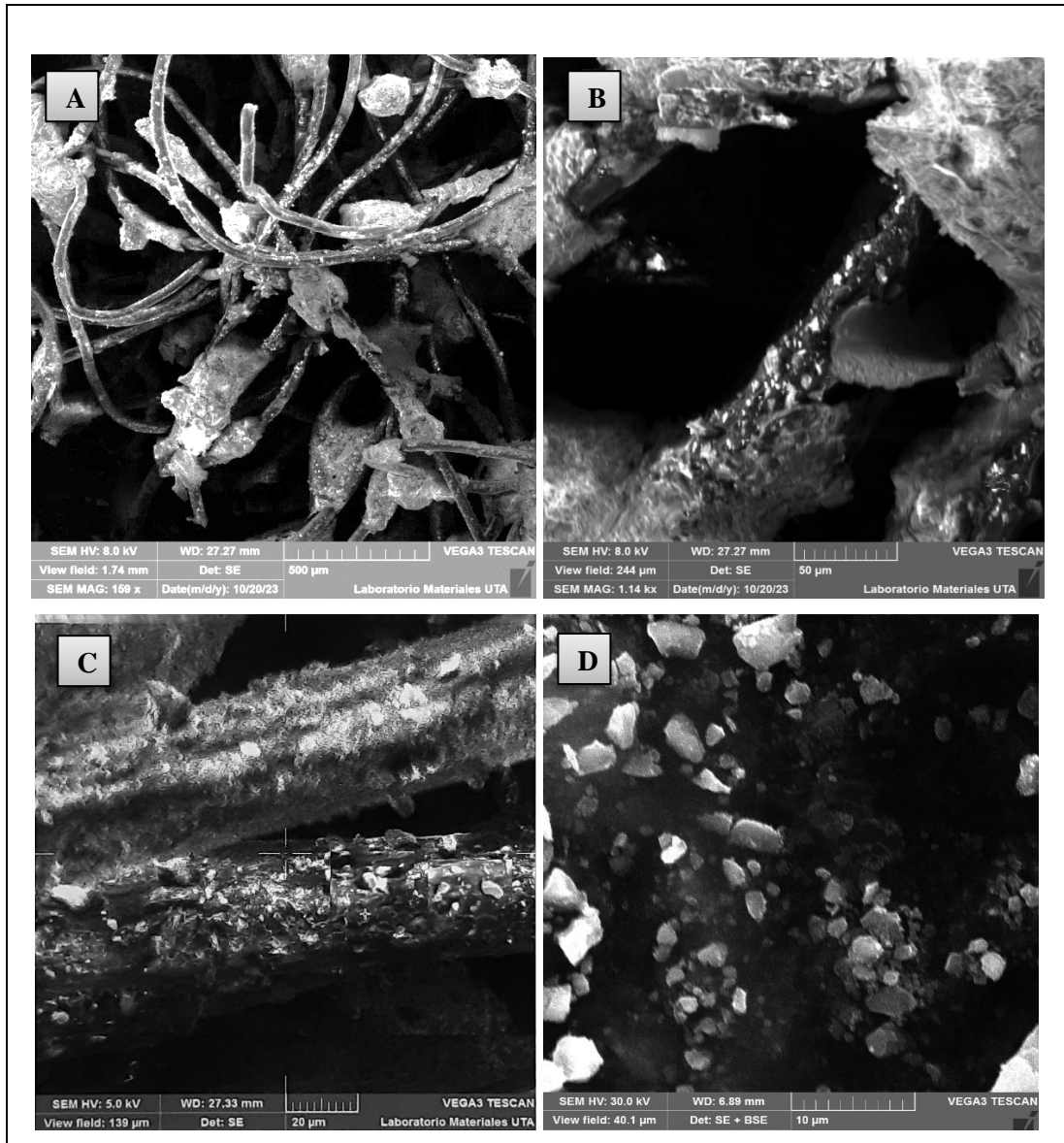


Ilustración 3-15: Micrografías SEM de la fibra A con Fe₃O₄ a distintos aumentos (A, B, y C) y (D) Fe₃O₄ sólida

Realizado por: Intriago C., 2023.

La micrografía A fue realizada con un voltaje de 8.0 kV y con una magnificación de 159x, la escala que se utilizó para esta imagen fue de 500 μm; escala poco considerable para observar tamaños, pero que se tomó con el objetivo de observar la impregnación de la Fe₃O₄ sobre las hebras que componen a la fibra, en donde además de la denotación de destellos a causa de la magnetita también se evidencia una aglomeración de NPs en distintos puntos de la fibra.

Por otro lado, en B, utilizando el mismo voltaje, pero una magnificación de 1.14 kx y utilizando una escala de 50 μm , se evidencia una sola hebra de la fibra y sobre esta distintivos en forma de cristales, corroborando así que la magnetita se ha impregnado sobre ella. En C, se utilizó un voltaje de 5.0 kV, con una escala de 20 μm en donde se observa una cantidad considerable de cristales; finalmente, en D, que corresponde a la muestra solo de Fe_3O_4 , se utilizó un voltaje de 30.0 kV con una magnificación de 6.90 kx y una escala de 10 μm , en donde gracias al aumento que esta posee es posible distinguir nano y micropartículas con una morfología semiuniforme y diversidad de tamaños. Con el objetivo de comprobar la formación de NPs, se tomaron medidas usando el programa *ImageJ*, medidas que se pueden evidenciar en la Ilustración (3-16).

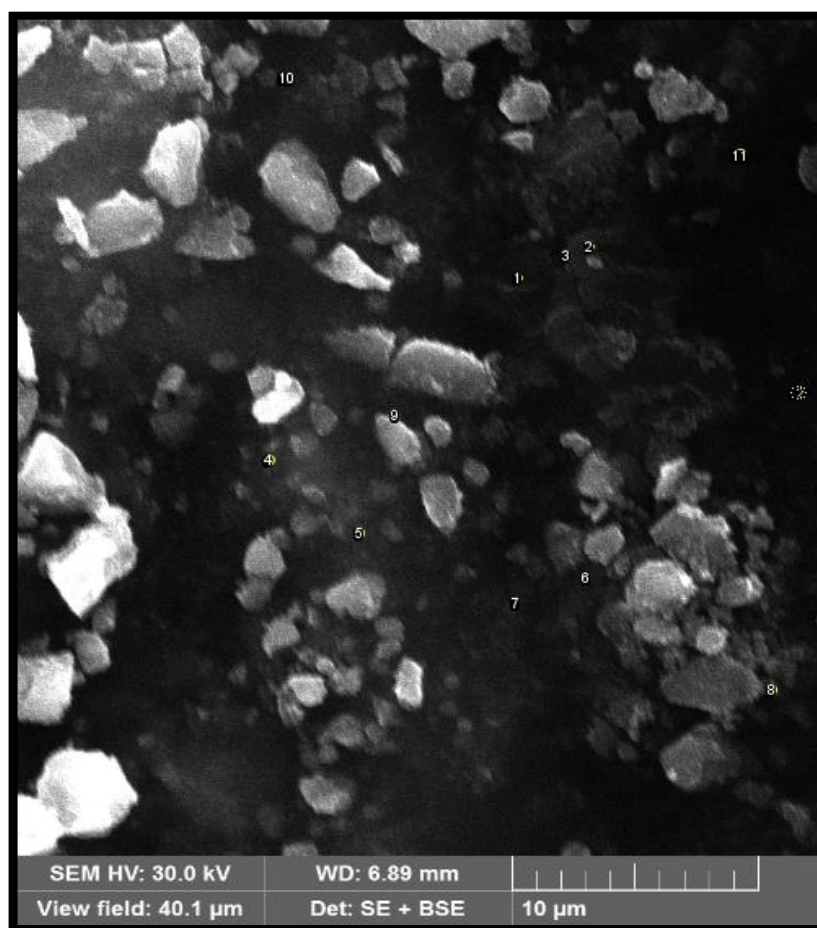


Ilustración 3-16: Micrografía SEM de NPs de Fe_3O_4
Realizado por: Intriago C., 2023

Se tomaron un total de 12 medidas escogidas al azar para las partículas más pequeñas, como se muestra en la Tabla 3-17 la distribución de tamaños se encuentra entre nano y micropartículas. Esto se debe a que la metodología empleada para la síntesis no permitió controlar el tamaño y distribución de las partículas, además de que por las limitaciones del equipo con respecto a la

perdida de estabilidad y resolución no se pudo hacer micro o nanografías de mayor aumento para una mejor visualización y contabilización de las NPs.

Tabla 3-17: Distribución de tamaños de partículas de Fe₃O₄

Tamaño de partículas de Fe₃O₄	
Nº de partícula	Tamaño (µm)
1	0.107
2	0.092
3	0.056
4	0.209
5	0.146
6	0.067
7	0.056
8	0.156
9	0.067
10	0.131
11	0.223
12	0.293

Realizado por: Intriago C., 2023.

De la muestra tomada para la medición de tamaños de NPs, se tiene valores de: 92, 56, 67, 56 y 67 nm para los números de partículas que se encuentran dentro de la escala nanométrica, evidenciando así la creación de partículas a una escala considerablemente pequeña.

3.2. Evaluación de la adsorción de Hg

Para la primera repetición con la fibra del tipo A denominada como FA1, se obtuvo una impregnación de magnetita de 66.2 mg, los resultados se muestran en la Tabla 3-18, en donde se identifica el porcentaje de Hg adsorbido y el cambio de concentración de Hg; se puede destacar el mayor porcentaje de adsorción en el minuto 30 con un valor del 95.67 %, pasado este tiempo también es importante resaltar que el Hg adsorbido se desprendió de la fibra, proceso denominado como desorción y muy común en este tipo de trabajos de investigación.

Tabla 3-18: Adsorción de Hg de FA1

Tiempo (min)	Concentración de Hg (ppb)	Porcentaje de adsorción (%)
0	1000	0
15	72.4153	92.75847
30	43.3291	95.66709
45	55.7142	94.42858
60	60.2798	93.97202

Realizado por: Intriago C., 2023.

A la segunda repetición denominada como FA2, obtuvo una impregnación de magnetita de 101.8 mg, el mayor porcentaje de adsorción lo alcanzó al minuto 30 con un valor del 95.87 %, al igual que en el caso anterior, pasado este tiempo se dio el proceso de desorción de Hg acumulado en la fibra.

Tabla 3-19: Adsorción de Hg de FA2

Tiempo (min)	Concentración de Hg (ppb)	Porcentaje de adsorción (%)
0	1000	0
15	87.3942	91.26058
30	41.2556	95.87444
45	50.2863	94.97137
60	57.2286	94.27714

Realizado por: Intriago C., 2023.

A la tercera repetición denominada como FA3, obtuvo una impregnación de magnetita de 72.9 mg, alcanzó su máximo porcentaje de adsorción al minuto 30 con un valor de 95.94 % y al igual que en los dos casos anteriores pasado este tiempo se dio el proceso de desorción.

Tabla 3-20: Adsorción de Hg de FA3

Tiempo (min)	Concentración de Hg (ppb)	Porcentaje de adsorción (%)
0	1000	0
15	58.8510	94.1149
30	40.5909	95.94091
45	57.8373	94.21627
60	67.1206	93.28794

Realizado por: Intriago C., 2023.

En la Ilustración 3-17 se presenta una comparativa entre los datos obtenidos por cada repetición utilizando la fibra A, esta se realizó en base al tiempo de contacto en minutos y la concentración de Hg en ppb, además de que no se tomó en cuenta el valor inicial de 1000 ppb con el objetivo de observar de una mejor manera los datos obtenidos de los tratamientos de la fibra A.

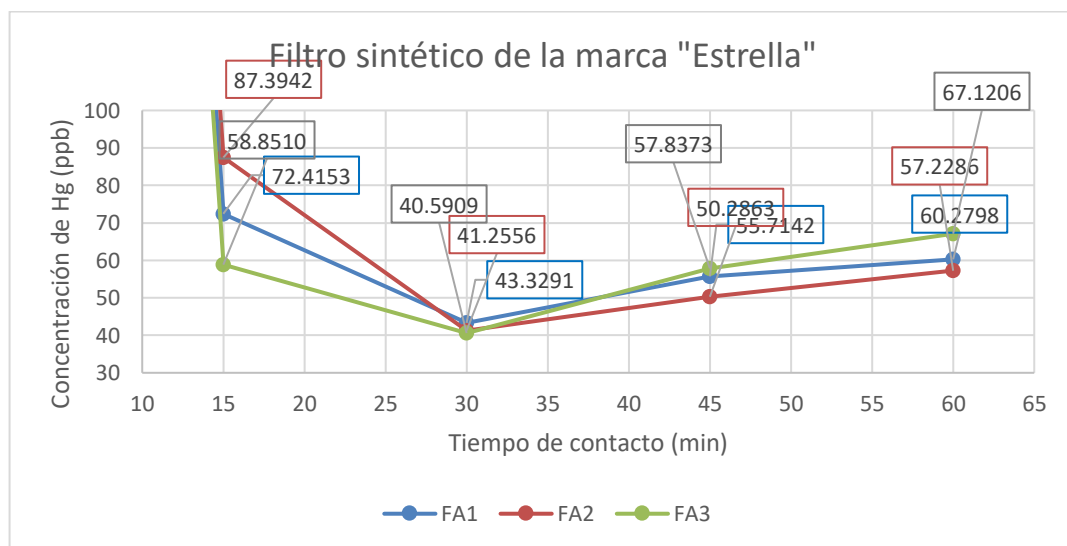


Ilustración 3-17: Comparación de resultados entre FA1, FA2, y FA3

Realizado por: Intriago C., 2023.

Se procedió de la misma forma para la fibra B, en donde para la primera repetición denominada FB1 se obtuvo una impregnación de magnetita de 48.2 mg, en la Tabla 3-21 se puede observar que el mayor porcentaje de remoción se logró al minuto 60 de contacto siendo este un valor de 74.11 %, algo que es importante notar en este repetición es que en diferentes tiempos de contacto la fibra sufre un proceso de adsorción o desorción, por ejemplo, en el minuto 30 se consigue un valor de 46.75 %, mientras que en el minuto 45 el valor desciende a 36.93 %.

Tabla 3-21: Adsorción de Hg de FB1

Tiempo (min)	Concentración de Hg (ppb)	Porcentaje de adsorción (%)
0	1000	0
15	954.7253	4.52747
30	532.4689	46.75311
45	630.7499	36.92501
60	258.8911	74.11089

Realizado por: Intriago C., 2023.

Para la segunda repetición denominada FB2 se obtuvo una impregnación de magnetita de 54.1 mg en donde al igual que en el caso anterior el mayor porcentaje de adsorción se consiguió al minuto 60 con un valor de 77.07 %, en donde igualmente se observa el fenómeno de la desorción más específicamente entre el minuto 15 y 30 en donde se obtiene inicialmente un valor de 20.33 %, y después desciende a 15.58 %.

Tabla 3-22: Adsorción de Hg de FB2

Tiempo (min)	Concentración de Hg (ppb)	Porcentaje de adsorción (%)
0	1000	0
15	796.6848	20.33152
30	844.2380	15.5762
45	463.1652	53.68348
60	229.2327	77.07673

Realizado por: Intriago C., 2023.

Finalmente, para la tercera repetición FB3, se obtuvo una impregnación de magnetita de 74.9 mg en donde a diferencia de las otras repeticiones esta tuvo su mayor porcentaje de remoción en el minuto 30 con un valor de 76.38 % el cual se mantuvo en el minuto 45 y para el minuto 60 de contacto solo disminuyó en una unidad, teniendo finalmente un valor de 75.06 %.

Tabla 3-23: Adsorción de Hg de FB3

Tiempo (min)	Concentración de Hg (ppb)	Porcentaje de adsorción (%)
0	1000	0
15	630.3475	36.96525
30	230.2242	76.37739
45	236.2261	76.37739
60	249.3712	75.06288

Realizado por: Intriago C., 2023.

En la Ilustración 3-18 podemos observar más detalladamente una comparativa entre cada tratamiento realizado con la fibra B, ilustración que fue realizada en base al tiempo de contacto en minutos y la concentración de Hg en ppb.

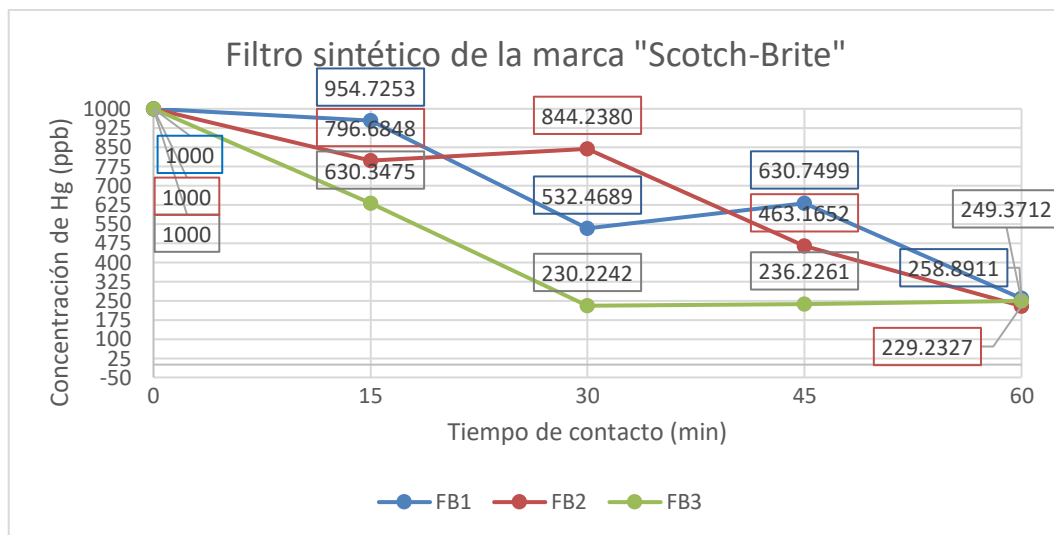


Ilustración 3-18: Comparación entre resultados de FB1, FB2, y FB3

Realizado por: Intriago C., 2023.

De los 6 tratamientos que se realizaron se lograron distintos porcentajes de remoción; el cambio es muy notorio entre tipos de fibra, debido a que con la fibra A y sus repeticiones se observan porcentajes muy altos de remoción como lo son de 95.66 %, 95.87 % y 95.94 % en el minuto 30 de contacto; por otro lado, los porcentajes de remoción más altos de la fibra B en sus dos primeras repeticiones fueron de 74.11 %, 77.07% respectivamente obtenidos en el minuto 60 de contacto y para la última repetición con un valor máximo del 76.38 % al minuto 30 manteniéndose constante hasta el minuto 45.

Además, se optó por hacer una comparativa entre el tiempo de contacto y el porcentaje de adsorción alcanzado en cada tratamiento, valores que se muestran en la Tabla 3-24.

Tabla 3-24: Porcentajes de adsorción de los 6 tratamientos

Tiempo (min)	FA1 (%)	FA2 (%)	FA3 (%)	FB1 (%)	FB2 (%)	FB3 (%)
0	0	0	0	0	0	0
15	92.75847	91.26058	94.1149	4.52747	20.33152	36.96525
30	95.66709	95.87444	95.94091	46.75311	15.5762	76.37739
45	94.42858	94.97137	94.21627	36.92501	53.68348	76.37739
60	93.97202	94.27714	93.28794	74.11089	77.07673	75.06288

Realizado por: Intriago C., 2023.

En la Ilustración 3-19 se puede observar gráficamente la adsorción que ha conseguido la fibra A y B, así también como cada tratamiento. Se concluye que el mayor porcentaje de adsorción se da por la fibra A de la marca “Estrella”, ya que, en los 3 tratamientos que le corresponden se obtuvieron los más altos niveles de remoción al minuto 30 de contacto con un porcentaje del 95 % , se debe tomar en cuenta que transcurrido este tiempo la fibra presenta una desorción de Hg.

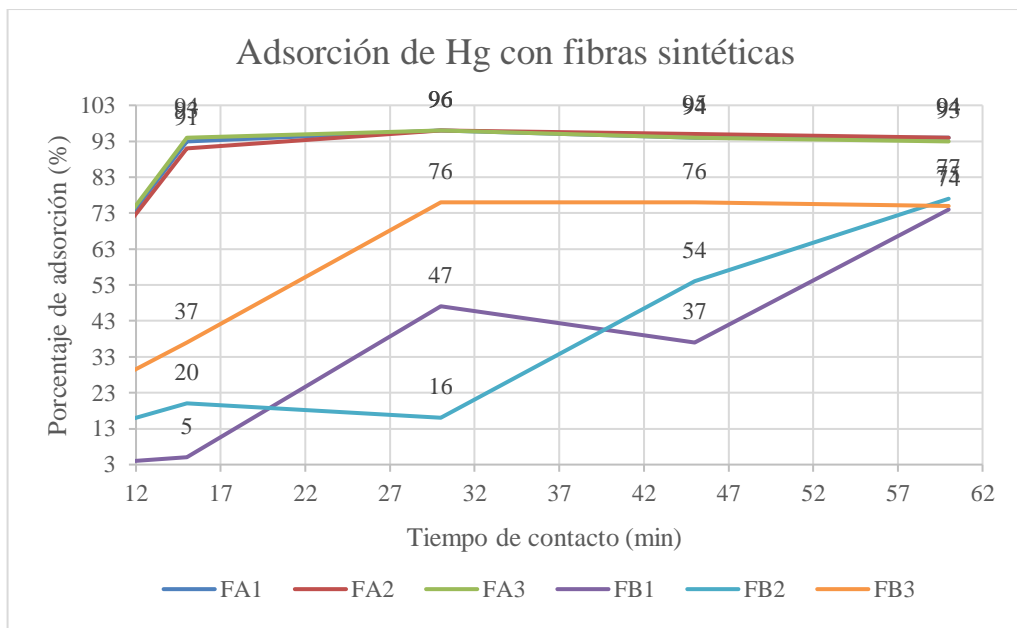


Ilustración 3-19: Comparación de resultados obtenidos para cada tratamiento

Realizado por: Intriago C., 2023.

La diferencia de adsorción entre la fibra A y B es muy notoria, lo cual pudo deberse a que las hebras de la fibra B están mucho más compactadas en comparación con la fibra A, así que desde el momento en el que fue manipulada presentó inconvenientes por su grosor lo que pudo impedir que las NPs de magnetita se impregnen y por ende disminuya su porcentaje de adsorción.

También se realizó una comparativa de remoción de ambos tipos de fibras sintéticas sin ningún tratamiento y se observó que la fibra A por si sola tiene la capacidad de adsorber hasta un 50 % de Hg en el minuto 30 de contacto a diferencia de la fibra B que solo adsorbe un 20 % al minuto 60 de contacto, indicativo de que también el tipo de fibra influyó en los resultados obtenidos.

3.3. Análisis estadístico

Para llevar a cabo el análisis estadístico, lo primero que se realizó fueron las pruebas o supuestos que se deben cumplir para poder aplicar el análisis de varianza o también llamado ANOVA. Estos supuestos son: normalidad, independencia e igualdad de varianzas (homocedasticidad). Además de eso en el Anexo A se encuentra descrito los datos necesarios para el cálculo de los supuestos y el análisis con respecto a cada tipo de fibra.

3.3.1. Supuesto de Normalidad

Este supuesto se lo llevó a cabo mediante la prueba de Kolmogórov-Smirnov y Shapiro Wilk, el cual nos indica que si el nivel de significancia es mayor a 0.05 se puede comprobar que los datos analizados provienen de una distribución normal. Los resultados obtenidos para el tipo de fibra se observan en la Tabla 3-25. El valor de la significancia para ambos casos es mayor a 0.05, por lo que, se concluye que a un nivel de confianza del 95% los datos para la fibra A y B se distribuyen normalmente.

Tabla 3-25: Supuesto de Normalidad para el tipo de fibra

Pruebas de Normalidad							
Concentración de Hg (ppb)	Fibra	Kolmogórov-Smirnov ^a			Shapiro Wilk ^a		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
	A	,174	12	,200*	,933	12	,417
B	,238	12	,060	,876	12	,078	

*. Límite inferior de la significación verdadera.
a. Corrección de significancia de Lilliefors

Realizado por: Intriago C., 2023.

3.3.2. Supuesto de Independencia

Para comprobar el supuesto de independencia también se tomaron valores entre grupos, es decir para cada tipo de fibra aplicada en la remoción de Hg. Los valores se muestran en la Tabla 3-26. El tipo de fibra fue escogido completamente al azar, lo cual se puede traducir como un muestreo aleatorio simple, asegurando la independencia de los datos.

Tabla 3-26: Supuesto de Independencia para el tipo de fibra con NPs

Procesamiento de casos							
Concentración de Hg (ppb)	Fibra con NPs	Casos					
		Válido		Perdidos		Total	
		N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
	A	12	100,0%	0	0,0%	12	100,0%
B	12	100,0%	0	0,0%	12	100,0%	

Realizado por: Intriago C., 2023.

3.3.3. Supuesto de Igualdad de Varianzas (homocedasticidad)

Como se realizó un análisis ANOVA de factores inter-sujetos (entre grupos), se realizó la Tabla 3-27 en donde se detallan los grupos de datos tanto para el tipo de fibra como para el tiempo de contacto.

Tabla 3-27: Factores inter-sujetos

Factores inter-sujetos			
		Etiqueta de valor	N
Fibra + NPs	1	Fibra A	12
	2	Fibra B	12
Tiempo (min)	1	15	6
	2	30	6
	3	45	6
	4	60	6

Realizado por: Intriago C., 2023.

Se llevo a cabo la prueba de Igualdad de Levene de varianzas de error, el cual nos indica que con una significancia mayor a 0.05 se comprueba que los datos analizados tienen la misma varianza.

Los resultados obtenidos se visualizan en la Tabla 3-28, en donde el único valor mayor al nivel de significancia se cumple para la mediana con grados de libertad ajustados.

Es decir que se rechaza la hipótesis de que las varianzas de los grupos son iguales, esto se pudo haber dado debido a la poca cantidad de datos; una solución a este problema podría ser disminuyendo el nivel de significancia a 0.03 para que los valores se encuentren dentro del rango, pero debido a que todos los supuestos se trabajaron con un nivel de confianza de 0.05 y que 2 de estos se cumplen satisfactoriamente para el análisis ANOVA se optó por dejar este supuesto con el mismo nivel de significancia y trabajar el análisis con lo obtenido.

Tabla 3-28: Supuesto de igualdad de varianza

Prueba de Igualdad de Levene de varianzas de error^{a,b}					
		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Concentración de Hg (ppb)	Se basa en la media	3,059	7	16	,030
	Se basa en la mediana	2,743	7	16	,045
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	2,743	7	4,684	,151
	Se basa en la media recortada	3,041	7	16	,031
Prueba la hipótesis nula de que la varianza de error de la variable dependiente es igual entre grupos. ^{a,b}					
a. Variable dependiente: Concentración de Hg (ppb)					
b. Diseño: Intersección + Fibra + Tiempo + Fibra*Tiempo					

Realizado por: Intriago C., 2023.

Análisis ANOVA

Dentro del ANOVA se tienen dos posibles factores: el conocido como intra-sujetos en donde se evalúa a todos los sujetos del estudio, dentro de este no se puede realizar pruebas de comparaciones múltiples posibles, el otro factor conocido como inter-sujetos evalúa a grupos diferentes de sujetos, además de ser el factor más típico dentro del análisis ANOVA, a este factor sí es posible aplicarle las técnicas de comparaciones múltiples, misma que se explica en el *subcapítulo 3.4.* utilizando la prueba de Tukey. En la Tabla 3-29 se detallan los valores de significancia obtenidos para el ANOVA de inter-sujetos.

Tabla 3-29: Análisis ANOVA para factores inter-sujetos.

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Concentración de Hg (ppb)					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	1666530,508 ^a	7	238075,787	11,885	<,001
Intersección	1897672,577	1	1897672,577	94,733	<,001
Fibra	1198862,940	1	1198862,940	59,848	<,001
Tiempo	243110,863	3	81036,954	4,045	,026
Fibra * Tiempo	224556,705	3	74852,235	3,737	,033
Error	320510,221	16	20031,889		
Total	3884713,306	24			
Total corregido	1987040,729	23			

a. R al cuadrado = ,839 (R al cuadrado ajustada = ,768)

Realizado por: Intriago C., 2023.

Con los valores obtenidos para la significancia del diseño se concluye que:

El tiempo tiene un valor de significancia de ,026 valor menor a 0.05, por ende, se rechaza la hipótesis nula y se considera la hipótesis alternativa que nos indica que el tiempo de contacto influye en el porcentaje de remoción del Hg.

Este último resultado se repite para la significancia obtenida de la correlación del tipo de fibra con el tiempo de contacto, cuyo valor corresponde a ,033, con esto se puede concluir que el tipo de fibra y el tiempo de contacto influyen en el porcentaje de remoción del Hg.

3.4. Pruebas Post hoc (Comparaciones Múltiples)

También se realizó el análisis post hoc de comparaciones múltiples como un complemento, el cual consiste en analizar los datos experimentales posterior al análisis ANOVA para inter-sujetos. Para llevarlo a cabo se utilizó la prueba de Tukey que nos ayuda a determinar si los grupos de datos difieren entre sí, comparando cada media con la media de todos los demás grupos, estos valores se muestran en la Tabla 3-30, de donde podemos concluir que la diferencia de medias es significativa para 2 datos, esta se presenta en la correlación del tiempo 15 con el tiempo 60 de contacto y lo mismo sucede a la inversa, ya que, su valor de significancia es menor a ,05.

Tabla 3-30: Prueba de Tukey para las comparaciones múltiples

Comparaciones múltiples						
Variable dependiente: Concentración de Hg (ppb)						
(Honestly-Significant-Difference) HSD Tukey						
(I) Tiempo (min)	(J) Tiempo (min)	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
15	30	144,7183	81,71472	,322	-89,0691	378,5058
	45	184,4050	81,71472	,150	-49,3824	418,1924
	60	279,7167*	81,71472	,017	45,9292	513,5041
30	15	-144,7183	81,71472	,322	-378,5058	89,0691
	45	39,6867	81,71472	,961	-194,1008	273,4741
	60	134,9983	81,71472	,379	-98,7891	368,7858
45	15	-184,4050	81,71472	,150	-418,1924	49,3824
	30	-39,6867	81,71472	,961	-273,4741	194,1008
	60	95,3117	81,71472	,656	-138,4758	329,0991
60	15	-279,7167*	81,71472	,017	-513,5041	-45,9292
	30	-134,9983	81,71472	,379	-368,7858	98,7891
	45	-95,3117	81,71472	,656	-329,0991	138,4758
Se basa en las medias observadas.						
El término de error es la media cuadrática(Error) = 20031,889.						
*. La diferencia de medias es significativa en el nivel ,05.						

Realizado por: Intriago C., 2023.

CAPÍTULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Durante el desarrollo de este trabajo de investigación se utilizaron 2 tipos de fibras sintéticas, se realizaron dos síntesis de NPMs (magnetita) utilizando el método de coprecipitación química en donde se efectuaron algunos cambios de factores como agitación y velocidad de goteo de NaOH con el objetivo de optimizar el proceso y también para reducir la probabilidad de oxidación de estas.
- Para la impregnación de NPMs (magnetita) en filtros, se utilizaron 2 fibras sintéticas, la fibra A de la marca “Estrella” y la fibra B de la marca “Scotch-Brite”, ambas fibras fueron sometidas a un proceso de hidrolización necesario para la impregnación de magnetita durante la síntesis de esta (*in situ*). Además, se debe tomar en cuenta que se realizaron 3 tratamientos por cada tipo de fibra, por lo que, la cantidad de magnetita impregnada en cada una fue distinta. Los valores para la fibra A fueron de: 66.2 mg, 101.8 mg, 72.9 mg y para la fibra B los valores fueron de: 48.2 mg, 54.1 mg, 74.9 mg.
- Se realizó el análisis de la magnetita resultante de la síntesis y de las fibras con NPMs. Para la caracterización de ambas síntesis de magnetita y los dos tipos de fibras se utilizó el equipo FTIR en el cual se pudo evidenciar para los 4 casos la banda más característica de la magnetita atribuidas al estiramiento simétrico del enlace Fe-O, ubicados en: 549 cm^{-1} para la síntesis utilizada en la fibra A, 555 cm^{-1} en la síntesis de la fibra B, 578 cm^{-1} perteneciente a la fibra A, y finalmente una banda de baja intensidad en 582 cm^{-1} correspondiente a la fibra B. El uso del equipo SEM se lo realizó solo para la fibra A la cual obtuvo porcentajes de remoción altos en el desarrollo de este trabajo y la magnetita resultante, debido a problemas técnicos en conjunto con las limitaciones de uso del equipo. En las ilustraciones obtenidas por el equipo se puede evidenciar la impregnación de NPMs (magnetita) en las hebras que conforman a la fibra sintética, es importante mencionar que en ciertas partes se puede observar aglomeraciones dándonos a entender que también se formaron micropartículas de magnetita y finalmente, evidenciando la presencia de NPs en la muestra solo de magnetita sólida.

- Para la aplicación de las fibras sintéticas, se elaboró agua contaminada con 0.1 mL de estándar de Hg de 1000 ppm en un balón de aforo de 100 mL con agua desionizada lo mismo que corresponde a 1000 ppb de Hg, dicha solución se repitió igual para cada tratamiento; durante este proceso se mantuvo una agitación constante de 200 rpm y se tomaron alícuotas cada 15 min durante una hora con el objetivo de valorar el nivel de adsorción que presentan los dos tipos de fibras sintéticas. Se tomaron valores de pH, conductividad y temperatura para tener un mayor control del proceso y considerarlo en caso de obtener variación de datos considerables.
- Se procedió con la caracterización de las aguas tratadas utilizando el equipo de Espectrofotometría de Absorción Atómica (EAA), en donde se pudo evidenciar que al utilizar la fibra A el porcentaje de remoción es superior al 95 %, por otro lado, la fibra B alcanzó un porcentaje del 77 %. Otro factor importante para considerar es el tiempo en el que se logró alcanzar estos porcentajes de remoción, en los tres tratamientos correspondientes a la fibra A se obtuvo una máxima remoción en el minuto 30 de contacto y luego empezó con el proceso de desorción, mientras que la fibra B consiguió su máxima remoción al minuto 60 de contacto y para cada uno de sus tratamientos a un distinto tiempo de contacto se dio la adsorción o desorción.

4.2. Recomendaciones

Realizar nuevas investigaciones utilizando otros tipos de filtros de tipo sintético, semisintético o vegetal que puedan ser aplicados al tratamiento de aguas contaminadas para lograr mejores resultados de adsorción.

Mejorar las técnicas de impregnación de NPMs en los filtros y comprobar si los resultados de adsorción mejoran comparándolos con este trabajo.

Modificar el método utilizado para la síntesis de magnetita con el objetivo de conseguir tamaños más uniformes y con mayor estabilidad.

Buscar una solución a la generación de lodos por la magnetita al momento de aplicarla a remoción.

Buscar técnicas enfocadas a la caracterización de muestras con el objetivo de comprobar tamaños, morfología, topografías, entre otros para investigaciones de este tipo.

BIBLIOGRAFÍA

ACUÑA VITERI, Carlos Andrés. Estudio comparativo bibliográfico de tres adsorbentes naturales, utilizados para biorremediar aguas contaminadas con mercurio en la explotación aurífera. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Nacional del Chimborazo (UNACH). Riobamba-Ecuador. 2020. p. 13. [Consulta: 2023-09-19]. Disponible en: <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/7452/2/Tesis%20Final%20Carlos%20Acu%20c3%b1a.pdf>

ARENAS, Adolfo D., et al. “EVALUACIÓN DE LA PLANTA *Lemma minor* COMO BIORREMIADORA DE AGUAS CONTAMINADAS CON MERCURIO”. *Avances en Ciencias e Ingeniería* [en línea], 2011, (Venezuela), vol. 2 (3), pp. 1-11. [Consulta: 19 septiembre 2023]. ISSN 0718-8706. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=323627683001>

BALALI-MOOD, Mahdi, et al. “Toxic Mechanisms of Five Heavy Metals: Mercury, Lead, Chromium, Cadmium, and Arsenic”. *Frontiers in Pharmacology* [en línea], 2021, (Irán) vol. 12. pp. 1-19. [Consulta: 16 noviembre 2023]. ISSN 1663-9812. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fphar.2021.643972>

BARRIENTOS, J. E. & MATUTES, A. J. “Uso de nanomateriales magnéticos para la remoción de arsénico del agua para consumo humano*”. *Mundo nano* [en línea], 2013, (México), vol. 6, (11), pp. 76-84. [Consulta: 15 enero 2023]. ISSN 2448-5691. Disponible en: <http://www.mundonano.unam.mx/ojs/index.php/nano/article/view/50006>

BORJA-BORJA, Johnny M., et al. “Los nanomateriales y sus aplicaciones en la remediación ambiental”. *Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional* [en línea], 2020, (Ecuador), vol. 5 (7), pp. 338-370. [Consulta: 26 septiembre 2023]. ISSN 2550-682X. Disponible en: <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/1517/2813>

BORJA-BORJA, Johnny Marlon & ROJAS-OVIEDO, Byron Stalin. “Nanomateriales: métodos de síntesis”. *Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional* [en línea], 2020, (Ecuador), vol. 5 (8), pp. 426-445. [Consulta: 26 septiembre 2023]. ISSN 2550-682X. Disponible en: <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/1597/3012>

CABALLERO, Hened S. & LÓPEZ, Raúl G. *C.4 Las nanopartículas magnéticas y sus múltiples aplicaciones* [en línea]. Coahuila-México: Universidad Autónoma de Coahuila, 2012. [Consulta: 19 enero 2023]. Disponible en: <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/494/1/Las%20nanopart%20c3%adculas%20magn%20y%20sus%20m%20c3%baltiples%20aplicaciones.pdf>

CARRASCO SÁNCHEZ, Diana. Control del tamaño de nanopartículas de Fe₃O₄ Magnéticas por el método de Co-precipitación. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP). Puebla-México. 2016. pp. 10-23. [Consulta: 2023-

01-19]. Disponible en: <https://repositorioinstitucional.buap.mx/items/b6e719b2-cabc-40cf-a8c2-80a881b43e91>

CAVIEDES RUBIO, Diego I., et al. “Tratamientos para la Remoción de Metales Pesados Comúnmente Presentes en Aguas Residuales Industriales. Una Revisión”. Dialnet: *Revista Ingeniería y Región* [en línea], 2015, (Colombia) vol. 13 (1), pp. 73-90. [Consulta: 15 noviembre 2023]. ISSN 1657-6985. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5432290>

CORTÉS BARRENA, Javier. Síntesis y caracterización de nanopartículas de óxidos de hierro. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Pública de Navarra. Navarra-España. 2018. pp. 10-13. [Consulta: 2023-11-27]. Disponible en: https://academica-e.unavarra.es/xmlui/bitstream/handle/2454/30639/Cortes_Barrena_Javier_TFG_106710.pdf?sequence=1&isAllowed=y

DOMÍNGUEZ MORÁN, Cristina. Síntesis de nanopartículas de óxidos y sulfuros. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad de Oviedo. Oviedo-España. 2015. pp. 7-9. [Consulta: 2023-09-26]. Disponible en: <https://digital.csic.es/handle/10261/223981>

GAONA MARTÍNEZ, Xavier. El mercurio como contaminante global. Desarrollo de metodologías para su determinación en suelos contaminados y estrategias para la reducción de su liberación al medio ambiente. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Doctorado). Universidad Autónoma de Barcelona. Barcelona-España. 2004. pp. 9-27. [Consulta: 2023-01-23]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10803/3174>

GARCÍA MESA, María Paula & GONZÁLEZ REYES, Jorge Andrés. Evaluación del desempeño de nanopartículas de magnetita en la remoción de cobre respecto al método convencional de precipitación alcalina para el tratamiento de aguas de producción del campo “B” a nivel de laboratorio con fines de reinyección. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Fundación Universidad de América. Bogotá-Colombia. 2021. pp. 16-35. [Consulta: 2022-12-12]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.11839/8634>

GONZÁLEZ PALACIOS, Myriam Alexandra. Síntesis de nanopartículas de magnetita recubiertas de quitosano para la adsorción de cromo hexavalente. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH). Riobamba-Ecuador. 2022. pp. 6-14. [Consulta: 2023-01-21]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/17577>

INSHT INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. *Seguridad y salud en el trabajo con nanomateriales*. [en línea]. Madrid-España: INSHT, 2015. [Consulta: 23 julio 2023]. Disponible en: <https://www.insst.es/seguridad-y-salud-en-el-trabajo-con-nanomateriales>

LAGROIX, F., et al. *Geological Occurrences and Relevance of Iron Oxides. In Iron Oxides: From Nature to Applications* [en línea]. Weinheim-Alemania: Wiley-VCH, 2016. [Consulta: 20 enero 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/9783527691395.ch2>

LLAMUCA ÑAÑAY, Juan Pablo. Evaluación de la actividad biosorbente de la cáscara de naranja y espiga de arroz para la remoción de mercurio inorgánico en solución. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH). Riobamba-Ecuador. 2018. pp. 1-15. [Consulta: 2023-09-23]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/9752>

LÓPEZ RIVEROS, María Catalina. *Estropajo como material textil aplicado al Diseño de Vestuario.* [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad de San Buenaventura. Santiago de Cali-Colombia. 2020. pp. 7-15. [Consulta: 2023-03-23]. Disponible en: <https://bibliotecadigital.usb.edu.co/server/api/core/bitstreams/9c684bb9-392d-48b5-a97c-6e78d71ab576/content>

MACÍAS ERAZO, Karen Elizabeth. Aplicación de nanopartículas magnéticas de hierro (magnetita) en la adsorción de arsénico en aguas contaminadas. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH). Riobamba-Ecuador. 2022. pp. 10-50. [Consulta: 2023-01-23]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/16939>

MAJUMDER, A. et al. “Green synthesis of iron oxide nanoparticles for arsenic remediation in water and sludge utilization”. *Clean Technologies and Environmental Policy* [en línea], 2019, (India), vol. 21 (4), pp. 795-813. [Consulta: 24 julio 2023]. ISSN 1618-9558. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10098-019-01669-1>

MARIMON BOLIVAR, Wilfredo. Ingeniería de Nanopartículas Magnéticas para la remoción de metales pesados en aguas. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Doctoral). Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá-Colombia. 2018. pp. 2-7. [Consulta: 2022-12-12]. Disponible en: <https://doi.org/10.11144/Javeriana.10554.39649>

MARQUEZ CAZORLA, Jessica I., et al. “Impregnación de nanopartículas de CuO en tejidos de algodón con acabado antimicrobiano”. *Véritas Journal* [en línea], 2022, (Perú), vol. 23 (1), pp. 61-64. [Consulta: 23 marzo 2023]. ISSN 1684-7822. Disponible en: <https://revistas.ucsm.edu.pe/ojs/index.php/veritas/article/view/337>

MORALES, Fabiana, et al. “Caracterización de nanopartículas de magnetita sintetizadas por el método de coprecipitación”. *Revista Ciencia e Ingeniería* [en línea], 2019, (Argentina), vol. 40 (1), pp. 39-44. [Consulta: 4 agosto 2023]. ISSN 1316-7081. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11336/162186>

NOVAL LARA, Virginia E., et al. “Magnetita (Fe₃O₄): Una estructura inorgánica con múltiples aplicaciones en catálisis heterogénea”. *Revista Colombiana de Química* [en línea], 2017,

(Colombia), vol. 46 (1), pp. 42-59. [Consulta: 23 agosto 2023]. ISSN 2357-3791. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcolquim/article/view/62831>

ORMAZA HUGO, Rosa M., et al. “Síntesis y caracterización físico-química de nanopartículas magnéticas de hierro (magnetita) - liofilización”. *Dialnet: Dominio de las Ciencias. Ciencias Técnicas y Aplicadas* [en línea], 2020, (Ecuador), vol. 6 (3), pp. 1094-1107. [Consulta: 17 noviembre 2023]. ISSN 2477-8818. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7539759>

ORTIZ, Paola, et al. “Síntesis in situ de nanopartícula de óxidos de hierro soportadas en fibras de fique y su uso en la degradación de colorantes”. *Revista Colombiana de Materiales* [en línea], 2014, (Colombia), vol. 5, pp. 152-158. [Consulta: 23 marzo 2023]. Disponible en: <https://revistas.udea.edu.co/index.php/materiales/article/view/19589/16646>

PABÓN-GUERRERO, Santiago E., et al. “Synthesis of iron oxide nanoparticles using aqueous extract of *Eucalyptus grandis*”. *Revista DYNA* [en línea], 2021, (Colombia), vol. 88 (216), pp. 220-226. [Consulta: 17 noviembre 2023]. ISSN 0012-7353. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49668215028>

PILICITA RIOFRÍO, Víctor Alexander. Evaluación de la adsorción de especies de arsénico en medio acuoso usando nanopartículas de magnetita, mediante simulaciones AB-Initio en el marco DFT orientada a la creación de filtros de agua. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH). Riobamba-Ecuador. 2020. pp. 15-17. [Consulta: 2023-01-15]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/15017>

PILICITA, Víctor, et al. “Filter design for arsenic species in aqueous environments: An ab initio optimization of the absorbing capacity of magnetite-based arsenic filters”. *Materials Letters* [en línea], 2021, (Ecuador), vol. 295, p. 129794. [Consulta: 15 enero 2023]. ISSN 0167-577X. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2021.129794>

PINEDA RODRÍGUEZ, Jafid Abinady. Utilización de fibra sintética para la reducción de fisuras por contracción térmica en losas de concreto reforzado. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala-Guatemala. 2015. pp. 17-20. [Consulta: 2023-11-22]. Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3898_C.pdf

PINEDA SERRANO, Xiomara. Comportamiento reológico de suspensiones de fibra de celulosa modificadas con nanopartículas magnéticas de ferrita de cobalto. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad Pontificia Bolivariana. Bogotá-Colombia. 2019. pp. 14-22. [Consulta: 2023-03-06]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.11912/4558>

PINEDO HERNÁNDEZ, José, et al. “Optimización del pH y la concentración de TiO₂ para la remoción de mercurio en un sistema fotocatalítico de recirculación iluminado con lámparas UV”. *Redalyc: Ingeniería y Desarrollo* [en línea], 2017, (Colombia), vol. 35 (2), pp. 305-319.

[Consulta: 19 septiembre 2023]. ISSN 0122-3461. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85252030003>

ROBLES ARDILA, Diana P., et al. “Síntesis de nanopartículas de magnetita a partir del extracto de cáscara de papaya para la degradación de colorantes azoicos en soluciones acuosas”. *Ingeniare: Revista chilena de ingeniería* [en línea], 2019, (Chile), vol. 27 (3), pp. 431-442.

[Consulta: 23 noviembre 2023]. ISSN 0718-3305. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-33052019000300431&lng=es&nrm=iso

ROSAS TREJO, Gerardo A. “El abismo entre las propiedades de los micromateriales y nanomateriales”. *Ciencia Nicolaita* [en línea], 2022, (México), vol. 85, pp. 17-26. [Consulta: 17 noviembre 2023]. ISSN 2007-7068. Disponible en: <https://www.cic.cn.umich.mx/cn/article/view/618>

SCHWERTMANN, Udo & CORNELL, Rochelle M. *Iron Oxides in the Laboratory Preparation and Characterization* [en línea]. Germany: WILEY-VCH, 2000. [Consulta: 25 julio 2023]. Disponible en: <https://books.google.com.gt/books?id=F1mRDUb1aagC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>

SHURVELL, Herbert. “Spectra-Structure Correlations in the Mid- and Far-Infrared”. *Handbook of Vibrational Spectroscopy* [en línea], 2006, (Canadá), vol. 3, pp. 1783-1816. [Consulta: 10 octubre 2023]. ISBN 9780470027325. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/0470027320.s4101>

TAPIA FALCON, Norma Litz & HUANCA CCAMERCCOA, Marisela. Remoción de arsénico en agua proveniente del río Tambo sector Quelgua con nanopartículas de óxido de hierro soportadas en zeolita. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Arequipa-Perú. 2019. pp. 4-10. [Consulta: 2023-01-15]. Disponible en: <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/4a518f7e-0719-47fc-843f-78629df7bab5/content>

URBINA ARROYO, Jessica Viridiana. Remoción de Hg²⁺ en agua mediante un compósito magnético sintetizado a partir de *Sargassum spp.* con injerto de EDTA. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro-México. 2022. pp. 9-21. [Consulta: 2023-01-23]. Disponible en: <https://ri-ng.uaq.mx/bitstream/123456789/3824/1/RI006844.pdf>

USEPA Agencia De Protección Ambiental De Los Estados Unidos. “*Información básica sobre el mercurio*”. [blog]. Estados Unidos. [Consulta: 23 enero 2023]. Disponible en: <https://espanol.epa.gov/espanol/informacion-basica-sobre-el-mercurio>

VELA GARCÍA, Fernando Nicolás. Remoción de mercurio en aguas residuales de la actividad minera con el uso de microalgas. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad de las Américas (UDLA). Quito-Ecuador. 2016. pp. 1-5. [Consulta: 2023-09-19]. Disponible en: <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/4859>

VERA MORENO, Francisco Salvador. Síntesis y caracterización de nanopartículas magnéticas de hierro (magnetita). [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH). Riobamba-Ecuador. 2018. pp. 15-21. [Consulta: 2023-01-21]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/8971>



ANEXOS

ANEXO A: DATOS DESCRIPTIVOS CORRESPONDIENTES AL TIPO DE FIBRA A Y B PARA LA OBTENCIÓN DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Descriptivos					
	Fibra + NPs		Estadístico	Error estándar	
Concentración de Hg (ppb)	Fibra A	Media		57,6925	3,91532
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	49,0749	
			Límite superior	66,3101	
		Media recortada al 5%		56,9928	
		Mediana		57,5350	
		Varianza		183,956	
		Desv. estándar		13,56305	
		Mínimo		40,59	
		Máximo		87,39	
		Rango		46,80	
		Rango intercuartil		20,34	
		Asimetría		,762	,637
		Curtosis		,795	1,232
		Fibra B	Media		504,6942
	95% de intervalo de confianza para la media		Límite inferior	334,8369	
			Límite superior	674,5514	
	Media recortada al 5%		494,9957		
	Mediana		497,8200		
	Varianza		71468,570		
	Desv. estándar		267,33606		
	Mínimo		229,23		
	Máximo		954,73		
	Rango		725,50		

		Rango intercuartil	515,68	
		Asimetría	,381	,637
		Curtosis	-1,361	1,232



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: 26 / 01 / 2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Cynthia Esmeralda Intriago Guzmán
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Física
Título a optar: Físico
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo



0148-DBRA-UPT-2024