



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA QUIMICA

**EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL COMPOSITO
Fe₃O₄-ASERRIN PARA LA REMOCIÓN DE PLOMO DE
AGUA SINTÉTICA**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar el grado académico de:

QUÍMICA

AUTORAS:

MARIU ALEXANDRA CHIMBO SILVA

ERIKA LIZBETH GUILCAPI USHCA

Riobamba – Ecuador

2024



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA QUIMICA

**EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL COMPOSITO
Fe₃O₄-ASERRIN PARA LA REMOCIÓN DE PLOMO DE
AGUA SINTÉTICA**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar el grado académico de:

QUÍMICA

AUTORAS:

MARIU ALEXANDRA CHIMBO SILVA

ERIKA LIZBETH GUILCAPI USHCA

DIRECTOR: DR. JORGE EFRÉN SILVA YUMI, PhD

Riobamba – Ecuador

2024

© 2024, Mariu Alexandra Chimbo Silva & Erika Lizbeth Guilcapi Ushca

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

Nosotras, Mariu Alexandra Chimbo Silva y Erika Lizbeth Guilcapi Ushca declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

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

Riobamba, 28 de junio de 2024.



Mariu Alexandra Chimbo Silva

060515745-2



Erika Lizbeth Guilcapi Ushca

060549632-2

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: el Trabajo de Integración Curricular;

Tipo: Proyecto de Investigación, “**EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL COMPOSITO Fe₃O₄-ASERRIN PARA LA REMOCIÓN DE PLOMO DE AGUA SINTÉTICA**”, realizado por las señoritas, **MARIU ALEXANDRA CHIMBO SILVA** y **ERIKA LIZBETH GUILCAPI USHCA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

FIRMA

FECHA



Dr. Robert Alcides Cazar Ramirez
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

2024-06-28



Dr. Jorge Efrén Silva Yumi
DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

2024-06-28



Ing. Luis Santiago Carrera Almendariz
ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

2024-06-28

DEDICATORIA

Es un honor para mí compartir este trabajo de tesis, fruto de dedicación, esfuerzo y compromiso. Lo dedico al amor de mi vida, mi pequeña Antonella, por ser mi motor de superación y enseñarme que todo es posible; a mi madre, Natalia, por nunca rendirse ante las adversidades, ser un ejemplo de superación constante y lucha; a mi amado esposo, Jonnathan, por ser mi compañero en esta aventura cuyo apoyo fue fundamental para alcanzar esta meta, que es de ambos; a mi hermano, Alexis, por ser como un padre para mí y estar presente cuando más lo he necesitado; y, no menos importante, a mis hermanos menores, Katheryn y Kevin. También extendiendo mi agradecimiento a todos aquellos que creyeron en mí, incluyendo a mi amada familia y a mis cuatro amigas universitarias.

Mariu

A Dios por concederme salud, sabiduría e inteligencia para culminar esta prestigiosa carrera. A mis amados padres, Jorge Guilcapi y Manuela Ushca, cuyo amor incondicional y constante apoyo han sido mi luz en los momentos más oscuros y mi guía en los senderos más difíciles, sin rendirse ante las adversidades que enfrentamos. A mis queridos hermanos, Dixon, Kevin, Iveth y Jhoselyn, por ser mis compañeros de vida y mis más fieles amigos, su complicidad y aliento han sido mi fuerza en este viaje académico. A mis sobrinos, Kimberly, Keyner, Matías y Erick, cuya alegría y vitalidad han sido una fuente constante de inspiración durante este proceso. Y no puedo olvidar a mis amigas, quienes, con sus risas, palabras de ánimo y momentos inolvidables, han hecho este camino mucho más llevadero y enriquecedor. Sin su amor, comprensión y motivación, este logro no sería posible. Gracias por ser mi familia y por creer en mí siempre.

Erika

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme salud y bendecirme en cada paso que doy. A mis seres queridos por ser pilares fundamentales con cada consejo, reproche e incluso llamado de atención, todo eso me permitió alcanzar esta meta y sobre todo a Jhonnatan por hacer de mi vida una aventura sin tantas preocupaciones Gracias a mis queridas amigas por cada momento compartido hicieron que este trayecto sea más divertido y menos complicado.

Mariu

Deseo expresar mi más profundo agradecimiento a Dios, cuya gracia y guía han sido la luz que ha iluminado cada paso de este viaje académico. A mi querida familia y amigos por su amor incondicional, su constante apoyo y por ser mi mayor motivación en los momentos más difíciles. Además, quiero reconocer y agradecer las valiosas contribuciones de mi director y los docentes, cuyos consejos han sido fundamentales para el desarrollo y éxito de esta tesis.

Erika

Nuestro más sincero agradecimiento a nuestro director de tesis PhD. Jorge Silva y al grupo que lo dirige “GIMMA” por apoyarnos en la ejecución de este trabajo y al Ing. Mauricio por solventar nuestras dudas cuando nos sentíamos desorientadas, por compartir su valioso tiempo y facilitarnos los equipos-materiales del laboratorio.

Mariu & Erika

INDICE DE CONTENIDO

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

CAPITULO I

1. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.1 Planteamiento del problema	2
1.1.1 Problema general de la investigación.....	2
1.2 Objetivos	2
1.2.1 Objetivo general	2
1.2.2 Objetivos específicos.....	3
1.3 Justificación.....	3
1.4 Hipótesis.....	4

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 Antecedentes	5
2.2 Bases teóricas	6
2.2.1 Agua.....	6
2.2.2 Metales pesados.....	6
2.2.3 Plomo	7
2.2.4 Remoción de Metales Pesados.....	8
2.2.5 Adsorbentes	10

2.2.6	Descripción de las especies a estudiar	15
2.2.7	Magnetita (Fe ₃ O ₄).....	16
2.2.8	Compositos magnéticos.....	17
2.2.9	Adsorción en columnas lecho fijo.....	17
2.2.10	Espectroscopia de adsorción atómica	18
2.3	Bases conceptuales	18
2.3.1	Aserrín	18
2.3.2	Magnetita.....	18
2.3.3	Plomo	19
2.3.4	Adsorción	19
2.4	Base Legal	19
2.4.1	Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades	20

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	22
3.1	Tipo de Investigación	22
3.2	Diseño de la Investigación.....	22
3.3	Metodología	23
3.3.1	Localización del Estudio	23
3.3.2	Origen del material adsorbente	24
3.3.3	Población de estudio.....	24
3.3.4	Tamaño de la muestra.....	25
3.3.5	Método de muestreo	25
3.4	Técnicas	25
3.4.1	Materiales y reactivos.....	25
3.5	Obtención del composito	26
3.5.1	Hidrolisis del aserrín.....	26
3.5.2	Preparación del composito Fe ₃ O ₄ soportado en aserrín.....	26

3.5.3	Preparación de la solución sintética.....	27
3.5.4	Adsorción en columna.....	27

CAPÍTULO IV

4.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	28
4.1	Caracterización de Materia Prima	28
4.2	Análisis de espectroscopia FT-IR.....	29
4.2.1	Espectro FT-IR del aserrín de copal	29
4.2.2	Espectro FT-IR del aserrín de pino.....	30
4.2.3	Espectro FT-IR del aserrín de copal hidrolizado	31
4.2.4	Espectro FT-IR del aserrín de pino hidrolizado	32
4.2.5	Espectro FT-IR de la Magnetita (Fe ₃ O ₄).....	32
4.2.6	Espectro FT-IR del composito de Fe ₃ O ₄ soportado en aserrín de copal	33
4.2.7	Espectro FT-IR del composito de Fe ₃ O ₄ soportado en aserrín de pino.....	34
4.3	Análisis de microscopia SEM.....	35
4.3.1	Composito de Fe ₃ O ₄ soportado en aserrín de pino	35
4.3.2	Composito de Fe ₃ O ₄ soportado en aserrín de copal.....	37
4.4	Análisis de Espectroscopía por dispersión de energía (EDS)	38
4.4.1	Composito de pino.....	38
4.4.2	Composito copal.....	39
4.5	Evaluación de la Adsorción de plomo (Pb ⁺²).....	39
4.5.1	Curvas de ruptura con 2 gramos de composito y 50 ppm de solución de plomo.	40
4.5.2	Curvas de ruptura con 4 gramos de composito y 50 ppm de solución de plomo.	41
4.5.3	Curvas de ruptura con 2 gramos de composito y 100 ppm de solución de plomo	42
4.5.4	Curvas de ruptura con 4 gramos de composito y 100 ppm de solución de plomo	43
4.5.5	Curva de ruptura de los compositos con diferentes condiciones de trabajo	44

4.5.6	Curva de ruptura de los materiales hidrolizados con diferentes condiciones de trabajo	45
4.5.7	Análisis de varianza ANOVA para la adsorción de plomo	46

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES	51
RECOMENDACIONES	52
GLOSARIO	53
ANEXOS	58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Comparación de criterio de valoración de nivel de acción y valores límites de exposición al plomo en la comunidad científica internacional	21
Tabla 3-1: Coordenadas de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.....	24
Tabla 4-1: Análisis fisicoquímico del aserrín pino-copal	28
Tabla 4-2: Parámetros del composito de pino	37
Tabla 4-3: Parámetros del composito de copal	38
Tabla 4-4: Análisis de Varianza ANOVA para la adsorción de plomo	47
Tabla 4-5: Análisis de Varianza ANOVA para la adsorción de plomo	48

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1: Esquema general del proceso de bioadsorción	10
Ilustración 2-2: Componente químico del aserrín	15
Ilustración 2-3: Árbol de pino	15
Ilustración 2-4: Árbol de copal	16
Ilustración 2-5: Estructura cristalina de la magnetita.	17
Ilustración 3-1: Localización donde se realizó la investigación.	23
Ilustración 3-2: Localización de zona donde se recolectó el aserrín.	24
Ilustración 4-1: Espectro Infrarrojo del aserrín de copal.....	29
Ilustración 4-2: Espectro Infrarrojo del aserrín de pino.	30
Ilustración 4-3: Espectro Infrarrojo del aserrín de copal hidrolizado.....	31
Ilustración 4-4: Espectro Infrarrojo del aserrín de pino hidrolizado.	32
Ilustración 4-5: Espectro Infrarrojo de la magnetita.....	33
Ilustración 4-6: Espectro Infrarrojo del compuesto de aserrín de copal-magnetita.....	34
Ilustración 4-7: Espectro Infrarrojo del compuesto de aserrín de pino -magnetita.	35
Ilustración 4-8: Micrografía SEM del compuesto de pino impregnado en magnetita a) 1x160, b) 1x400	36
Ilustración 4-9: Micrografía SEM del compuesto de copal impregnado en magnetita a) 1x43, b) 1x300	37
Ilustración 4-10: Análisis EDS del compuesto de pino	39
Ilustración 4-11: Análisis EDS del compuesto de pino.....	39
Ilustración 4-13: Curvas de ruptura de los datos experimentales bajo las condiciones de 2 gramos de compuesto y 50 ppm de solución de plomo.....	41
Ilustración 4-14: Curvas de ruptura de los datos experimentales bajo las condiciones de 4 gramos de compuesto y 50 ppm de solución.	42
Ilustración 4-15 : Curvas de ruptura de los datos experimentales bajo las condiciones de 2 gramos de compuesto y 100 ppm de solución.	43
Ilustración 4-16: Curvas de ruptura de los datos experimentales bajo las condiciones de 4 gramos de compuesto y 100 ppm de solución.	44
Ilustración 4-17: Curva de ruptura de los datos experimentales correspondientes a los compuestos con diferentes condiciones de trabajo.....	45
Ilustración 4-18: Curvas de ruptura de los datos experimentales correspondientes a los materiales hidrolizados en las diferentes condiciones de trabajo.	46
Ilustración 4-19: Diagrama de Pareto.	47

Ilustración 4-20: Diagrama de Pareto49

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: Análisis Físicoquímico

ANEXO B: Hidrolisis del aserrín

ANEXO C: Cálculos estequiométricos

ANEXO D: Síntesis del Composito

ANEXO E: Espectroscopia de Adsorción Atómica

RESUMEN

A nivel mundial, se produce una gran cantidad de aserrín, cuyo manejo se ha convertido en un tema pertinente debido a la contaminación del ecosistema, la emisión de humos y gases nocivos a la atmósfera cuando se incinera. Este estudio tiene como objetivo evaluar la capacidad del compuesto óxido de hierro soportado en aserrín para la adsorción de plomo en soluciones acuosas mediante estudios en columna. Se implementó un enfoque cuantitativo con un diseño factorial completo $2 \times 2 \times 12$ y 96 repeticiones, analizando tres variables experimentales: concentración de plomo (50 y 100 ppm), cantidad de adsorbente (2 y 4 gramos) y tiempo de contacto. Se aplicó un proceso de adsorción en columnas de lecho fijo, midiendo la concentración final del metal mediante espectroscopia de absorción atómica. Los resultados mostraron que los compuestos presentaban una estructura morfológica irregular con diversos tamaños y formas, y el análisis de varianza (ANOVA) indicó que los factores influyen significativamente en el porcentaje de remoción de plomo. Las condiciones óptimas para una alta eficiencia de adsorción fueron 4 gramos de compuesto y una solución de plomo de 50 ppm, logrando un 99% de remoción. En conclusión, el compuesto de óxido de hierro soportado en aserrín es efectivo para la adsorción de plomo en soluciones acuosas, y las condiciones óptimas identificadas permiten una alta eficiencia de adsorción, generando más sitios activos para que las partículas del metal se adhieran al material adsorbente. Esta investigación sugiere que el uso de aserrín es una solución viable y ecológica para la remoción del metal, ofreciendo una alternativa al manejo y disposición del aserrín.

Palabras clave: <ASERRÍN>, <PORCENTAJE DE PLOMO>, <HIDRÓLISIS>, <ADSORCIÓN>, <CURVA DE RUPTURA>.



ABSTRACT

Worldwide, a large amount of sawdust is produced, the management of which has become a pertinent issue due to the pollution of the ecosystem, and the emission of fumes and harmful gases into the atmosphere when it is incinerated. This study aimed to evaluate the capacity of the iron oxide compound supported in sawdust for the adsorption of lead in aqueous solutions using column studies. A quantitative approach was implemented with a complete factorial design of 2x2x12 and 96 replications, analyzing three experimental variables: lead concentration (50 and 100 ppm), amount of adsorbent (2 and 4 grams), and contact time. An adsorption process was applied in fixed-bed columns, measuring the final concentration of the metal by atomic absorption spectroscopy. The results showed that the composites had an irregular morphological structure with various sizes and shapes, and the analysis of variance (ANOVA) indicated that the factors significantly influenced the percentage of lead removal. The optimal conditions for high adsorption efficiency were 4 grams of compound and a 50-ppm lead solution, achieving 99% removal. In conclusion, the iron oxide compound supported on sawdust is effective for the adsorption of lead in aqueous solutions, and the identified optimal conditions allow for high adsorption efficiency, generating more active sites for metal particles to adhere to the adsorbent material. This research suggests that using sawdust is a viable and environmentally friendly solution for metal removal, offering an alternative to sawdust handling and disposal.

Keywords: <SAWDUST>, <LEAD PERCENTAGE>, <HYDROLYSIS>, <ADSORPTION>, <RUPTURE CURVE>.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Edison Ruiz', is written over a horizontal line.

Lic. Edison Renato Ruiz López

C.I: 0603957044

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso esencial para la supervivencia de la vida, tanto para el mantenimiento de la flora y la fauna como para la supervivencia humana. Sin embargo, asegurar el acceso a agua potable y segura es un desafío global debido a la presencia de diversos factores: como la contaminación, el aumento de la población y el cambio climático, los cuales ponen en peligro la calidad y disponibilidad del agua.

Una de las principales preocupaciones radica en la contaminación por metales pesados en fuentes de agua, dada la amenaza que representa para la salud humana y los ecosistemas acuáticos. La toxicidad del plomo, incluso en concentraciones mínimas, es especialmente alarmante. La adsorción de materiales poliméricos es una de las tecnologías de remediación más prometedoras que se han desarrollado para abordar este desafío (Pabón et al. 2020, pp. 9–18).

La concentración máxima permitida de plomo es de 5 (mg/L) según las normas de calidad del agua de riego. El objetivo de esta concentración es evitar la acumulación de metales pesados en el suelo y su posterior absorción por las plantas, asegurando la seguridad de los cultivos y la salud de los consumidores.

En este trabajo de investigación, se busca evaluar la eficiencia de un compuesto de óxido de hierro (Fe_3O_4) soportado en aserrín como adsorbente para eliminar plomo de agua sintética. Mediante pruebas experimentales y un análisis de espectroscopia de adsorción atómica pretendemos explicar cómo actúan estos materiales poliméricos en el proceso de remoción. Utilizando sus propiedades porosas y su amplia disponibilidad, que permitan desarrollar nuevos métodos que sean efectivos o económicos para el tratamiento de aguas contaminadas.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del problema

A nivel mundial, cada año se produce una gran cantidad de aserrín, y su manejo se ha convertido en un tema pertinente, siendo uno de los principales desechos que se obtienen del procesamiento de la madera. En Riobamba-Ecuador las fuentes de desecho son los aserraderos (46), donde diariamente se generan grandes cantidades (Jiménez, Padilla 2012, pp. 30–44). Representa un 20% de los productos de desecho de madera en el país, los cuales se almacenan en condiciones no controladas para luego ser incinerados provocando la contaminación del ecosistema, emisión de humos y gases nocivos a la atmósfera.

Por otra parte, el aserrín puede acumularse y agregar lixiviados dañinos al agua contaminada. El plomo representa una amenaza para el suministro de agua potable, por la corrosión de tuberías antiguas perjudicial para la salud humana debido a su toxicidad. En el agua de riego, deteriora los cultivos, afectando la calidad de los alimentos y la salud de los consumidores. Además, las aguas industriales pueden contaminarse a través de descargas sin tratamiento adecuado. Para abordar esta problemática, se propone utilizar el aserrín como adsorbente para eliminar los iones de plomo, aprovechando su estructura porosa y capacidad para atrapar contaminantes.

1.1.1 Problema general de la investigación

¿Cuál es la capacidad del composito de óxido de hierro soportado en aserrín para la remoción de plomo de agua sintética?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Evaluar la capacidad del composito de óxido de hierro soportado en aserrín mediante estudios en columna para la adsorción de plomo.

1.2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar el composito mediante espectroscopía infrarroja para identificar los grupos funcionales y evaluar los cambios existentes.
- Determinar el contenido de plomo mediante la técnica de espectrometría de absorción atómica para la remoción de sus iones de muestras de agua sintética.

1.3 Justificación

El enfoque del proyecto se basa en la síntesis de partículas de óxido de hierro soportadas en aserrín para medir la capacidad del adsorbente desarrollado para el tratamiento de aguas. Se utilizan dos tipos de aserrín para determinar el potencial de eliminación de iones metálicos, que varían según la composición fisicoquímica de cada tipo de madera. Como el aserrín tiene varios grupos funcionales (carboxilo, fenol y amida) en su estructura y es un material poroso se considera un vehículo importante en la adsorción de contaminantes de aguas.

Es importante destacar que la creación del composito tiene como objetivo eliminar los iones de plomo de una muestra de agua, lo que permitirá mejorar la calidad del servicio básico y beneficiar a la comunidad en general, además de reducir la contaminación ambiental causada por el desecho del aserrín.

Se utilizarán reactivos y materiales de grado analítico (AR) sin necesidad de purificación adicional. Para el análisis, se espera identificar la presencia de plomo en las muestras de agua mediante el uso de un equipo de espectroscopia de absorción atómica. Para medir el nivel de eliminación del metal y evaluar su eficiencia, se realizará la adsorción en columna de lecho fijo por triplicado a diferentes concentraciones. El presente trabajo va a contar con financiación propia, con disponibilidad de uso de los laboratorios de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo que cuenta con los equipos y reactivos necesarios para llevar a cabo la investigación.

Es importante destacar que los resultados de esta investigación impulsarán el avance de la biotecnología, ya que una vez concluida, se podrá determinar si es una opción viable y beneficiosa para el medio ambiente.

1.4 Hipótesis

- Hipótesis nula (H_0): El porcentaje de remoción de plomo del agua sintética no varía con la concentración de plomo, la cantidad del composito y el tiempo de contacto.
- Hipótesis alternativa (H_a): El porcentaje de remoción de plomo del agua sintética varía con la concentración de plomo, la cantidad del composito y el tiempo de contacto.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

El aserrín, que se considera un material de desecho, puede utilizarse como adsorbente para eliminar contaminantes como tintes, metales pesados, productos farmacéuticos y contaminantes emergentes del agua. El uso del aserrín como agente absorbente en el tratamiento de aguas surgió en la época de los noventa, pero en los últimos años se han estudiado nuevas técnicas para reemplazar el método de precipitación por hidróxidos y para el tratamiento de desechos de madera, donde se utiliza una combinación de aserrín y óxido de hierro con mayor eficiencia (Cambiella et al. 2006, pp. 195–199).

En España, se llevó a cabo un estudio para analizar cómo las condiciones de operación afectan la eficacia de un filtro de lecho de aserrín utilizado en el tratamiento de una emulsión de aceite en agua. Se aplicó un fluido metalúrgico como emulsión de aceite en agua y aserrín como medio filtrante o adsorbente. También se empleó un fluido de corte con sales inorgánicas para romper la emulsión estable, logrando así eliminar más del 99% del contenido de aceite en el flujo de entrada.

La revista SN Applied Sciences, investigó la eficiencia del carbón de aserrín Kail como adsorbente en una solución acuosa para eliminar los colorantes textiles azul Torque, rojo RB y amarillo M4G. A diferentes concentraciones de solución colorante, dosis de adsorbente, temperatura, pH y tamaño de partícula, basándose en la isoterma de adsorción de Langmuir y los modelos cinéticos de pseudo segundo orden. Demostrando que la adsorción fue más efectiva a un pH alto para el azul torque y a un pH bajo para los colorantes RB rojo y M4G amarillo, siendo este material económico y efectivo para tratar las aguas residuales de tintes textiles.

En 2022, se utilizó el polvo de aserrín modificado con ácido o álcali para eliminar el tinte y extraer azul de metileno de una solución acuosa. Además, se realizaron estudios comparativos de las características físicas del aserrín crudo y ajustado para su uso como adsorbentes para la eliminación de colorantes ácidos. El aserrín crudo modificado tiene una mayor capacidad de adsorción y está destinado a eliminar el tinte ácido en comparación con el aserrín crudo.

Científicos han confirmado la afinidad de la partícula de birnesita del aserrín con los metales, el aserrín modificado con óxido de manganeso demostró una alta capacidad para la adsorción de As

(V), Pb (II) y Cd (II). Con carboxilo, grupos hidroxilo e impregnación de azufre, los adsorbentes mostraron una mayor capacidad de sorción de Hg (II). Algunos ejemplos de aserrín modificado químicamente en la superficie, como el aserrín ZrO_2 y La_2O_3 , han demostrado capacidades de extracción para aniones de arsenito y arseniato de agua. El aserrín La_2O_3 ha demostrado una eficiencia de regeneración total a comparación del aserrín ZrO_2 con una adsorción de 50% (Adegoke et al. 2022).

Investigaciones recientes han demostrado que el uso de residuos de aserrín AISD como un adsorbente altamente rentable se puede utilizar para reciclar aguas residuales contaminadas artificialmente con colorante orgánico cristal violeta (CV). Los resultados obtenidos se evaluaron utilizando modelos de isothermas de Langmuir, Freundlich y Temkin, así como varias técnicas analíticas, como SEM, TEM y BET. Se descubrió que el adsorbente AISD es uno de los más efectivos entre los obtenidos a partir de desechos domésticos, agrícolas e industriales (Ahamad, Nasar 2023, pp. 110–126).

A lo largo de los años, el aserrín se ha utilizado como adsorbente para solucionar problemas ambientales en varios países del mundo, obteniendo resultados positivos en la eliminación de metales pesados, aceites, colorantes textiles y otras sustancias contaminantes.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Agua

De acuerdo con (Nations) el agua es la base del desarrollo sostenible y es esencial para la energía, la producción de alimentos, los ecosistemas saludables, el desarrollo socioeconómico y la supervivencia humana. Es un recurso vital que juega un papel importante en muchos aspectos de la vida, lo que demuestra su importancia para abordar los desafíos globales y asegurar un futuro sostenible para todos.

2.2.2 Metales pesados

Son elementos químicos naturales con propiedades químicas, físicas, toxicológicas, con una densidad en su forma elemental igual a 5 g/cm^3 , peso atómico, número atómico y toxicidad. Cuando se encuentra en grandes cantidades, puede describirse como un grupo de metales o metaloides relacionados con la contaminación y la toxicidad potencial (Izquierdo 2010, pp. 22-30). Además de ser extremadamente dañinos y perjudiciales para el ecosistema, se distinguen por su

universalidad, ya que se encuentran concentrados en el aire, suelo y agua. Además, son muy solubles y se integran fácilmente en la cadena trófica.

En la actualidad, se han descubierto alrededor de 80 metales que se clasifican como pesados: plomo (Pb), hierro (Fe), cobre (Cu), níquel (Ni), cromo (Cr), mercurio (Hg), cadmio (Cd), entre otros. Además, existen elementos que tienen propiedades físicas similares a los metales y no metales más conocidos como metaloides: antimonio (Sb), bario (Ba) y selenio, (Se) arsénico (As), germanio (Ge), telurio (Te) y boro (B) (Cabrera 2017, pp. 34–55).

2.2.2.1 Contaminación del agua por metales pesados

El problema ambiental surge por la utilización de los metales pesados en diferentes procesos industriales, ya que son peligrosos cuando se acumulan y se magnifican con el tiempo, puesto que no pueden ser degradados química o biológicamente

Las principales vías de exposición humana a metales pesados son por inhalación de humo, alimentación, agua infectada y el contacto cutáneo. El cadmio y el arsénico son los metales más peligrosos, según la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR). Además, según la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (CIIC), los metales más cancerígenos son del grupo uno: Cr^{+6} , arsénico, cadmio, hierro y níquel (Cabrera 2017, pp. 34–55).

2.2.3 Plomo

Se encuentra de manera abundante en la corteza terrestre y en los suministros de agua como ríos, lagos en su forma natural y rara vez en el agua que proviene de una planta de tratamiento. Considerado como uno de los primeros metales en ser extraídos e identificados por los egipcios, a partir de la anglesita (PbSO_4), la cerusita (PbCO_3) y galena (PbS). Este metal tiene un color plateado, en superficies recién cortadas posee un resplandor azulado, peso atómico de 207,21, punto de fusión $327\text{ }^\circ\text{C}$ y punto de ebullición (Gameró Esparza 2003, pp. 7–60).

2.2.3.1 Contaminación de plomo en agua

El agua que se utiliza para satisfacer las necesidades diarias brota libre de plomo ya que la mayoría tienen niveles muy bajos. El metal se introduce en el agua cuando ésta pasa por las tuberías de servicio o a su vez por las descargas de aguas residuales producto de las actividades antropogénicas principalmente de tipo industrial. En la actualidad, los diferentes tratamientos que

se aplican para disminuir el porcentaje de los metales han generado cambios en la química del agua ocasionando que se contamine con plomo (Pabón et al. 2020, pp. 9–18).

2.2.3.2 Efectos en la salud

Los altos niveles de plomo en el agua pueden afectar la salud, al ser una poderosa neurotoxina que al ser absorbido o ingerido puede viajar a través de nuestro cuerpo y causar problemas en nuestros huesos, dientes, sangre, hígado, riñones y cerebro, alterando la función biológica normal. Sin embargo, el metal para las células de nuestro cuerpo es vital para el desarrollo y funcionamiento saludable del cerebro, huesos y el sistema cardiovascular en niveles admisibles (Olufemi, Mji, Mukhola 2022).

2.2.4 Remoción de Metales Pesados

La reducción de las emisiones de metales pesados al medio ambiente requiere una variedad de técnicas de tratamiento, incluida la precipitación química, procesos de oxidación-reducción, intercambio iónico, procesos de membrana, bioadsorción y adsorción.

La selección de técnicas de eliminación de iones metálicos de aguas debe tener presente varios factores como: contenido de la corriente, eficiencia operativa, límites de vertido, flexibilidad, fiabilidad del tratamiento y su impacto ambiental; además de contemplarse los parámetros económicos que involucra la inversión inicial y los valores de operación.

2.2.4.1 Precipitación química.

A nivel industrial, esta técnica destaca como la más empleada gracias a su relativa facilidad de operación, su bajo costo y su selectividad. En este proceso los iones metálicos se separan de una disolución debido a la disminución de la solubilidad de los metales a medida que aumenta el pH. Además, se produce la formación del hidróxido metálico al ajustar el pH mediante la adición de compuestos básicos como NaOH, Ca (OH)₂ o CaO.

2.2.4.2 Procesos de oxidación-reducción.

Este método es ampliamente utilizado para eliminar los metales disueltos en el agua, pero su mantenimiento puede ser costoso debido a la considerable producción de lodos. Es importante destacar que en ciertas ocasiones se han empleado agentes quelantes, aunque estos presentan

desventajas notables, como la falta de enlaces necesarios y riesgos ambientales excesivos (Pabón et al. 2020, pp. 9–18).

2.2.4.3 *Intercambio iónico.*

Es un procedimiento mediante el cual los iones presentes en un material son reemplazados por iones de otra especie en una solución. Se utiliza una resina de intercambio iónico en forma de columna empacada. Es importante señalar que la regeneración de esta resina es necesaria después de un cierto período de funcionamiento (Izquierdo 2010, pp. 22–30).

Las resinas de intercambio iónico están formadas por una amplia gama de materiales adaptados a los iones que se desean eliminar de la solución. Específicamente para los metales pesados, se emplean comúnmente resinas catiónicas compuestas de poliestireno con grupos funcionales complejos. Para regenerarlas, se recurre generalmente a ácidos minerales que posibilitan la eliminación de metales presentes en altas concentraciones en los efluentes de varios sectores industriales (Izquierdo 2010, pp. 22–30).

2.2.4.4 *Procesos de membrana.*

Es una técnica de separación de solutos presentes en el agua residual en función de iones, mediante el uso de una membrana selectiva. Los cuales son separados a través de diversos métodos como filtración por poros, microporos, nanoporos, ósmosis inversa y desalación electrolítica. La diferencia entre los procesos radica en la naturaleza de la fuerza impulsora, el mecanismo de separación, el material de la membrana y el tamaño de los poros (Carlos Francisco Garcia 2002, pp. 34–40).

Las membranas de ultrafiltración retienen solutos con un peso molecular entre 300 y 500, es decir, partículas con un tamaño entre 0 puntos 005 y 0 puntos 2 μm . El acetato de celulosa, las poliamidas y las polisulfonas son los componentes más comunes para las membranas. En el proceso de nanofiltración, el tamaño de las partículas retenidas es de 0 puntos 001 a 0 puntos 01 μm , mientras que, en el proceso de ósmosis inversa, el tamaño de las partículas retenidas es de 0 puntos 001 a 0 puntos 0001 μm y las presiones de trabajo son de 100 a 1,000 psi (Vera, Delgado, Elmaleh 2011).

Sus aplicaciones son amplias y se van desarrollando a medida que se perfecciona el diseño de las membranas y los materiales utilizados en su fabricación. De hecho, las técnicas de ultrafiltración, nanofiltración y ósmosis inversa son empleadas para la eliminación de metales pesados.

2.2.4.5 Bioadsorción.

Técnica que utiliza materiales naturales con una capacidad de capturar y acumular en su superficie una variedad de sustancias y compuestos que se encuentran en soluciones acuosas. Intervienen dos fases: una sólida, representada por el bioadsorbente, y una líquida, el solvente, que contiene las especies disueltas a separar. El bioadsorbente atrae y retiene al adsorbato gracias a una serie de procesos complejos derivados de la fuerte afinidad entre ambas fases (Cardenas, Ulloa 2013).

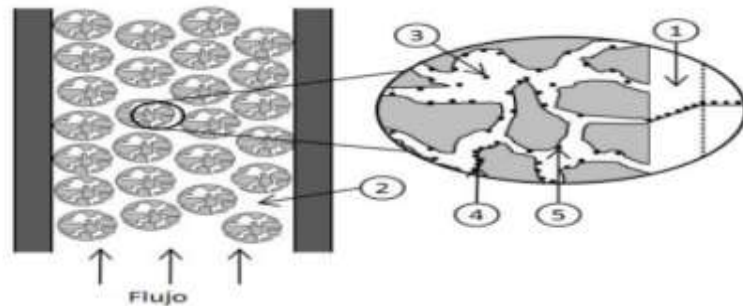


Ilustración 2-1: Esquema general del proceso de bioadsorción

Fuente: (Izquierdo 2010, pp. 22–30).

2.2.4.6 Adsorción.

Es un método de separación donde determinados elementos de una fase fluida, ya sea líquida o gaseosa, son transferidos hacia un material sólido, quedando unidos física o químicamente a su superficie. No obstante, la rentabilidad de este procedimiento está condicionada a la disponibilidad de un proceso efectivo para restaurar la capacidad de adsorción del sólido una vez que ha sido completamente utilizado (Izquierdo 2010, pp. 22–30).

2.2.5 Adsorbentes

Los materiales absorbentes desempeñan un papel crucial en diversos ámbitos, como la recuperación de petróleo mediante mecanismos de absorción, adsorción o una combinación de ambos. Estos materiales permiten que el aceite penetre en sus poros, mientras que los adsorbentes de petróleo lo atraen hacia sus superficies, impidiendo su infiltración en el material (Acuña 2020, pp. 20–22).

Para que un adsorbente sea eficaz en la descontaminación o retención de contaminantes, es fundamental que posea ciertas características esenciales. Estas incluyen una alta porosidad, que aumenta el área superficial y, por ende, reduce el tiempo necesario para alcanzar el equilibrio de

adsorción. Asimismo, debe contar con una superficie de contacto considerable y presentar sitios específicos de adsorción.

2.2.5.1 Tipos de adsorbentes

I. Adsorbentes Naturales

Son materiales que tienen la capacidad de adsorber directamente el metal iónico presente en la solución, son materiales que provienen de flora microbiana, algas, plantas, biomásas residuales, productos agroindustriales o algunos biopolímeros. Los biomateriales se someten a tratamientos fisicoquímicos sencillos y económicos para mejorar su capacidad de adsorción en procesos de aplicación como la eliminación de metales pesados la recuperación de especies metálicas en solución (Tegeder, Ludwig 1967, pp. 40–51).

II. Adsorbentes convencionales

Estos materiales esta conformados por zeolitas, carbón activo, arena y oxido de aluminio que han recibido tratamiento previo y requieren regeneración para restaurar sus propiedades (Tegeder, Ludwig 1967, pp. 40–51). Son buenos adsorbentes debido a su capacidad para establecer interacciones intermoleculares frágiles con el contaminante adsorbido. Las fuerzas de London o electromagnéticas resultan en fisisorción sobre la superficie del adsorbente.

III. Adsorbentes no-convencionales

Los materiales creados a partir de fuentes naturales poseen una notable capacidad de adsorción, lo que los hace eficaces para reducir o eliminar contaminantes metálicos u orgánicos presentes en aguas residuales. Estos adsorbentes no convencionales son el resultado del aprovechamiento de desechos provenientes de la industria alimentaria y agrícola, como restos de frutas, residuos vegetales y plantas (Tegeder, Ludwig 1967, pp. 40–51).

2.2.5.2 Influencia de la capacidad de adsorción

I. Densidad

La densidad real y aparente son las dos categorías de densidad relativa a la adsorción. La densidad aparente es una medida entre los sólidos, los poros y los intersticios. A diferencia de la densidad

real, que puede variar según la compactación, es una medida de sólidos a pesar de los vacíos internos o áreas intersticiales. Una vez determinada, la densidad aparente se puede considerar constante para un material en particular. La siguiente fórmula se puede utilizar para calcular la densidad real:

$$D_S = D_L \frac{M_S}{M_1 + M_S - M_2}, \quad (Ec. 1)$$

Donde,

En la ecuación, D_S representa la densidad del sólido, D_L corresponde a la densidad del líquido humectante. Además, M_S indica la masa del sólido, M_1 representa la masa del líquido necesaria para completar el contenedor de análisis sin la fibra y M_2 es la cantidad de líquido que se necesita para ocupar el recipiente junto con el sólido incluido (Stefanova, Chuturkova 2015).

II. Porosidad

Representa el volumen promedio que es accesible en un sistema de absorción. Si la densidad está expuesta, la porosidad depende de la compactación y de la expresión del siguiente criterio:

$$P_R = \frac{V - V_S}{V}, \quad (Ec. 2)$$

Donde,

P_R es el porcentaje de porosidad en el sistema, V representa el volumen completo y V_S el volumen del sólido.

III. Selectividad

Habilidad que posee un material polimérico para absorber sustancias sobre otro. No obstante, su eficiencia puede verse afectada por las dimensiones de los poros del adsorbente, su capacidad de mojado y la tensión superficial.

IV. Retención

La capacidad de retención de un material saturado de absorción se refiere a su habilidad para retener líquido cuando las condiciones favorecen el drenaje. Esta retención es crucial, ya que los absorbentes suelen utilizarse en un lugar y luego transportarse a otro para su eliminación o

tratamiento de líquidos. Un absorbente con un alto grado de retención será capaz de transportar una mayor cantidad de fluido.

2.2.5.3 Factores que afectan el proceso de adsorción

Para obtener resultados eficientes en el proceso de remoción de metales pesados se debe tener en cuenta los principales factores que influyen en el proceso de adsorción, de los cuales destacan:

I. Influencia del pH:

El pH desempeña un papel fundamental en el proceso de adsorción, ya que determina la especiación del metal y el grado de protonación de los grupos funcionales, lo cual afecta significativamente dicho proceso. La influencia del pH en la adsorción es notable, dado que los iones de hidrógeno actúan como adsorbatos competitivos tanto en la adsorción de cationes (pH superior a 4,5) como en la de aniones (pH entre 1,5 y 4) (Pozo 2019).

II. Temperatura

Es uno de los parámetros que no tiene un impacto significativo en el proceso de biorremediación; no obstante, en los últimos años se han verificado investigaciones donde la temperatura está relacionada con la velocidad y grado de adsorción (Tegeder, Ludwig 1967, pp. 40–51).

III. Tamaño de la partícula

Este factor es primordial ya que influye en la eficiencia de adsorción y la velocidad de reacción. Al limitar el proceso de difusión dentro de los poros, se evidencia un incremento de retención al disminuir el tamaño de partícula. Además, el aumento de sitios activos facilita la reacción y la mejora la accesibilidad del adsorbato para adherirse a ellos (Cabrera 2017, pp. 34–55).

IV. Tiempo de contacto

Este término hace alusión al punto en el cual el bioadsorbente alcanza su capacidad máxima de saturación, lo que significa que, aunque se mantenga en contacto el metal con el material sorbente, no se incrementará la cantidad de metal extraído (Cabrera 2017, pp. 34–55). Por lo general, el tiempo de contacto suele ser breve, de solo algunas horas o incluso minutos, dependiendo de las características de la disolución y la concentración del metal.

V. Efecto de la fuerza iónica

Este parámetro representa una gran importancia al momento de realizar estudios de biorremediación con especies vegetales. La fuerza iónica es un método cuantitativo para describir la composición iónica de una disolución; se basa en todos sus iones y es crucial para la distribución de la carga eléctrica entre sólido y líquido. Por otra parte, al reducir la fuerza iónica la remoción del metal se incrementa, puesto que existe competencia entre los iones metálicos y iones de sales por los sitios activos que controlan este efecto

VI. Presencia de otros compuestos

Este parámetro reviste una gran importancia en los estudios de biorremediación con especies vegetales. La fuerza iónica se utiliza como método cuantitativo para expresar la composición iónica de una disolución, y está determinada por la presencia de todos los iones en dicha disolución. Su relevancia radica en su papel en la distribución de la carga eléctrica entre el sólido y el líquido (Cabrera 2017, pp. 34–55).

2.2.5.4 Características del adsorbente

La máxima eficiencia de la adsorción no se alcanza solo con las propiedades del medio y del metal; al contrario, es fundamental la estructura y la actividad química de la superficie biológica del adsorbente. Estos aspectos influyen en los procesos de retención de los adsorbatos y su capacidad de eliminación (Cabrera 2017, pp. 34–55).

- **Aserrín**

El aserrín es uno de los principales materiales de desecho que se obtienen del procesamiento de la madera y las actividades de explotación, se genera como pequeños fragmentos irregulares de viruta o desechos de materiales en polvo. Sus principales componentes químicos son la celulosa (35–60 %), la hemicelulosa (15–35 %) y la lignina (15–30 %) (Adegoke et al. 2022).

Posee varios grupos funcionales (carboxilo, fenol y amida), su estructura es porosa bien definida, gran área superficial, estabilidad térmica, excelente capacidad de adsorción y propiedades de baja reactividad ácido/base (Rusanen et al. 2019, pp. 283–291). Una de las principales ventajas de este material económico, que requiere un tratamiento básico y se encuentra en gran cantidad como un subproducto de la industria forestal.

Composición química del Aserrín

El aserrín, como toda biomasa leñosa está formada por materias orgánicas tales como: carbono (61,58 %), hidrógeno (5,32%), oxígeno (33,4%) y nitrógeno (0,1%) (Jiménez, Padilla 2012, pp. 30–44). Los cuales al estar combinados con otros elementos constituyen dos grupos de sustancias, las que conforman la pared celular, donde se encuentran las principales macromoléculas que representan la mayor parte del 88 % de su masa: celulosa, hemicelulosa y lignina, con aproximadamente un 40 %, 10,89 % y 30 % respectivamente y el resto de la biomasa para los extractivos como resinas, aceite y cenizas.

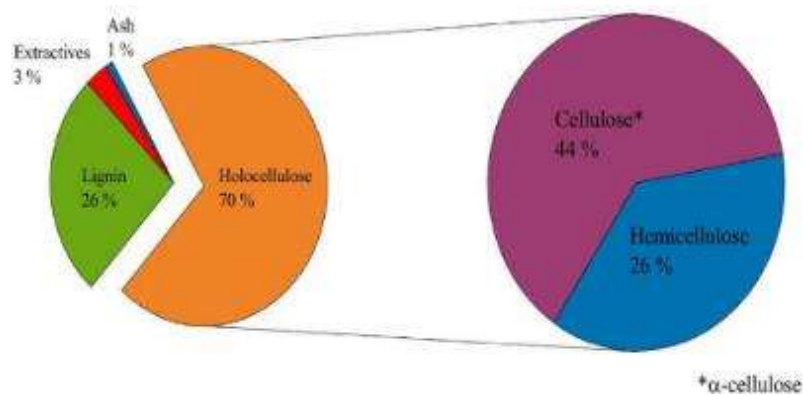


Ilustración 2-2: Componente químico del aserrín

Fuente: (Rusanen et al. 2019, pp. 283–291)

2.2.6 Descripción de las especies a estudiar

2.2.6.1 Pino



Ilustración 2-3: Árbol de pino

Realizado por: Chimbo, Mariu & Guilcapi, Erika, 2023.

Género: *Pinus*

Familia: *Pinaceae*

Nombre común: *Pino silvestre*

Nombre científico: *Pinus*

Características: Estos árboles tienen un tronco recto que sostiene varios niveles de ramas dispuestas horizontalmente y pueden alcanzar una altura de hasta treinta metros. La copa tiene inicialmente una forma piramidal, pero esta característica desaparece con el tiempo en ejemplares más antiguos.

2.2.6.2 *Copal*



Ilustración 2-4: Árbol de copal

Realizado por: Chimbo, Mariu & Guilcapi, Erika, 2023.

Género: *Bursera*

Familia: *Burseraceae*

Nombre común: copal

Nombre científico: *Bursera bipinnata*

Características: Este árbol alcanza una altura que oscila entre 1,5 y 8 metros, caracterizado por un tronco delgado que produce una resina conocida como copal. Sus hojas son pinnadas, con un anverso lustroso y un reverso más pálido. Las flores, escasas, se agrupan en racimos, mientras que los frutos son carnosos y de color verde, volviéndose rojos al madurar.

2.2.7 *Magnetita (Fe₃O₄)*

Es un mineral de óxido de hierro (Fe₃O₄) que tiene estructura de espinela, conocido desde la antigüedad por la humanidad y en la actualidad ocupa posiciones de liderazgo en el desarrollo de tecnologías avanzadas, demuestra una serie de fenómenos físicos desconcertantes, siendo objeto de extensas investigaciones. Es un material negro, que se encuentra en rocas ígneas, metamórficas y como depósito separado. Las nanopartículas de magnetita se utilizan como adsorbentes en el

tratamiento del agua, ya que pueden separarse con gran facilidad debido a su propiedad magnética.

2.2.7.1 Estructura

Consiste en una disposición de oxígeno empaquetada cerrada con el ion Fe^{2+} divalente en coordinación tetraédrica y los iones Fe^{3+} trivalentes en coordinación octaédrica con oxígenos, también puede verse como láminas en capas de $[\text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}]$ entre láminas de oxígeno empaquetadas de forma cerrada. Los sitios octaédricos son más grandes que los sitios tetraédricos, y hay el doble de sitios octaédricos ocupados que de sitios tetraédricos. Puede contener cantidades importantes de Mg y en ocasiones formar soluciones sólidas con magnetoferrita. Pueden ocurrir sustituciones muy pequeñas de otros elementos como Co, Ni, Ti, V y Cr.

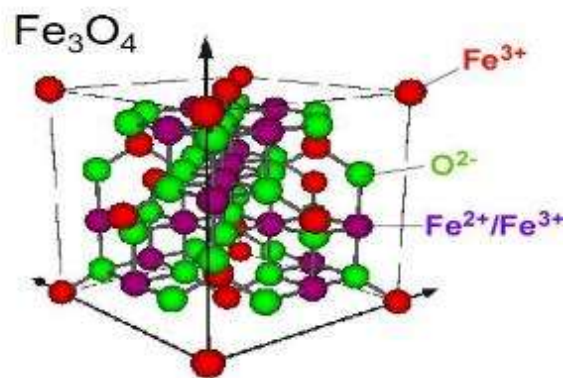


Ilustración 2-5 .Estructura cristalina de la magnetita.

Fuente: (Rakshit et al. 2019, pp. 5003–5010)

2.2.8 Compositos magnéticos

Constituyen una nueva generación de materiales multifuncionales que combinan las propiedades de los polímeros convencionales y los materiales magnéticos (ferri y/o partículas ferromagnéticas mezcladas) de tamaño nano o micro impregnadas en matrices poliméricas naturales o sintéticas. Estos compositos pueden formar estructuras uniformes o agrupadas para crear disposiciones columnares o en cadena (Lee et al. 2010, pp. 187–243).

2.2.9 Adsorción en columnas lecho fijo

Es una de las técnicas más utilizadas a nivel industrial para el procesamiento de aguas contaminadas. El proceso se explica mediante una ecuación de cinética de intercambio entre la

fase líquida –sólida y otra de balance de masas. Se introduce el concepto de curva de ruptura, que obtiene al representar la concentración normalizada (C/C_0) versus el tiempo, se utiliza para describir el funcionamiento y la eficiencia de las columnas de lecho fijo. La curva de ruptura y el tiempo de operación son características cruciales para obtener los resultados de la adsorción y proyectar los datos a nivel industrial.

2.2.10 Espectroscopia de adsorción atómica

Es un método para determinar la concentración de un elemento metálico en una muestra utilizando el principio de espectrometría de absorción, que provee electrones a las partículas de la muestra mediante un aumento de energía, suministrada por los electrones característicos de los elementos. Esto provoca que las partículas de la muestra incrementen su radio de giro y provoquen un estado energético superior temporalmente. En la actualidad se utilizan dos tipos de lámparas de cátodo hueco (LCH) y descarga sin electrodos (EDL).

Los contaminantes metálicos se pueden encontrar con frecuencia utilizando lámparas de cátodo hueco (LCH), que están hechas de un ánodo y un cátodo alojados dentro de un tubo de vidrio sellado y relleno de un gas noble como el neón o el argón. El cuarzo en la parte superior del tubo permite que la luz de la lámpara se mueva.

2.3 Bases conceptuales

2.3.1 Aserrín

Es un producto de desecho que se obtienen del procesamiento de la madera, y las actividades de explotación, compuesto de lignina, celulosa y hemicelulosa. Material biológico con varios grupos funcionales: carboxilo, fenol, amida en su estructura y gran área superficial importante para la adsorción de contaminantes de aguas (Adegoke et al. 2022).

2.3.2 Magnetita

Es un material negro, que se encuentra en rocas ígneas, metamórficas y como depósito separado. Las nanopartículas de magnetita se utilizan como adsorbentes en el tratamiento del agua, ya que pueden separarse con gran facilidad debido a su propiedad magnética (Pabón et al. 2020, pp. 9–18).

2.3.3 *Plomo*

Es un metal pesado más denso que la mayoría de los elementos comunes en la naturaleza, suave y maleable con un punto de fusión relativamente bajo. Su resistencia a la corrosión y a diferentes ácidos concentrados en la construcción, el blindaje contra la radiación y las aleaciones tienen un valor fundamental en la industria.

2.3.4 *Adsorción*

Proceso de transferencia de masa que es un fenómeno de sorción de gases o solutos por superficies sólidas o líquidas. El material de adsorción debe caracterizarse por un área de superficie máxima y un volumen mínimo. La eficiencia de los procesos de adsorción depende de las propiedades químicas o físicas de las sustancias solubles y de la superficie sólida.

2.4 **Base Legal**

La contaminación del agua con metales pesados ha generado la necesidad de regulaciones internacionales cada vez más estrictas, lo que ha llevado a la búsqueda de soluciones económicas y efectivas para su eliminación. La presencia de metales pesados en el medio ambiente ha generado debates y estudios en el ámbito académico, político y económico. Varios países han establecido regulaciones legales que establecen las concentraciones máximas permitidas para la emisión y descarga de contaminantes en el medio ambiente, ya sea en el agua, el aire o el suelo.

Como parte de nuestra investigación, nos apoyamos en la legislación ecuatoriana sobre descarga de efluentes en medios acuáticos del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA) debido a sus efectos en el agua.

Tabla 2-1: Estándares de calidad de agua para el uso agrícola en riego

PARAMETRO	EXPRESADO COMO	UNIDAD	CRITERIO DE CALIDAD
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico	As	mg/l	0,1
Berilio	Be	mg/l	0,1
Boro	B	mg/l	0,75
Cadmio	Cd	mg/l	0,05
Cinc	Zn	mg/l	2,0
Cobalto	Co	mg/l	0,01
Cobre	Cu	mg/l	0,2

Cromo	Cr ⁺⁶	mg/l	0,1
Flúor	F	mg/l	1,0
Hierro	Fe	mg/l	5,0
Litio	Li	mg/l	2,5
Mercurio	Hg	mg/l	0,001
Manganeso	Mn	mg/l	0,2
Molibdeno	Sb	mg/l	0,01
Níquel	Ni	mg/l	0,2
pH	pH		6-9
Plomo	Pb	mg/l	5,0
Selenio	Se	mg/l	0,02
Vanadio	V	mg/l	0,1
Coliformes fecales	NMP	NMP/100ML	1000
Huevos de parásitos			Ausencia

Fuente: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua, 2012.

2.4.1 Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades

La Ley de Agua Potable Segura establece que la EPA debe determinar, con un margen adecuado de seguridad, los niveles de contaminantes en el agua potable que no causen efectos negativos en la salud. Donde, determinó que el plomo es un elemento toxico que afecta a la salud humana en exposición minina, duradero y capaz de acumularse en el organismo con el tiempo, que requiere un nivel cero de contaminante del metal en el agua potable.

Debido a que los efectos físicos y de comportamiento del plomo son más pronunciados en niveles de exposición más bajos en niños que en adultos, los niños, bebés y fetos son especialmente susceptibles al plomo. Una cantidad de plomo que apenas afecta a un adulto puede tener consecuencias significativas en un niño. Se ha observado que bajos niveles de exposición al plomo en niños están asociados con daños en el sistema nervioso central y periférico, dificultades de aprendizaje, problemas de crecimiento, pérdida auditiva, trastornos en la formación y función de los glóbulos rojos, entre otros problemas (Cabrera 2017, pp. 34–55).

De acuerdo con la declaración emitida por los Centros para el Control y Prevención de Enfermedades (CDC), cuando el nivel de plomo en la sangre de un niño supera los 5 microgramos por decilitro (µg/dl), se deben tomar medidas de salud pública. De acuerdo con la EPA, el agua potable puede contribuir con el 20% o más de la exposición total al plomo en una persona. Para los bebés que consumen principalmente leche preparada con agua, la exposición al plomo puede representar entre el 40-70% de su exposición total.

Tabla 2-1: Comparación de criterio de valoración de nivel de acción y valores límites de exposición al plomo en la comunidad científica internacional

	España	CEE	ACGIH	OSHA	NIOSH	OMS
Plomo en Sangre	70-80	70-80	30	50	60	H:40/Mef:30
Plomo Ambiental	150	150	50	50	100	

Nota: Plomo en sangre: microgramos/100ml

Plomo Ambiental: microgramos/m³

H: hombres; Mef: mujeres en edad fértil

Realizado por: Chimbo, Mariu & Guilcapi, Erika,2023.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de Investigación

La investigación es un proceso sistemático y riguroso que busca obtener información confiable para responder preguntas específicas o resolver problemas, por lo cual es crucial comprender las características u objetivos, poder interpretar adecuadamente los resultados y conclusiones obtenidas. Esta investigación es de tipo cuantitativa debido a que se pretende explicar aspectos como el enfoque en la recolección y análisis de datos numéricos, el uso de instrumentos de medición estandarizados y la aplicación de técnicas estadísticas; en cuanto al objetivo se considera aplicada ya que se va comprobar que cantidad de plomo es adsorbido en la columna de lecho fijo utilizando el composito de Fe_3O_4 soportado en aserrín, mediante un proceso de espectroscopia de absorción atómica, adicionalmente se determinará el tiempo con mayor porcentaje de remoción de Pb.

En cuanto a la manipulación de variables se considera experimental debido a que se puede modificar la concentración de plomo y la cantidad de composito, a partir de lo cual se verifica si se presenta un comportamiento específico diferente para cada cambio que se realiza. Además, en este trabajo se identificó una variable dependiente (porcentaje de remoción de plomo) e independientes (gramos de composito, tiempo de contacto, concentración de plomo), por otra parte, es de tipo transversal debido a que el periodo de tiempo con el que se determina el cambio de las variables se encuentra previamente establecido y no depende de la variable tiempo, es de laboratorio debido a la concentración de plomo adsorbido por el composito y es determinado por espectroscopia de absorción atómica tomando estándares 50 y 100 ppm de Pb como un referente para su análisis, además de la preparación de las muestras.

3.2 Diseño de la Investigación

Se utilizó un diseño factorial completo ($2 \times 2 \times 12$); para el factor A: concentración de plomo, factor B: cantidad del composito y factor C: tiempo de contacto del adsorbente. En este diseño, los factores pueden tener diferentes niveles con condiciones o valores que puede tomar cada factor independiente en el experimento, pueden ser cualitativos o cuantitativos dependiendo de su naturaleza y del diseño experimental que permite verificar el efecto de los tres factores de estudio.

3.2.1.1 Modelo estadístico

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \alpha\beta_{ij} + \alpha\gamma_{ik} + \beta\gamma_{jk} + \alpha\beta\gamma_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$

3.2.1.2 Identificaciones variables

- Variable dependiente: Porcentaje de remoción de plomo
- Variable independiente: Concentración de plomo, cantidad de adsorbente y tiempo de contacto.

3.2.1.3 Planteamiento de la hipótesis

- **Hipótesis nula (H₀):** El porcentaje de plomo removido de las muestras de agua no varía con la concentración de plomo, cantidad de adsorbente y tiempo de contacto.
- **Hipótesis alternativa (H_a):** El porcentaje de plomo removido de las muestras de agua varía con la concentración de plomo, cantidad de adsorbente y tiempo de contacto.

3.3 Metodología

3.3.1 Localización del Estudio

La presente investigación se realizó en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ubicada en la parroquia de Lizarzaburu, ciudad Riobamba, provincia de Chimborazo.



Ilustración 3-1: Localización donde se realizó la investigación.

Fuente: Google Earth, 2023.

Tabla 3-1: Coordenadas de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

	Coordenadas	Coordenadas
Puntos	Sur	Oeste
1	1°39'25"	78°40'41"

Realizado por: Chimbo M. & Guilcapi E.,2024.

Sus límites son:

- Norte: parroquia Lican
- Sur: parroquia Veloz
- Este: parroquia Velasco
- Oeste: parroquia Calpi

3.3.2 *Origen del material adsorbente*

El aserrín de pino y cedro fueron recolectados de la parroquia de San Andrés, cantón Guano, provincia Chimborazo. Coordenadas geográficas del punto (1°36'39" S) (78°41'39" O) elevación 2996 metros.



Ilustración 3-2: Localización de zona donde se recolecto el aserrín.

Fuente: Google Earth, 2023.

3.3.3 *Población de estudio*

Este trabajo de investigación tiene como población al aserrín producido por el aserradero Buenaño de la parroquia de San Andrés, cantón Guano.

3.3.4 *Tamaño de la muestra*

El tamaño de la muestra se estimó considerando que la población es infinita debido a que es imposible de determinar con exactitud el aserrín producido en el aserradero ya que se realiza por un proceso continuo. Cabe recalcar que la fórmula estadística para estimar el tamaño de la muestra depende del tipo de investigación y el método de muestreo por lo mismo se consideró 100 gramos de aserrín del aserradero Buenaño de la parroquia de San Andrés, cantón Guano.

3.3.5 *Método de muestreo*

Se utilizará muestreo no probabilístico por conveniencia debido a que es una técnica donde las muestras de la población se seleccionan solo porque están convenientemente disponibles para el investigador.

3.4 *Técnicas*

3.4.1 *Materiales y reactivos*

3.4.1.1 *Materiales*

- Termómetro
- Imán
- Soporte universal
- Pinza universal
- Pinza doble bureta
- Bureta de 25 mL
- Mortero y pistilo
- Vasos de precipitación (100 mL; 250 mL; 500 mL; 1 L)
- Matraz aforado (100 mL; 500 mL)
- Tubos de ensayo
- Pipetas graduadas (1 mL; 5 mL; 10 mL)
- Pera de succión
- Probeta graduada de 50 mL
- Gradilla
- Vidrio Reloj
- Espátula
- Embudo Büchner
- Kitasato 250 ml

3.4.1.2 *Reactivos*

- Hidróxido de potasio al 88%
- Nitrato de potasio al 99,5%
- Sulfato de hierro heptahidratado al 98%

- Agua desionizada
- Nitrato de plomo al 99%
- Ácido Nítrico al 69%

3.4.1.3 Equipos

- Balanza Analítica
- Agitador magnético
- Agitador de cabeza de alta velocidad
- Espectroscopia de absorción atómica
- Espectroscopía infrarroja (IR)
- Espectroscopía de rayos X de energía dispersiva (EDS)
- Microscopio electrónico de barrido
- Gas de nitrógeno

3.5 Obtención del composito

3.5.1 Hidrolisis del aserrín

Al aserrín se realizó un proceso de secado para eliminar la humedad, luego se trituro para obtener partículas más pequeñas y aumentar la eficiencia, se tamizo para que la partícula quede de un diámetro aproximadamente de 250 μm . Posterior a ello, se preparó una solución alcalina utilizando hidróxido potasio (KOH) al 88%.

El aserrín se mezcló con la solución básica en un recipiente adecuado, donde se agregó 14 gramos del material en una solución de 0,875 gramos de KOH en 175 mililitros de agua. La mezcla se calentó y se agitó para promover la reacción química entre el aserrín y la solución alcalina. La mezcla se deja enfriar 20 minutos, se filtra y para alcanzar el pH deseado de 7 se realiza diversos lavados.

3.5.2 Preparación del composito Fe_3O_4 soportado en aserrín

Se pesó 5 g de aserrín en un recipiente de vidrio (250 ml) donde se disolvió 8 g de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ en 100ml de agua desionizada previamente enjuagada con N_2 en el recipiente. Para luego introducir el recipiente de reacción en un baño de agua a 90 °C, procurando mantener esta temperatura en toda la reacción y una entrada de gas para purgar N_2 .

Una vez alcanzada la temperatura de reacción, se agregó 24 mL de una solución libre de oxígeno que contenía 0,69 g de KNO_3 y 4,5 g de KOH gota a gota por aproximadamente 5 minutos. La solución reacciona por 30 a 60 minutos, para después dejarla enfriar durante la noche y lavar el precipitado negro hasta alcanzar una conductividad similar al agua desionizada de 2 μS .

3.5.3 Preparación de la solución sintética

Se utilizó una solución estándar para preparar la solución sintética de plomo de 100 ppm, luego de realizar los cálculos estequiométricos pertinentes se utilizó 0,8 gramos de nitrato de plomo al 99%, 5 mL de ácido nítrico al 69% y aforamos en un balón de 500 mL.

3.5.4 Adsorción en columna

Se preparó una columna con el adsorbente seleccionado en este caso el compuesto de magnetita soportado en aserrín utilizando 2 y 4 gramos. La mezcla líquida de plomo a 50-100 ppm se introduce en la parte superior de la columna y se deja fluir a través del lecho de adsorbente.

Los componentes de la mezcla se adsorben selectivamente en la superficie a medida que atraviesan la columna, donde los de mayor afinidad se adsorben en mayor medida, mientras que los menos afines pueden pasar fácilmente a través del lecho adsorbente. Finalmente, se realizó el análisis de espectroscopia de adsorción atómica teniendo en consideración el factor de dilución para obtener resultados coherentes que nos permitirá la interpretación de los datos.

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Caracterización de Materia Prima

El aserrín de pino y copal fueron caracterizados mediante un análisis próximo que consistió en determinar el contenido de humedad, cenizas y densidad. Los resultados se muestran en la Tabla 4-1.

Tabla 4-1: Análisis fisicoquímico del aserrín pino-copal

PARÁMETRO	MATERIAL	REPETICIONES			RESULTADOS	
		1	2	3	Media	Desviación
Humedad (%)	Pino	7,314	7,143	7,367	7,275	0,117
	Copal	10,623	10,905	10,789	10,772	0,142
Cenizas (%)	Pino	0,325	0,343	0,350	0,339	0,013
	Copal	0,350	0,345	0,331	0,342	0,010
Densidad (kg/m ³)	Pino	205	202,5	204,5	204	1,323
	Copal	242,500	245,500	239,500	242,500	3,000

Realizado por: Chimbo M. & Guilcapi E.,2024.

Los valores promedio de humedad de los 2 tipos de aserrín son de 7,275% y 10,772% con una variación de 2,472, siendo el menor porcentaje para el pino y el mayor para el copal. Indistintamente del tipo de material, los valores promedios de humedad de las biomásas estudiadas están dentro del rango (2-10 %) reportado para lijaduras con un tamaño de partícula <1mm, según lo manifiesta (Serret-Guasch, Giralt-Ortega, Quintero-Ríos 2016), este parámetro puede afectar la capacidad de adsorción, un nivel alto puede interferir con la interacción entre el aserrín y las sustancias a adsorber.

Por otra parte, el contenido de cenizas en el aserrín de pino-copal fueron de 0,339% y 0,342% estos valores sugieren que el porcentaje es relativamente bajo, lo que puede indicar que la madera ha sido aserrada con un proceso eficiente y que la cantidad de materia orgánica quemada es mínima. Estos resultados se encuentran próximos a los propuestos por (Serret-Guasch, Giralt-Ortega, Quintero-Ríos 2016) el cual reporta un promedio de 0,1-0,5% en lijaduras.

En cuanto a los resultados de la densidad real se obtuvieron 204 y 242,50 (kg/m³) correspondientes al aserrín de pino y copal. Comparando con los datos obtenidos en la investigación realizada por (Molenda et al. 2021) los valores se encuentran dentro del rango establecido

202 ± 2 y 267 ± 2 (kg/m^3) respectivamente. Esta variación en la densidad puede influir en la porosidad y la superficie de contacto del material, lo cual impacta directamente en su capacidad de adsorber metales pesados en un proceso de adsorción, siendo un factor determinante.

4.2 Análisis de espectroscopia FT-IR

A continuación, se presentan los espectros FT-IR de las materias primas; aserrín de copal-pino hidrolizados; compositos Fe_3O_4 -aserrín y magnetita.

4.2.1 Espectro FT-IR del aserrín de copal

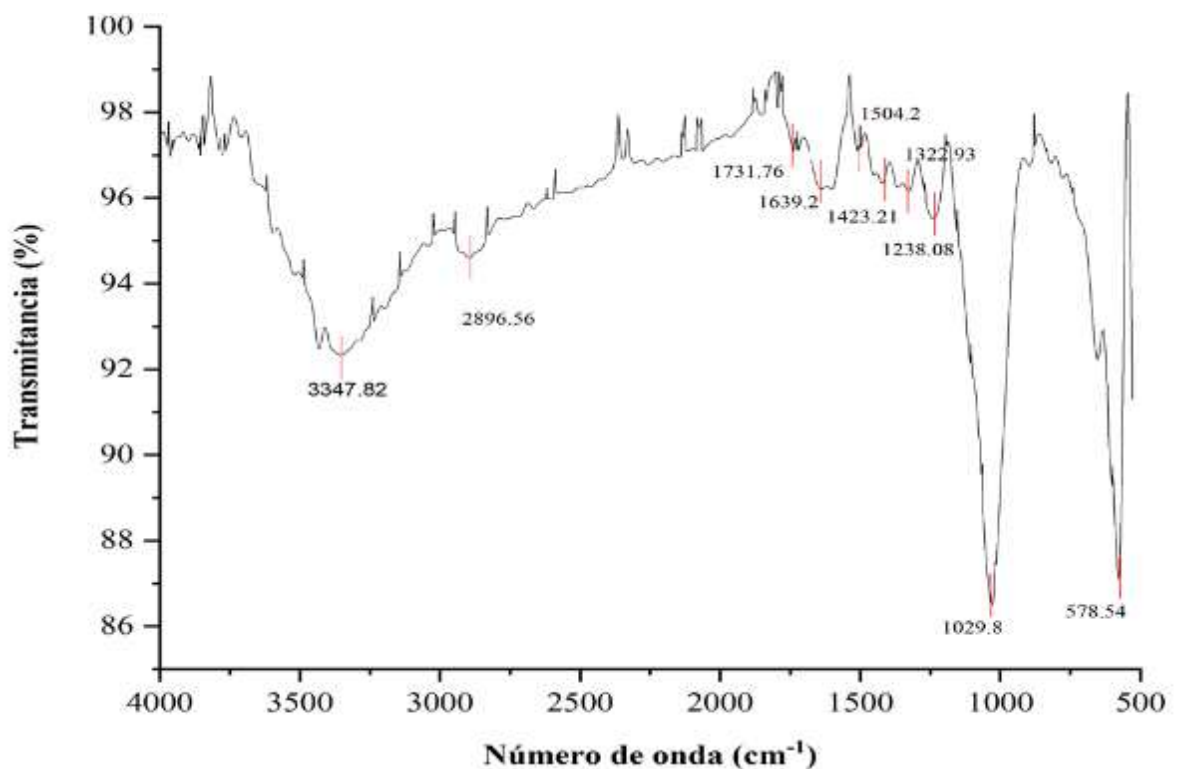


Ilustración 4-1: Espectro Infrarrojo del aserrín de copal.

Realizado por: Chimbo M. & Guilcapi E., 2024.

La ilustración 4-1 muestra un espectro FT-IR para el aserrín de copal en donde se observa bandas de absorción características para los grupos funcionales de compuestos orgánicos tales como hemicelulosa, celulosa y lignina cuyo grupo funcional es el hidroxilo (-OH), correspondiente al pico más intenso con número de onda $3347,82 \text{ cm}^{-1}$ debido a la tensión que provoca el enlace O-H que se va desplazando hacia números de ondas mayores. En comparación con el estudio realizado por (Requejo 2011) presentan similitud en la banda de 3353 cm^{-1} que corresponde al estiramiento del enlace O-H, indicando la presencia de grupos hidroxilo. Las bandas $1731,76 \text{ cm}^{-1}$

¹; 1639,2 cm⁻¹; 1504,1 cm⁻¹; 1423,21 cm⁻¹; 1322,93 cm⁻¹; 1238,08 cm⁻¹ corresponden a enlaces C=O, O = C=OH y C-H característicos de los grupos funcionales aldehídos y ácidos carboxílicos, respectivamente. Estos grupos son característicos de la celulosa. Por otra parte, en el rango de los 578,54 cm⁻¹ se muestra la vibración de flexión de los enlaces C-C y C-O que pertenecen a enlaces de cadena en estructuras poliméricas como la celulosa.

4.2.2 Espectro FT-IR del aserrín de pino

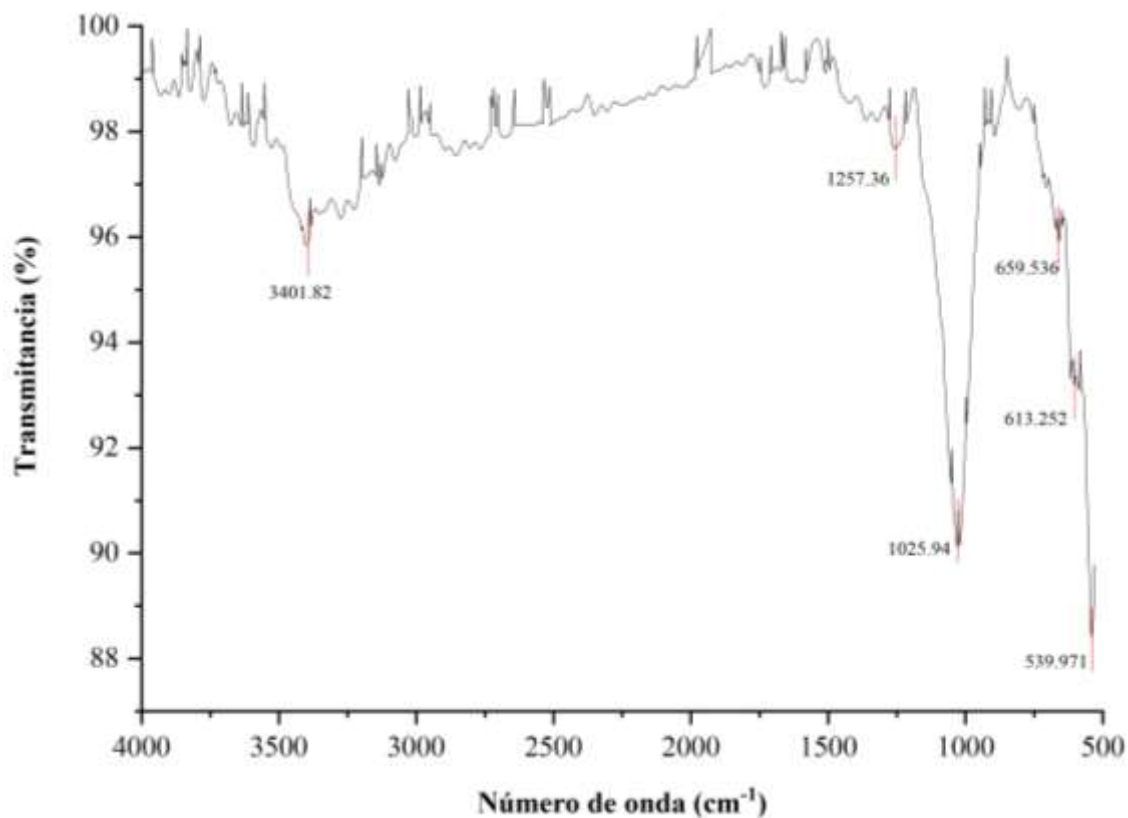


Ilustración 4-2: Espectro Infrarrojo del aserrín de pino.

Realizado por: Chimbo M. & Guilcapi E., 2024.

Según los resultados obtenidos del espectro FT-IR del aserrín de pino se puede visualizar la formación de 6 bandas de absorción, el pico más intenso pertenece al número de onda 3401,82 cm⁻¹ característico de un grupo funcional (-OH) de compuestos orgánicos tales como hemicelulosa, celulosa y lignina. Además, el espectro muestra un grupo metilo de enlace C-H a 2918 cm⁻¹ con un estiramiento asimétrico, dos picos que son exclusivos de un alqueno de 1257,36 cm⁻¹ debido al estiramiento del C-C y 1025,94 cm⁻¹ con una vibración de estiramiento de enlace C-OH como los alcoholes primarios. A comparación con el espectro FT-IR aserrín de copal este presenta una banda OH más intensa, lo que indica una mayor concentración de grupos OH en el material. Según el estudio de (Jiménez, Padilla 2012,

pp. 30–44) se evidencia bandas en 2920 cm^{-1} y 2850 cm^{-1} debido al estiramiento asimétrico y simétrico de los enlaces C-H de grupos metileno ($-\text{CH}_2-$), por la presencia de cadenas alifáticas.

4.2.3 Espectro FT-IR del aserrín de copal hidrolizado

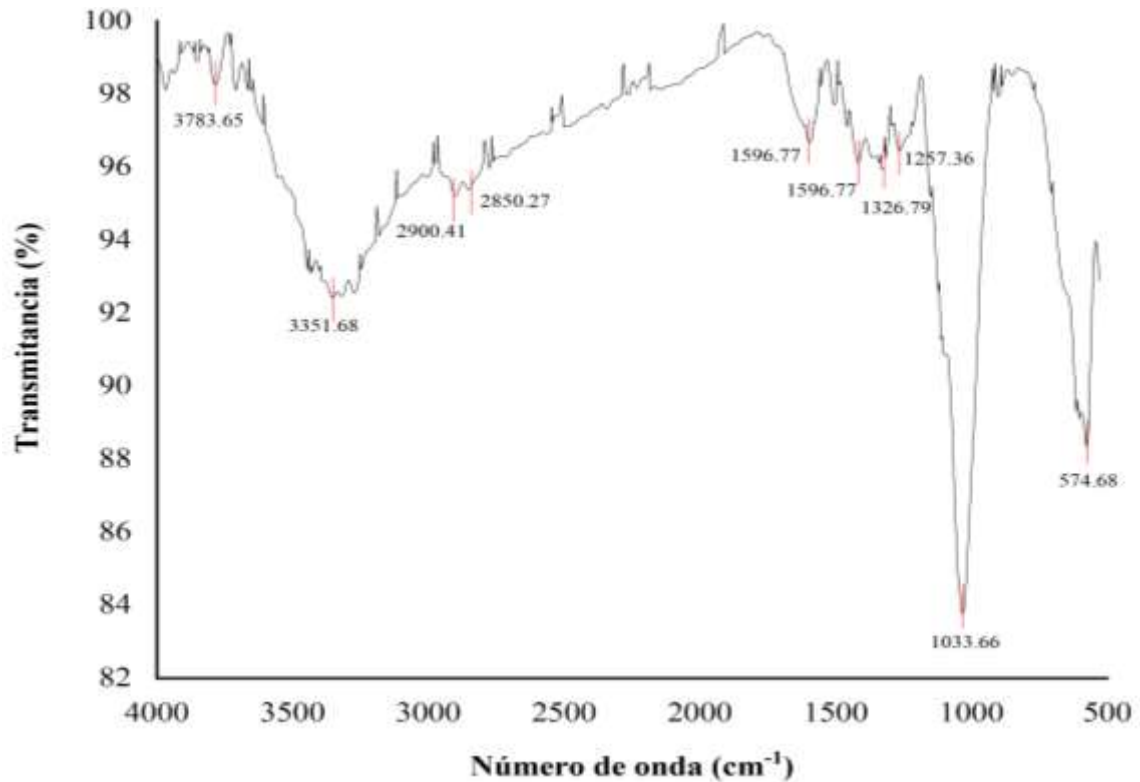


Ilustración 4-3: Espectro Infrarrojo del aserrín de copal hidrolizado.

Realizado por: Chimbo M. & Guilcapi E., 2024.

En la ilustración 4-3 se observa el espectro infrarrojo de la muestra de aserrín de copal tratada con $\text{K}(\text{OH})$ al 85%, la hidrólisis produce un aumento en la concentración de grupos OH. Esto se debe a la ruptura de los enlaces éster que unen los ácidos carboxílicos a los alcoholes, también produce una disminución en la intensidad de la banda $\text{C}=\text{O}$, lo que indica un descenso en la concentración de grupos $\text{C}=\text{O}$ a diferencia del espectro del aserrín de copal (ilustración 4-1). Por otra parte, la banda OH es más intensa generando una mayor concentración de grupos OH a diferentes números de onda tales como $3783,63\text{ cm}^{-1}$; $3351,68\text{ cm}^{-1}$ y $1326,79\text{ cm}^{-1}$.

4.2.4 Espectro FT-IR del aserrín de pino hidrolizado

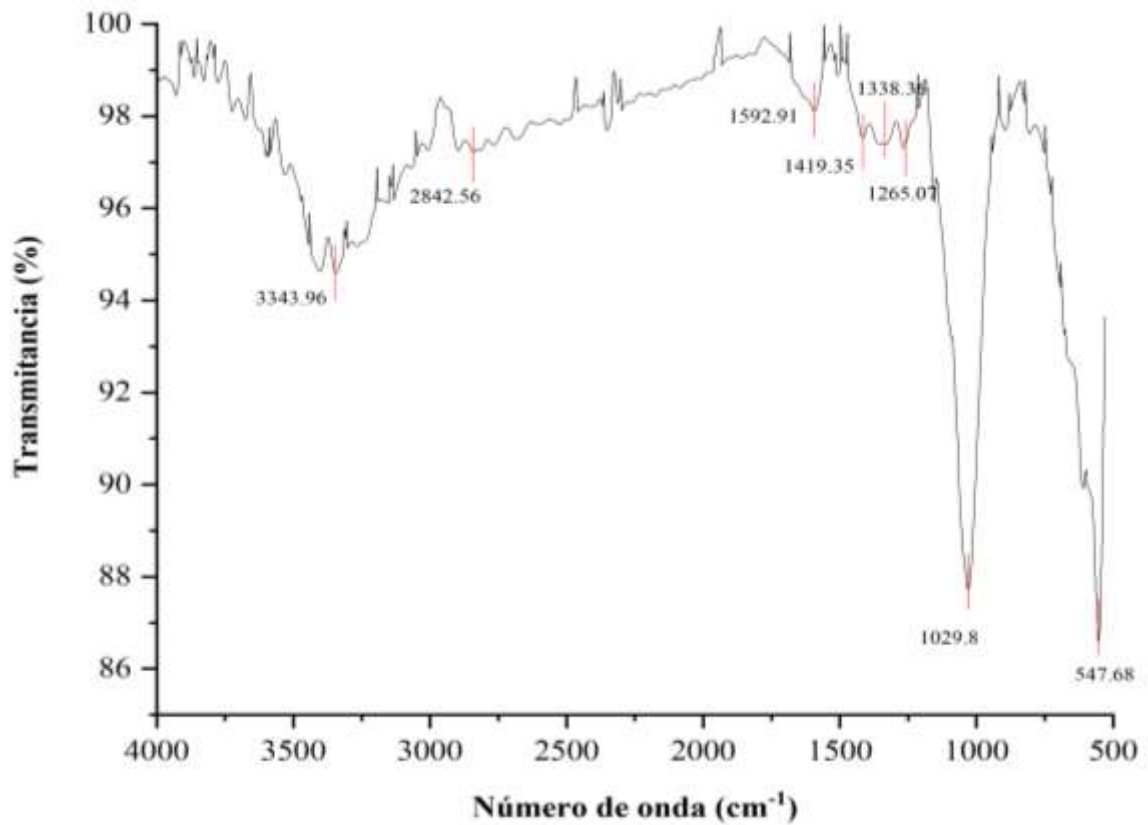


Ilustración 4-4: Espectro Infrarrojo del aserrín de pino hidrolizado.

Realizado por: Chimbo M. & Guilcapi E., 2024.

Los resultados de la ilustración 4-4 del análisis FT-IR indican que la hidrólisis del aserrín de pino no produce cambios significativos en la mayoría de los grupos funcionales presentes. Sin embargo, se observa la desaparición de las bandas C-C y C-O en el espectro debido a que la hidrólisis produce su ruptura. De igual manera la banda OH es más intensa generando una mayor concentración de sus grupos debido a que el agua ataca a los enlaces éster, rompiéndolos y liberando ácidos carboxílicos y alcoholes.

4.2.5 Espectro FT-IR de la Magnetita (Fe_3O_4)

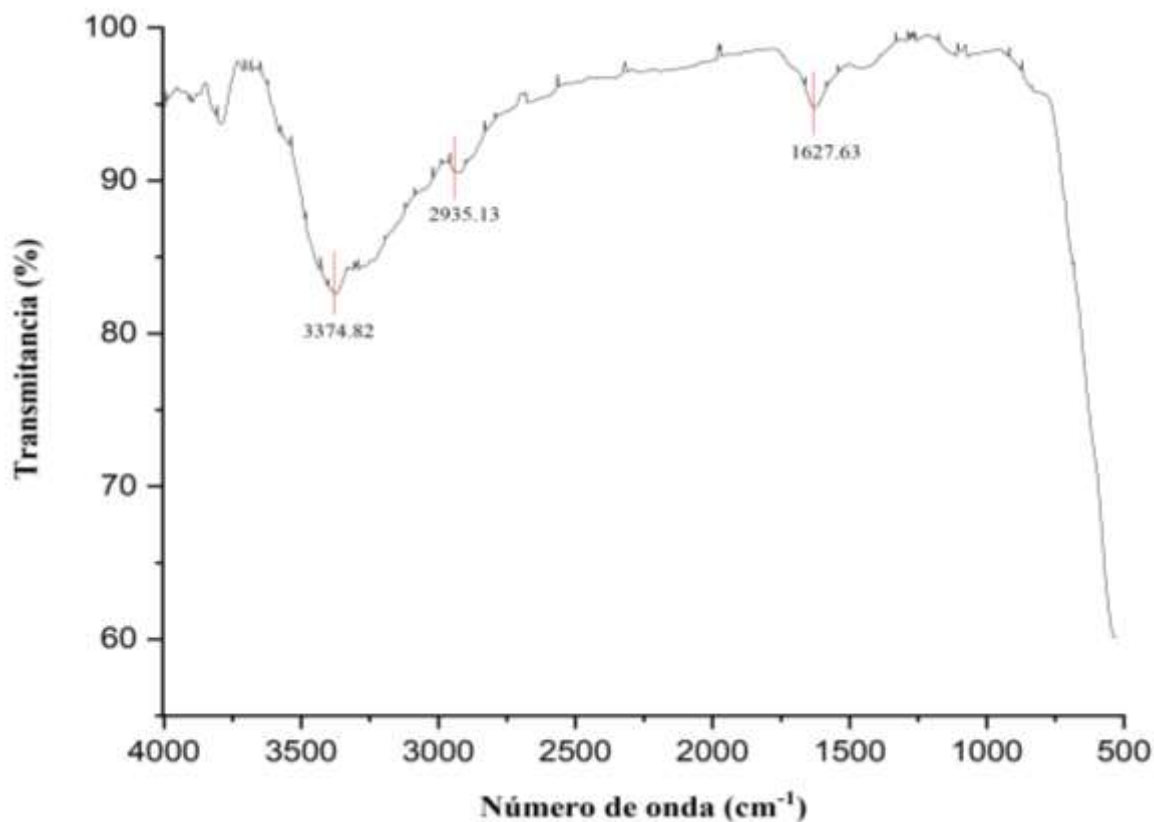


Ilustración 4-5: Espectro Infrarrojo de la magnetita.

Realizado por: Chimbo M. & Guilcapi E., 2024.

La ilustración 4-5 muestra un espectro FT-IR para la magnetita donde se destaca una banda intensa a $1627,63 \text{ cm}^{-1}$ que se atribuye a la presencia de vibraciones de enlace Fe-O que indican que el material presenta una estructura cristalina espinela cúbica. De acuerdo con estudios previos (Ormaza et al. 2020, pp. 1094–1107) , se observan similitudes, ya que el compuesto exhibe bandas vibratorias a 582 y 397 cm^{-1} , características de la magnetita.

4.2.6 Espectro FT-IR del compuesto de Fe_3O_4 soportado en aserrín de copal

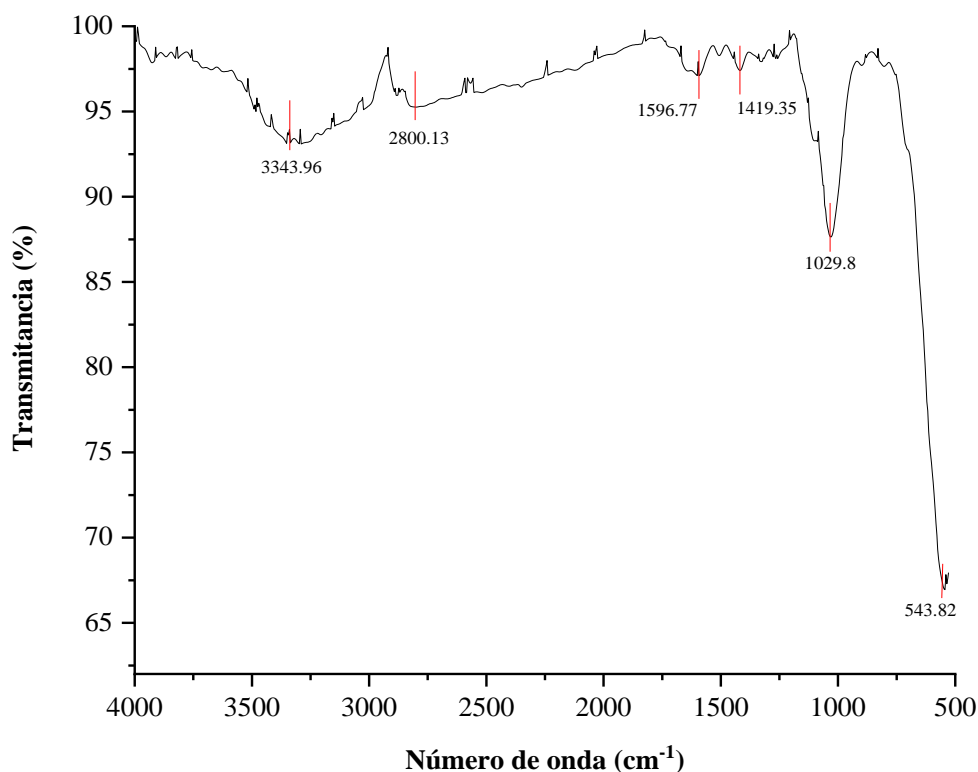


Ilustración 4-6: Espectro Infrarrojo del compuesto de aserrín de copal-magnetita.

Realizado por: Chimbo M. & Guilcapi E., 2024.

En la ilustración 4-6 se observa que el compuesto soportado presenta nuevas bandas a 543,82 cm⁻¹ y 465 cm⁻¹, que se atribuyen a la presencia de grupos Fe-O y Fe-N, respectivamente. Estas bandas muestran la formación de un enlace entre el aserrín de copal y la magnetita, la cual se origina por interacción entre los grupos OH del aserrín y los grupos Fe-O de la magnetita, indicando que hay una mayor cantidad de grupos Fe-O en el compuesto. Por otra parte, los grupos funcionales C-H y C=O de compuestos orgánicos tales como alcanos y ácidos carboxílicos correspondientes a los números de onda de 1596,77 cm⁻¹ y 2800,13 cm⁻¹ del compuesto también revelan que el aserrín de copal se ha unido exitosamente a la magnetita.

4.2.7 Espectro FT-IR del compuesto de Fe₃O₄ soportado en aserrín de pino

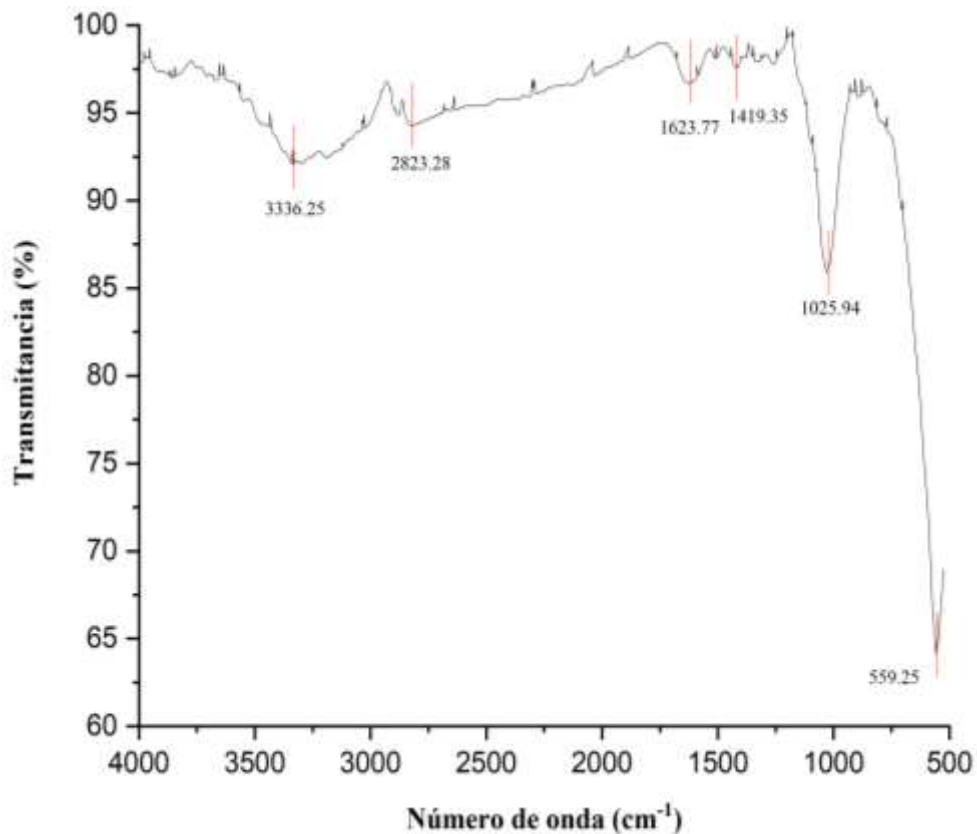


Ilustración 4-7: Espectro Infrarrojo del compuesto de aserrín de pino -magnetita.

Realizado por: Chimbo M. & Guilcapi E., 2024.

Según los resultados obtenidos en la ilustración 4-7 se puede visualizar la formación de 6 bandas de absorción a diferentes números de onda característicos de grupos funcionales OH, CH, C=O, C-O presentes en la hemicelulosa, celulosa y lignina. Las presencias de estos grupos indican que el aserrín de pino se ha unido propiciamente a la magnetita, además existe la presencia de vibraciones de enlace Fe-O que se encuentran en la misma región de frecuencia del compuesto de copal.

4.3 Análisis de microscopía SEM

4.3.1 *Composito de Fe₃O₄ soportado en aserrín de pino*

La figura 4-8 muestra micrografías a diferentes resoluciones del compuesto de pino, obtenidas mediante análisis con microscopía electrónica de barrido para visualizar la superficie del material. Las imágenes capturadas muestran una variedad de tamaños y formas en una estructura morfológica irregular. Algunas partículas son casi perfectamente esféricas, mientras que otras tienen formas más angulosas con bordes y esquinas definidas, o alargadas como varillas o fibras. Este tipo de morfología es consistente con lo reportado por (Knapik et al. 2020), la fibra recubierta

presenta una morfología heterogénea, con partículas alargadas, angulosas y pliegues. Además, su superficie es rugosa debido a una estructura fibrosa. Esta rugosidad puede influir en su comportamiento durante los procesos de adsorción.

De acuerdo con las imágenes presentadas las partículas de aserrín no se impregnaron por completo con la magnetita. La falta de impregnación se debe a las diferencias estructurales entre los dos materiales, ya que la magnetita posee una estructura cristalina densa, mientras que el aserrín es un material poroso y fibroso. Además, la superficie lisa o carga diferente de la magnetita puede dificultar la unión con la biomasa.

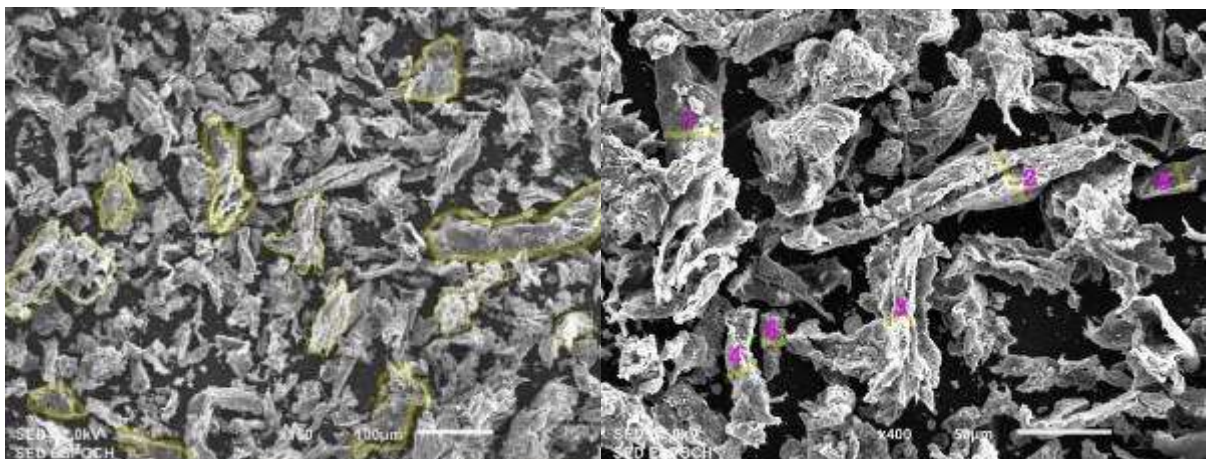


Ilustración 4-8: Micrografía SEM del compuesto de pino impregnado en magnetita a) 1x160, b) 1x400

Fuente: Software ImageJ, 2024.

Se estima que el espesor medio de las partículas es inferior a 100 μm , con algunas individuales llegando hasta 50 μm . Al observar las partículas seleccionadas, el número 1 tiene un área superficial de 7,348 μm^2 , lo que sugiere una mayor capacidad de adsorción de contaminantes y una interacción más significativa con otros materiales en una mezcla o compuesto. Por otro lado, la partícula número 2, siendo más pequeña con un área superficial de 4,655 μm^2 , indica una capacidad de adsorción menor o una reactividad química inferior en comparación con partículas de mayor área superficial.

Tabla 4-2: Parámetros del compuesto de pino

	Área (μm^2)	Radio (nm)
1	7,348	1,529
2	4,655	1,217
3	5,550	1,329
4	4,751	1,230
5	5,906	1,371
6	5,385	1,309

Fuente: Software ImageJ, 2024.

4.3.2 *Composito de Fe_3O_4 soportado en aserrín de copal*

Al comparar con la ilustración 4-8, se observa que la biomasa de aserrín de copal muestra una impregnación baja. Esto se debe a las diferencias en las composiciones químicas y estructuras físicas entre el aserrín de copal y el de pino. Es posible que la estructura más compacta del aserrín de copal no favorezca una unión efectiva con la magnetita. Además, la rugosidad de su superficie podría afectar su capacidad de impregnación.

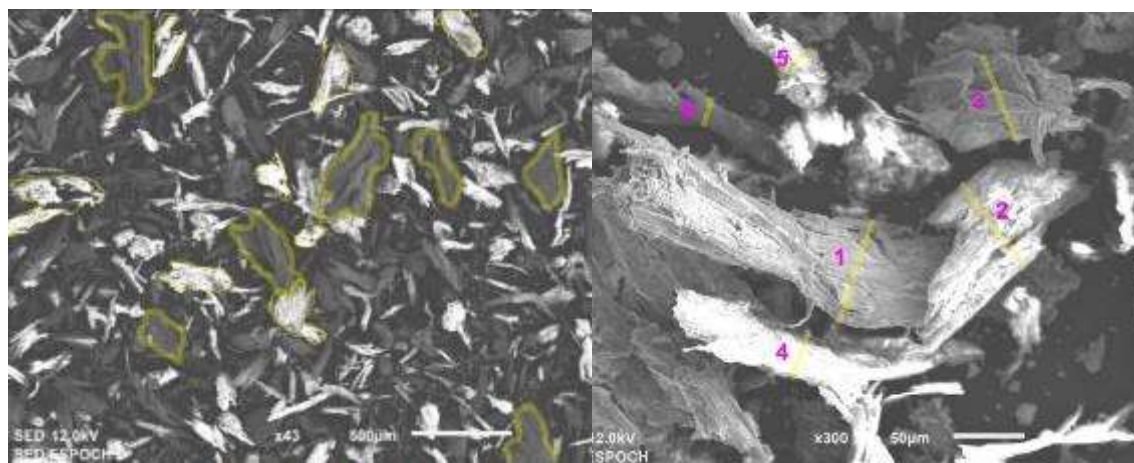


Ilustración 4-9: Micrografía SEM del compuesto de copal impregnado en magnetita a) 1x43, b) 1x300

Fuente: Software ImageJ, 2024.

Según el análisis de las partículas seleccionadas, la partícula número 1 tiene un área superficial de $17,962 \mu\text{m}^2$, lo que sugiere una mayor capacidad de adsorción de contaminantes y una interacción más fuerte con otros materiales en la mezcla. Por otro lado, la partícula número 6 tiene un área superficial más pequeña ($9,585 \mu\text{m}^2$), lo que indica una capacidad de adsorción o reactividad química menor en comparación con las partículas de mayor área superficial.

Tabla 4-3: Parámetros del composito de copal

	Área (μm) ²	Radio (nm)
1	17,962	2,391
2	17,690	2,373
3	16,753	2,309
4	13,113	2,043
5	12,173	1,968
6	9,585	1,747

Fuente: Software ImageJ, 2024.

4.4 Análisis de Espectroscopía por dispersión de energía (EDS)

4.4.1 Composito de pino

El espectro EDS del compuesto de magnetita impregnado en aserrín de pino muestra la presencia de tres elementos principales. El carbono (C) es el más abundante, constituyendo el 47,07% de los átomos en la muestra, debido al aserrín compuesto principalmente por celulosa. El oxígeno (O) es el segundo más abundante con un 41,43%, proveniente tanto de la magnetita como del aserrín. Finalmente, el hierro (Fe) representa el 11,50%, indicando la presencia de magnetita (Fe_3O_4), el componente inorgánico principal del compuesto.

Además, las relaciones K indican la intensidad relativa de los rayos X característicos de cada elemento en el espectro, siendo el oxígeno (O) el más intenso, seguido del carbono (C) y el hierro (Fe).

Tabla 4-4. Datos obtenidos en un análisis por espectroscopía por dispersión de energía (EDS)

Formula	Masa (%)	Átomo (%)	Sigma	Net	Relación K	Línea
C	6,75	47,07	0,09	2034	0,0361	K
O	7,91	41,43	0,09	2959	0,0557	K
Fe	7,66	11,50	0,14	853	0,0305	K
Total	22,32	100,00				

Fuente: Laboratorio de microscopía electrónica de barrido 2024.

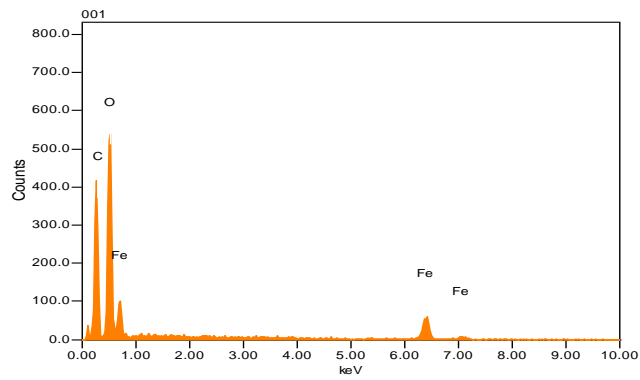


Ilustración 4-10: Análisis EDS del compuesto de pino

Fuente: Laboratorio de microscopía electrónica de barrido 2024.

4.4.2 *Composito copal*

Comparando con la tabla 4-4, los resultados obtenidos son similares, ya que este compuesto está formado principalmente por C, O y Fe en ese orden de abundancia. También, la relación K obtenida indica que el oxígeno sigue siendo el elemento más prominente en la emisión de rayos X.

Tabla 4-5. Datos obtenidos en un análisis por espectroscopia por dispersión de energía (EDS)

Formula	Masa (%)	Átomo (%)	Sigma	Net	Relación K	Línea
C	9,13	46,20	0,09	3304	0,0498	K
O	11,85	45,02	0,11	5080	0,0813	K
Fe	8,07	8,78	0,13	1042	0,0316	K
Total	29,04	100,00				

Fuente: Laboratorio de microscopía electrónica de barrido 2024.

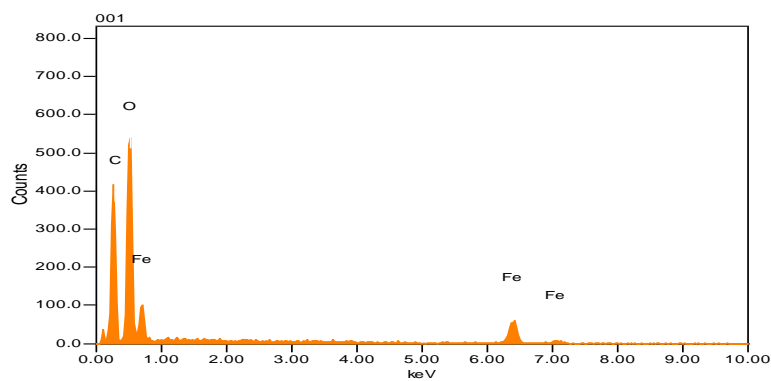


Ilustración 4-11 Análisis EDS del compuesto de pino

Fuente: Laboratorio de microscopía electrónica de barrido 2023.

4.5 Evaluación de la Adsorción de plomo (Pb^{+2})

4.5.1 *Curvas de ruptura con 2 gramos de composito y 50 ppm de solución de plomo*

Según las curvas de ruptura obtenidas, se observa en la ilustración 4-10a que los materiales hidrolizados no muestran diferencias significativas, ya que sus tasas de adsorción son consistentes a lo largo de todo el proceso. Se alcanza un máximo de adsorción del 50% en los primeros minutos, descendiendo gradualmente hasta un mínimo del 4% al final del proceso.

En la ilustración 4-10b, se evidencia que el compuesto de pino impregnado con magnetita exhibe una mayor eficiencia en el proceso. Esto se refleja en el alto porcentaje de remoción, alcanzando un 97 % (equivalente a 0,0218 ppm) en los primeros minutos, y descendiendo a un mínimo de 5 % (equivalente a 0,9785) a los 60 minutos. Esta disminución se atribuye a la saturación de los sitios activos del material, impidiendo la absorción de más iones de plomo. En contraste, el compuesto de copal muestra un porcentaje inferior en los primeros minutos, alcanzando un 79 % (equivalente a 0,2105 ppm).

En las ilustraciones 4-10c y 4-10d, se evidencia la diferencia entre los compositos y sus respectivos materiales en blanco. Los resultados muestran que el uso de aserrín recubierto con magnetita proporciona una mayor eficacia en la adsorción del metal en comparación con el aserrín sin tratar, el cual exhibe una menor capacidad de remoción de plomo, este fenómeno se atribuye a la reducida área superficial.

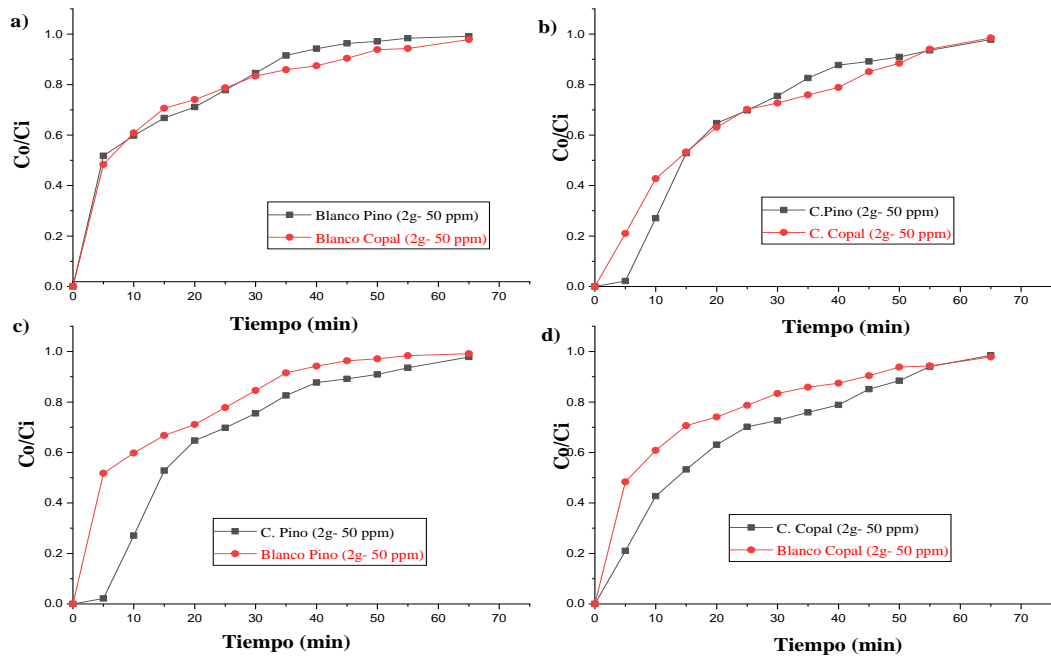


Ilustración 4-12: Curvas de ruptura de los datos experimentales bajo las condiciones de 2 gramos de compuesto y 50 ppm de solución de plomo.

Realizo por: Chimbo M. & Guilcapi E., 2024.

4.5.2 Curvas de ruptura con 4 gramos de compuesto y 50 ppm de solución de plomo

En la ilustración 4-11a, se aprecian diferencias significativas entre los dos tipos de aserrín hidrolizados a lo largo de todo el proceso. El aserrín de pino alcanza un máximo de adsorción del 60 %, mientras que el aserrín de copal llega al 49 % en los primeros minutos. Estos valores disminuyen gradualmente hasta un mínimo del 3% y 5% respectivamente al final.

En la ilustración 4-11b, se destaca que el compuesto de copal impregnado con magnetita muestra una diferencia notable de apenas el 1% (98 % - 97 % en los minutos iniciales) a lo largo de todo el proceso de remoción, en comparación con el compuesto de pino. Esto indica que, bajo estas condiciones de trabajo, ambos materiales son eficaces como adsorbentes de metales, presentando una diferencia mínima entre ellos.

En las ilustraciones 4-11c y 4-11d, se observa que entre los minutos 10 y 30, el porcentaje de remoción del metal es menor al utilizar el aserrín hidrolizado en un rango de 49 al 60 %, en contraste con los compuestos, cuyo porcentaje es más elevado (entre el 97 y el 100 %). La disparidad en la eficacia de remoción puede ser atribuida al material hidrolizado. Este podría incluir compuestos que compiten con el plomo por los sitios de adsorción, al mismo tiempo que

modifica propiedades como su estructura porosa o su carga superficial. Estos cambios limitan la capacidad del material para adsorber una mayor cantidad de iones de plomo.

Al comparar con la investigación realizada por (Praipipat et al. 2023, pp. 1–27) que trabajó con una concentración de plomo de 50 mg/L, se observó que las eficiencias de eliminación para el polvo de aserrín (SP) y las perlas de aserrín en polvo dopado con óxido-hidróxido de hierro (SPFB) fueron del 82,14 % y 100 %, respectivamente. Esto demuestra que el SPFB es más eficiente en la eliminación de plomo del agua. En resumen, el material recubierto supera al aserrín hidrolizado en términos de eficacia a esta concentración.

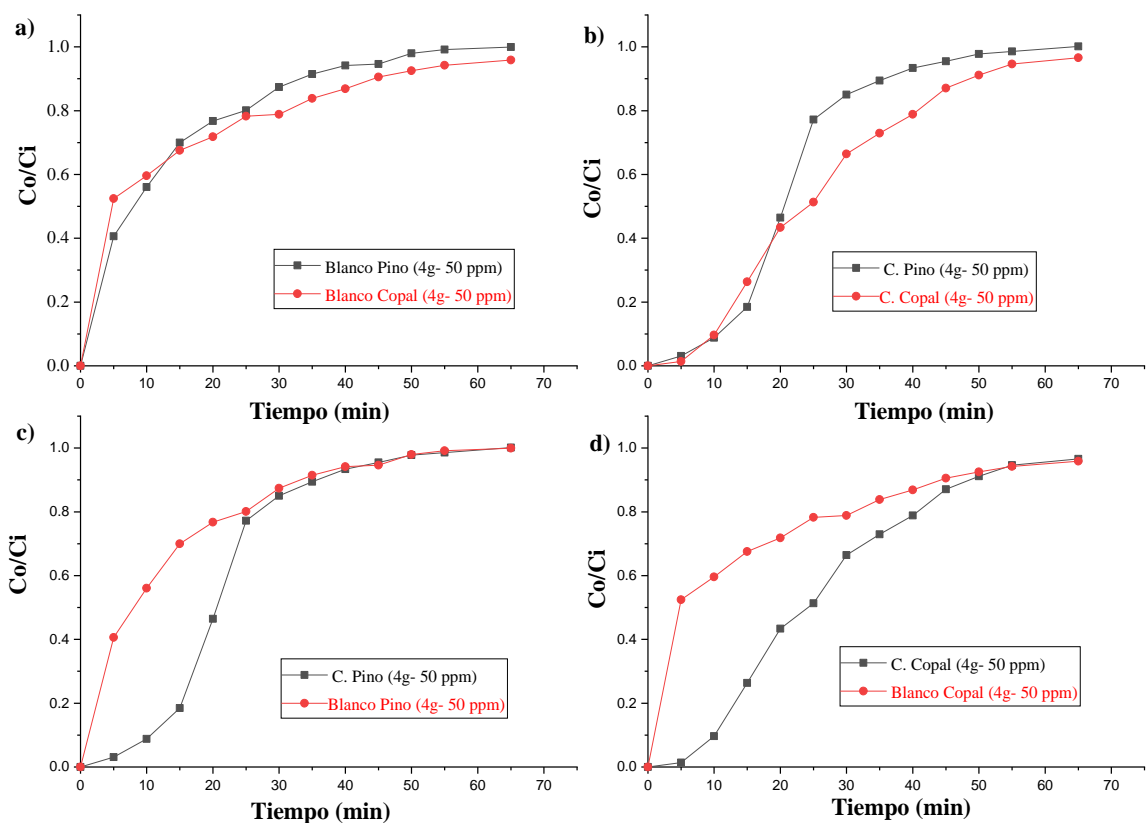


Ilustración 4-13: Curvas de ruptura de los datos experimentales bajo las condiciones de 4 gramos de compuesto y 50 ppm de solución.

Realizo por: Chimbo M. & Guilcapi E., 2024.

4.5.3 Curvas de ruptura con 2 gramos de compuesto y 100 ppm de solución de plomo

En la ilustración 4-12a, se observa que no hay diferencias significativas entre los dos tipos de aserrín hidrolizados, ya que ambos materiales absorben alrededor del 44 % del metal como máximo durante el proceso. En contraste, en la ilustración 4-12b, se destaca el compuesto de pino

impregnado con magnetita debido a su notable capacidad de remoción del 87 % en los primeros minutos. Este porcentaje supera en un 30 % al compuesto de copal.

En la ilustración 4-12c, al inicio del experimento, se registra un máximo del 45,89 % de remoción del metal utilizando aserrín hidrolizado de pino, mientras que con el compuesto se logra un porcentaje más alto, alcanzando el 87,52 %. Por otro lado, en la ilustración 4-12d, se observa que el aserrín hidrolizado de copal logra un máximo del 41,52 %, mientras que con el compuesto se alcanza un porcentaje de remoción del 57,39 %. Estos resultados indican que las condiciones de trabajo pueden no ser óptimas, ya que no hay una diferencia significativa al utilizar ambos materiales. Esto podría atribuirse a una insuficiente cantidad de compuesto para adsorber adecuadamente el plomo presente en la solución.

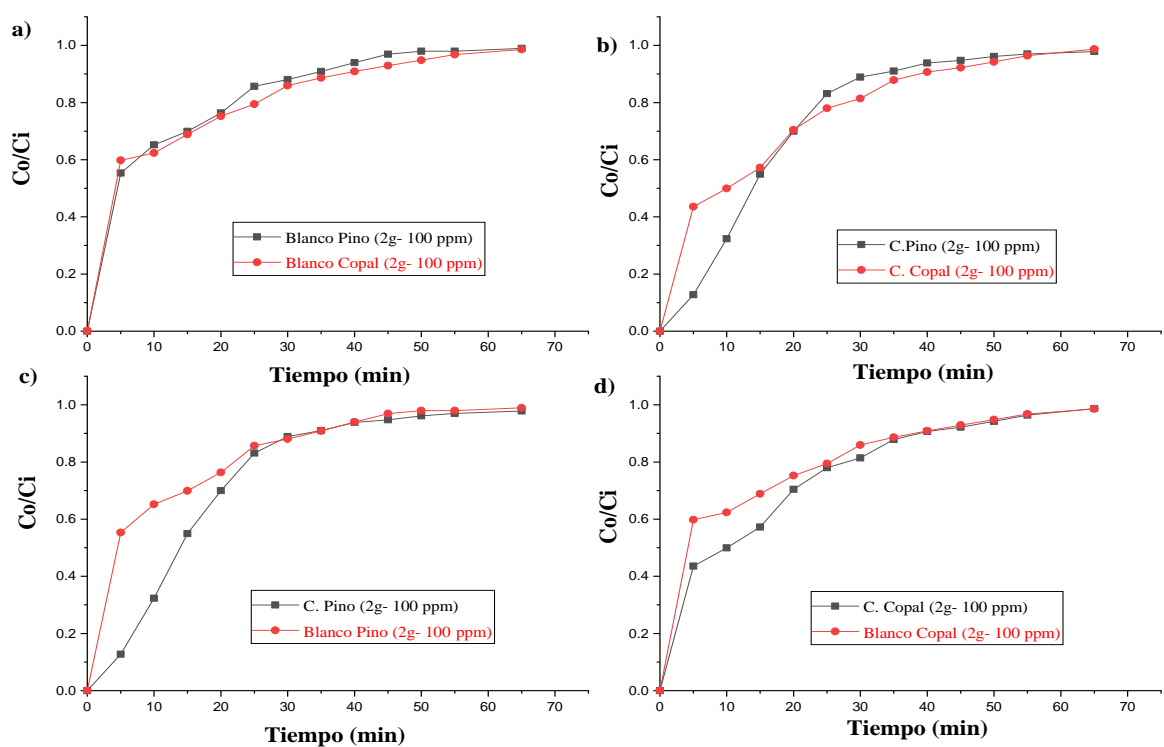


Ilustración 4-14 : Curvas de ruptura de los datos experimentales bajo las condiciones de 2 gramos de compuesto y 100 ppm de solución.

Realizo por: Chimbo M. & Guilcapi E., 2024.

4.5.4 Curvas de ruptura con 4 gramos de compuesto y 100 ppm de solución de plomo

En la ilustración 4-13a, se observa que no hay diferencias significativas entre los materiales hidrolizados, ya que estos adsorben alrededor del 40-49 % del plomo como máximo. En contraste, los compuestos muestran un alto porcentaje de remoción del 95-96 % respectivamente.

En las ilustraciones 4-13c y 4-13d, se evidencia la diferencia entre los compositos y sus respectivos materiales en blanco. Los resultados indican que el uso de aserrín recubierto con magnetita proporciona una mayor eficacia en la adsorción del metal en comparación con el aserrín tratado. Este exhibe una capacidad de remoción de plomo más baja, atribuible a su reducida área superficial. Además, se observa que las condiciones de trabajo son óptimas para este proceso.

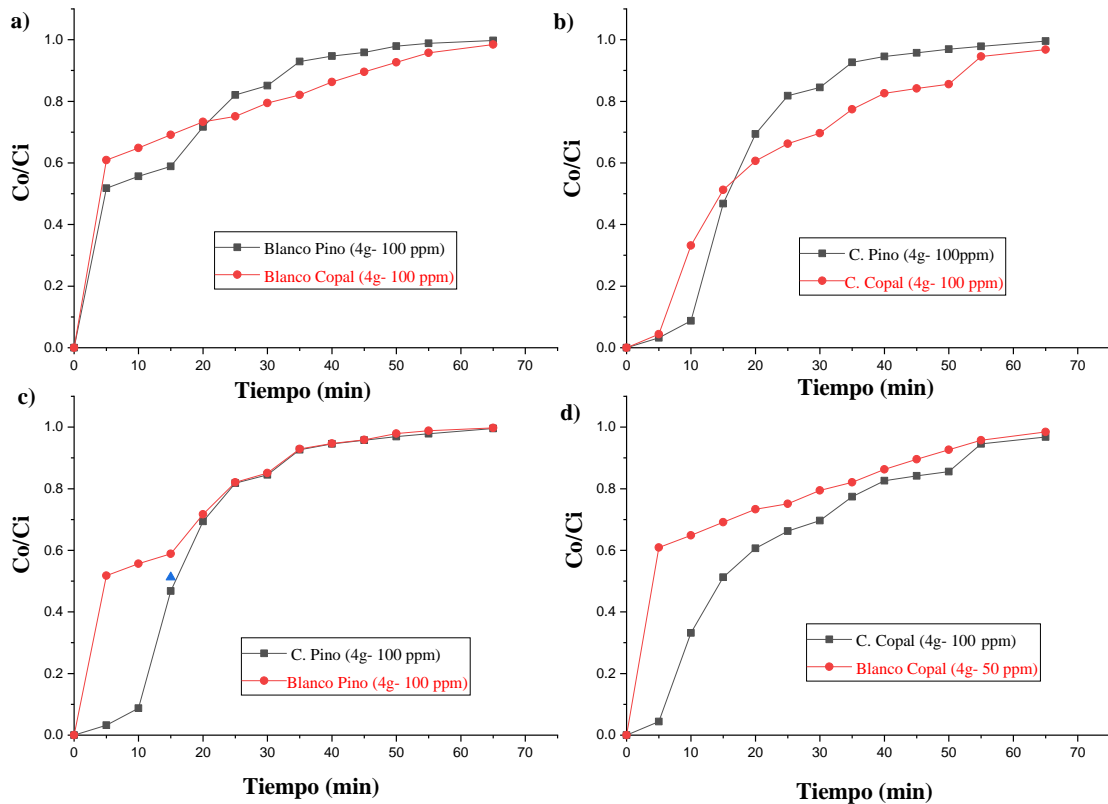


Ilustración 4-15: Curvas de ruptura de los datos experimentales bajo las condiciones de 4 gramos de composito y 100 ppm de solución.

Realizo por: Chimbo M. & Guilcapi E., 2024.

4.5.5 Curva de ruptura de los compositos con diferentes condiciones de trabajo

En la ilustración 4-14, se observa que las condiciones óptimas para lograr una remoción efectiva del metal son utilizando 4 gramos de composito y una solución sintética de plomo de 50 ppm. Por otro lado, las condiciones menos favorables se presentan al trabajar con 2 gramos de composito y una solución de 100 ppm, independientemente del tipo de material adsorbente utilizado.

Este fenómeno se debe a que al aumentar la cantidad de composito y reducir la concentración de la solución, se mejora la eficacia de la remoción, ya que se incrementa la superficie de adsorción disponible y se logra una distribución más uniforme de los iones de plomo en el adsorbente. En

consecuencia, se generan más sitios activos para que las partículas de plomo se adhieran al material adsorbente, lo que aumenta la eficiencia del proceso de remoción del metal.

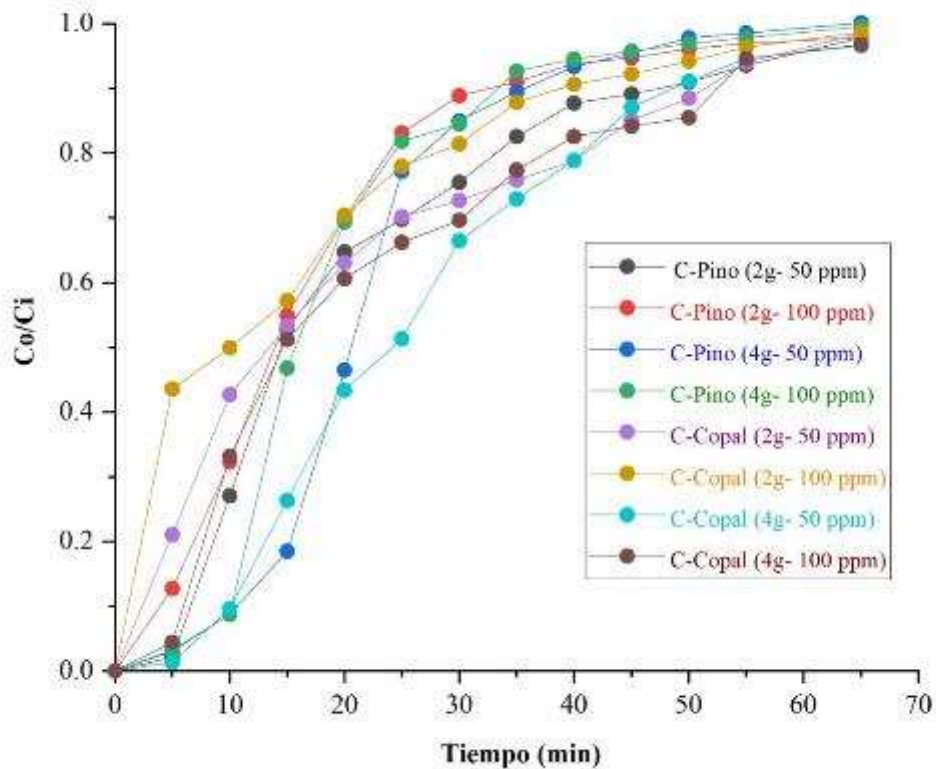


Ilustración 4-16: Curva de ruptura de los datos experimentales correspondientes a los composites con diferentes condiciones de trabajo.

Realizo por: Chimbo M. & Guilcapi E., 2024.

4.5.6 Curva de ruptura de los materiales hidrolizados con diferentes condiciones de trabajo

Comparando con la ilustración 4-14, se observa que las condiciones de trabajo óptimas para la remoción de plomo son las mismas para los materiales hidrolizados, aunque el porcentaje de remoción es inferior debido que el proceso de hidrólisis puede afectar la estructura de los materiales, lo que podría reducir su capacidad de adsorción en comparación con los composites impregnados con magnetita que presentan propiedades magnéticas que pueden atraer o retener más eficientemente los iones de plomo y una mayor área superficial que proporciona más sitios activos para que los iones se adsorban, lo que aumenta la eficacia de la remoción del metal.

Los resultados obtenidos son adecuados para realizar la eliminación de plomo de soluciones acuosas, y son similares a los mencionados (Chowdhury et al. 2022, pp. 1–33) quien señaló que el carbón

activado derivado del aserrín eliminó entre el 90% y el 99% del Pb^{2+} de una solución con concentraciones de 51,8 a 414,4 mg/l. La capacidad máxima de adsorción del Pb^{2+} estuvo en el rango de 2,5 a 524,0 mg/g.

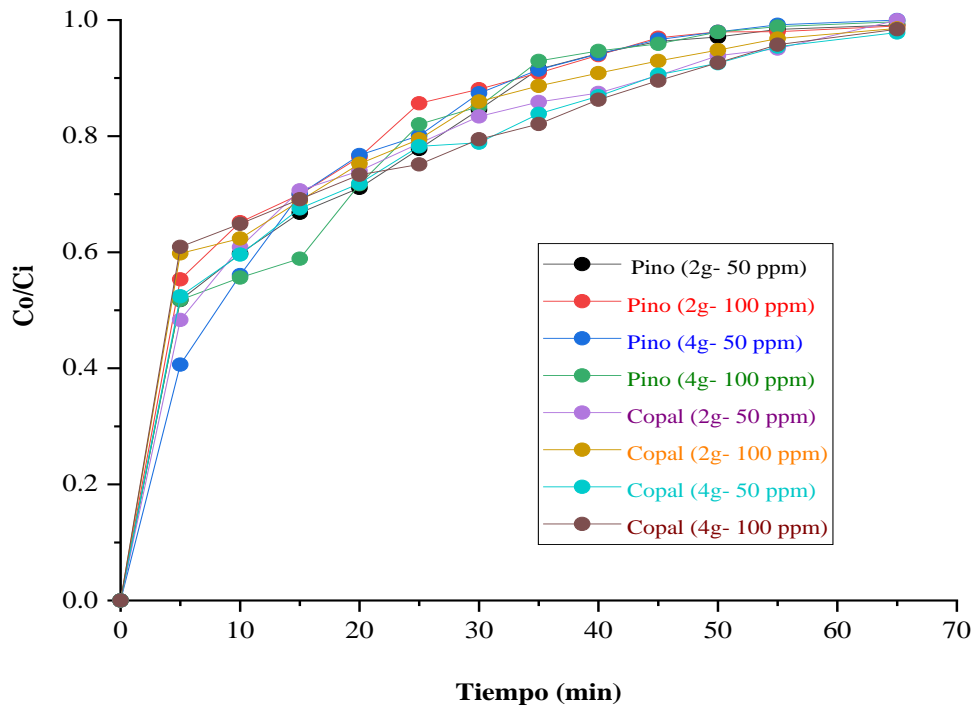


Ilustración 4-17: Curvas de ruptura de los datos experimentales correspondientes a los materiales hidrolizados en las diferentes condiciones de trabajo.

Realizo por: Chimbo M. & Guilcapi E., 2024.

4.5.7 Análisis de varianza ANOVA para la adsorción de plomo

4.5.7.1 Composito de Pino

La concentración de plomo, cantidad de adsorbente y tiempo de contacto con un valor $p < 0,05$ tienen una diferencia significativa entre los niveles utilizados en el porcentaje de remoción del metal, esto significa que se rechaza H_0 por lo tanto influyen sobre la variable de estudio, a mayor intensificación de los factores existe mayor porcentaje de remoción, esto se debe a que hay más iones de plomo disponibles para ser difundidos hacia los sitios activos del material adsorbente, lo que conduce a una mayor eficacia en su eliminación. Por otra parte, la interacción BC tienen un efecto significativo, ya que el tiempo de contacto sobre el porcentaje de remoción de plomo depende de la cantidad de adsorbente utilizado.

Se evaluó en base al coeficiente de determinación R^2 donde se reflejó un valor de 0,9991, indicando una buena correlación entre datos experimentales predichos por el modelo.

Tabla 4-4: Análisis de Varianza ANOVA para la adsorción de plomo

Origen	Suma de cuadrados tipo III	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
A: Concentracion_plomo	1594,538	1	1594,538	19,019	0,000
B: Cantidad_adsorbente	218,054	1	218,054	2,601	0,010
C: Tiempo_Contacto	128369,360	11	11669,942	139,196	0,000
A * B	26,385	1	26,85	0,315	0,576
A * C	690,804	11	62,800	0,749	0,068
B * C	2817,708	11	256,155	3,055	0,002
A * B * C	1043,312	11	94,847	1,131	0,346
Error	8048,490	96	83,838		
Total	277670,197	144			

a. R cuadrado = 0,944 (R cuadrado-correcta = 0,916)

Fuente: Spss, 2024.

De acuerdo con el R cuadrado existe un 94,4% de dispersión de los datos de la variable alrededor de su valor medio, esto significa que las variables independientes influyen directamente sobre la variable dependiente.

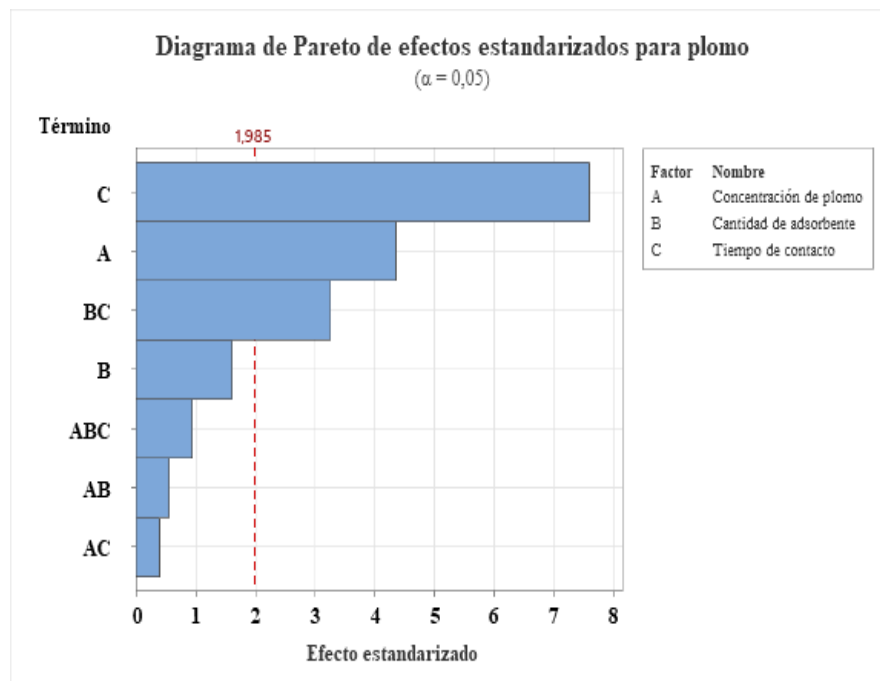


Ilustración 4-18: Diagrama de Pareto.

Fuente: Minitab, 2024.

En la ilustración 4-10 el factor A tiene el mayor efecto estandarizado con un valor de 1,985 siendo responsable del 80% del efecto sobre la variable de respuesta, debido a que se puede controlar la concentración de plomo para obtener mejores resultados. Los factores B y C tienen efectos estandarizados menores de 0,12 y 0,08 respectivamente, son responsables del 20 % restante del efecto con un impacto menor en la variable de respuesta, pero aún pueden ser importantes para la optimización del proceso.

4.5.7.2 Composito de copal

Los factores estudiados presentan un valor $p < 0,05$ indicando que se rechaza la hipótesis nula es decir que los tres factores estudios afectan significativamente al porcentaje de remoción de plomo entre los diferentes niveles utilizados. Por otra parte, la interacción AC, BC y ABC de igual manera tienen un efecto significativo, indicando que el efecto de un factor depende del valor del otro.

Tabla 4-5: Análisis de Varianza ANOVA para la adsorción de plomo

Origen	Suma de cuadrados tipo III	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
A: Concentracion_plomo	2601,451	1	2601,451	95,014	0,000
B: Cantidad_adsorbente	3926,902	1	3926,902	143,425	0,000
C: Tiempo_Contacto	79005,837	11	7182,349	262,325	0,000
A * B	8,845	1	8,845	0,323	0,571
A * C	887,030	11	80,639	2945	0,020
B * C	2773,820	11	252,165	9,210	0,000
A * B * C	1131,409	11	102,855	3,757	0,000
Error	2628,439	96	27,380		
Total	250306,062	144			

a. R cuadrado = 0,972 (R cuadrado-correctado = 0,958)

Fuente: Spss, 2024.

De acuerdo con el R^2 existe un 97,2% de dispersión de los datos de la variable alrededor de su valor medio, esto significa que las variables independientes influyen directamente sobre la variable dependiente.

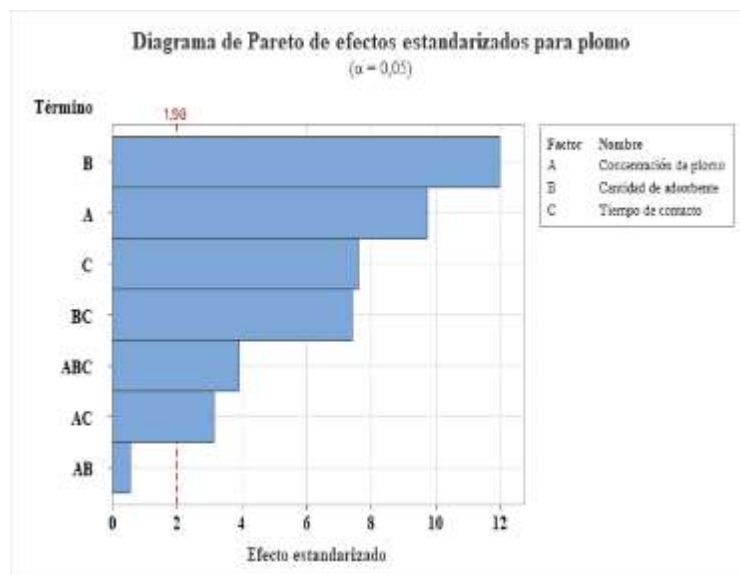


Ilustración 4-19: Diagrama de Pareto.

Fuente: Minitab, 2024.

Los factores A y B son los más importantes para la remoción del metal en este proceso, puesto que superan la línea de referencia indicando que tienen mayor influencia en la respuesta y deben ser considerados para mejorar el proceso. El factor C y las interacciones BC, ABC, AC tienen un efecto menor, pero aún significativo. Por otra parte, la interacción AB no tiene un efecto significativo sobre la variable de respuesta, lo que indica que la probabilidad de que estos efectos sean debidos al azar es mayor del 5%.

Tras analizar los datos de los dos compositos, se puede destacar que presentan similitudes con los resultados obtenidos en un estudio realizado por (Obsa et al. 2024) en dicho estudio, el análisis de varianza (ANOVA) reveló un valor P altamente significativo (menos de 0,0001), lo que indica que las variables experimentales (concentración inicial de Pb^{2+} , dosis de ADC y tiempo de contacto) influyen en el porcentaje de eliminación de plomo.

4.5.7.3 Supuestos del modelo

Tabla 4-6: Resultados de los supuestos del modelo

	Pino	Copal
Shapiro Will	1,26e-13	1,29e-13
Bartlett	0,005627	0,005834
Dubin Watson	0	0

Fuente: Programa R, 2024.

La tabla 4-7 presenta los resultados de la prueba de Shapiro-Wilk aplicada a ambos tipos de compositos (pino y copal), revelando que los datos del porcentaje de remoción de plomo no siguen una distribución normal. Esta conclusión se basa en los valores p ($1,26e-13$; $1,29e-13$), los cuales son considerablemente menores que el valor alfa (0,05), lo que conlleva al rechazo de la hipótesis nula y sugiere que los datos no se ajustan a una distribución normal esperada.

La prueba de Bartlett también arroja un rechazo de la hipótesis nula, lo que indica diferencias significativas en las varianzas de las muestras. Esto implica que la variabilidad en el porcentaje de remoción de plomo está siendo influida por al menos una de las tres variables independientes: la concentración de plomo, los gramos de compuesto y el tiempo de contacto, en ambos tipos de compositos.

En la prueba de Durbin-Watson, se observa que el valor $p = 0$ para ambos materiales es menor que el valor alfa. Esto proporciona una sólida evidencia en contra de la hipótesis nula de ausencia de autocorrelación. En consecuencia, se sugiere la presencia de autocorrelación en los residuos del modelo de regresión para ambos tipos de compositos.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos del estudio en columna han demostrado que los compositos de óxido de hierro soportado en los dos tipos de aserrín son efectivos en la adsorción de plomo. Evidenciando un alto porcentaje de remoción gracias a la capacidad de adsorción que posee el material, permitiendo que puedan ser utilizados para la remediación de aguas contaminadas.
- El análisis FIT-IR de los compositos presentan bandas de $559,25\text{ cm}^{-1}$ y 465 cm^{-1} , que se atribuyen a la presencia de grupos Fe-O y Fe-N, que muestran la formación de un enlace entre los tipos de aserrín y la magnetita. Por otra parte, se puede visualizar grupos funcionales predominantes OH, CH, C=O, C-O presentes en la hemicelulosa, celulosa y lignina que son los componentes del aserrín, evidenciando su alta capacidad de adsorción.
- En base al análisis realizado se logró mejores resultados de remoción utilizando 4 gramos de material y una solución sintética de plomo de 50 ppm para los dos tipos de compositos, permitiendo remover hasta un 98,68 % alcanzando una concentración de 0,013 mg/L que se ajusta a los parámetros de la Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua con 5 mg/L. Por otro lado, las condiciones menos favorables se presentan al trabajar con 2 gramos y una solución de 100 ppm, independientemente del tipo de material utilizado.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda investigar métodos de post-tratamiento químico para aserrín con el propósito de desarrollar grupos funcionales específicos que mejoren el proceso de remoción, al soportarlo con magnetita facilitando su dispersión homogénea al tener el mismo tamaño de partícula.
- Se recomienda realizar el proceso de hidrólisis a temperaturas diferentes a la del presente estudio, con el fin de comprobar el aumento de porosidad y área superficial del composito y su efecto en el proceso de adsorción.
- Para mejorar la eficiencia del composito es necesario la agitación adecuada durante la síntesis para garantizar una dispersión uniforme de los reactivos que promueva la nucleación y el crecimiento de los cristales magnéticos.

GLOSARIO

Adsorbente: Material que tiene la capacidad de adsorber sustancias, es decir, de retener moléculas, iones o partículas en su superficie (Valladares et al. 2016).

Aserrín: Es un material compuesto por pequeñas partículas de madera como virutas o fragmentos muy finos que resultan del proceso de serrado o corte de la madera (Serret-Guasch, Giralt-Ortega, Quintero-Ríos 2016).

Columna de lecho fijo: Proceso utilizado para remover contaminantes de una corriente líquida o gaseosa mediante la utilización de un adsorbente dispuesto en el interior de una columna estática (Dima et al. 2023).

Compositos magnéticos: Son materiales que tienen la capacidad de exhibir propiedades magnéticas, compuestos por una variedad de óxidos metálicos y materiales ferromagnéticos (Urruchua et al. 2023).

Curvas de ruptura: Son representaciones gráficas que muestran cómo cambia la concentración de un contaminante en el efluente de una columna de adsorción a lo largo del tiempo de operación.

Fe₃O₄: Óxido de hierro (II, III) o magnetita, es un compuesto químico formado por hierro y oxígeno, con la fórmula química Fe₃O₄.

FT-IR: Espectroscopía de Infrarrojo con Transformada de Fourier, técnica analítica utilizada para identificar y estudiar las vibraciones moleculares de las sustancias (Checa 2022, p. 12).

Hidrolisis: Reacción química en la cual una molécula se divide en dos o más sustancias mediante la adición de una molécula de agua (H₂O) (Cagliari, Macaño 2010, pp. 67–73).

SEM: Microscopía Electrónica de Barrido, implica el uso de un microscopio especializado que utiliza un haz de electrones para examinar muestras a nivel microscópico (Calderón 2020).

Solución sintética: Es una mezcla química preparada artificialmente en el laboratorio, se compone de ingredientes específicos en concentraciones precisas para cumplir un propósito determinado en la investigación.

BIBLIOGRAFÍA

1. **ACUÑA, Carlos**, 2020. *Estudio comparativo bibliográfico de tres adsorbentes naturales, utilizados para biorremediar aguas contaminadas con mercurio en la explotación aurífera*.
2. **ADEGOKE, Kayode Adesina et al.**, 2022. *Sawdust-biomass based materials for sequestration of organic and inorganic pollutants and potential for engineering applications*. Elsevier B.V. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry* 5. DOI 10.1016/j.crgsc.2022.100274.
3. **AHAMAD, Zeeshan and NASAR, Abu**, 2023. Utilization of *Azadirachta indica* Sawdust as a Potential Adsorbent for the Removal of Crystal Violet Dye. *Sustainable Chemistry*. Vol. 4, no. 1, pp. 110–126. DOI 10.3390/suschem4010009.
4. **CABRERA, Luis**, 2017. *Bioadsorción de iones de plomo y cromo procedentes de aguas residuales utilizando la cáscara del tomate de árbol (solanum betaceum)*. Cuenca.
5. **CAGLIERI, Silvana C. and MACAÑO, Héctor R.**, 2010. Estudio Teórico de la Hidrólisis de Ésteres Alifáticos y Aromáticos. *Información Tecnológica*. Vol. 21, no. 4, pp. 67–73. DOI 10.1612/inf.tecnol.4370it.09.
6. **CALDERÓN, Héctor A.**, 2020. Microscopía electrónica de transmisión para observar átomos: principios y desarrollo. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología*. Vol. 13, no. 25, pp. 133–156. DOI 10.22201/ceiich.24485691e.2020.25.69649.
7. **CAMBIELLA, Ángel et al.**, 2006. Treatment of oil-in-water emulsions: Performance of a sawdust bed filter. *Journal of Hazardous Materials*. Vol. 131, no. 1–3, pp. 195–199. DOI 10.1016/j.jhazmat.2005.09.023.
8. **CARDENAS, Javier and ULLOA, Mike**, 2013. *Determinación de capacidad de bioadsorción de plomo divalente empleando pennisetum Clandestinum hochst (kikuyo) como adsorbente a Nivel laboratorio*. Perú.
9. **CARLOS FRANCISCO GARCIA**, 2002. *Aplicación de la ósmosis inversa y nanofiltración de aguas para calderas*. ISBN 9788469077962.

10. **CHECA, Daniel**, 2022. *Estudio del espectro infrarrojo FTIR de los cuescos de café obtenido en el proceso de pirólisis lenta utilizando Redes Neuronales Artificiales*. Quito: Universidad Central del Ecuador.
11. **CHOWDHURY, Imran Rahman et al.**, 2022. Removal of lead ions (Pb²⁺) from water and wastewater: a review on the low-cost adsorbents. *Applied Water Science* 2022 12:8. Vol. 12, no. 8, pp. 1–33. DOI 10.1007/S13201-022-01703-6.
12. **DIMA, Jimena Bernadette et al.**, 2023. Estudio de las curvas de adsorción en una columna de lecho fijo. [online]. Vol. 3. Retrieved from: <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/205327> [accessed 14 May 2024].
13. **GAMERO ESPARZA, Carlos**, 2003. Contaminación por plomo. *Vivat Academia. Revista de Comunicación*. pp. 7–60. DOI 10.15178/va.2002.34.7-60.
14. **IZQUIERDO, Marta**, 2010. *Eliminación de metales pesados en aguas mediante bioadsorción: evaluación de materiales y modelación del proceso*. Universitat de València, Servei de Publicacions. ISBN 9788437079813.
15. **JIMÉNEZ, María and PADILLA, Gustavo**, 2012. *Evaluación del potencial de adsorción del aserrín para remover aceites pesados en cuerpos de agua a escala laboratorio*. Cartagena de Indias: Universidad de Cartagena.
16. **KNAPIK, Ewa et al.**, 2020. Separation of BTX fraction from reservoir brines by sorption onto hydrophobized biomass in a fixed-bed-column system. *Energies*. Vol. 13, no. 5. DOI 10.3390/en13051064.
17. **LEE, K. P. et al.**, 2010. Polyaniline-based nanocomposites: Preparation, properties and applications. In: *Physical Properties and Applications of Polymer Nanocomposites*, pp. 187–243. Elsevier Ltd. ISBN 9781845696726. DOI 10.1533/9780857090249.1.187.
18. **MOLENDÁ, Marek et al.**, 2021. Mechanical and Combustion Properties of Agglomerates of Wood of Popular Eastern European Species. *Materials*. Vol. 14, no. 11. DOI 10.3390/MA14112728.
19. **NATIONS, United**. AGUA. [online]. Retrieved from: <https://www.un.org/en/about-us/copyright> [accessed 10 May 2024].

20. **OBSA, Abiy Lolasa et al.**, 2024. Enhanced lead (II) adsorption from aqueous solution using sawdust-derived amino-decorated cellulose: Optimization, isotherm, kinetics, and reusability studies. *Results in Chemistry*. Vol. 7, p. 101506. DOI 10.1016/J.RECHEM.2024.101506.
21. **OLUFEMI, Adejoke Christianah, MJI, Andile and MUKHOLA, Murembiwa Stanley**, 2022. Potential Health Risks of Lead Exposure from Early Life through Later Life: Implications for Public Health Education. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. Vol. 19, no. 23. DOI 10.3390/ijerph192316006.
22. **ORMAZA, Rosa et al.**, 2020. Síntesis y caracterización físico-química de nanopartículas magnéticas de hierro (magnetita) - liofilización. Vol. 6, no. 2477–8818, pp. 1094–1107.
23. **PABÓN, S. E. et al.**, 2020. Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión. *Entre Ciencia e Ingeniería*. Vol. 14, no. 27, pp. 9–18. DOI 10.31908/19098367.0001.
24. **POZO, Marina**, 2019. Sistema de gestión ambiental en una planta de producción de ácido nítrico concentrado.
25. **PRAIPIPAT, Pornsawai et al.**, 2023. Powdered and beaded sawdust materials modified iron (III) oxide-hydroxide for adsorption of lead (II) ion and reactive blue 4 dye. *Scientific Reports 2023 13:1*. Vol. 13, no. 1, pp. 1–27. DOI 10.1038/s41598-023-27789-9.
26. **RAKSHIT, Rupali et al.**, 2019. Three-Dimensional Nanoconfinement Supports Verwey Transition in Fe₃O₄ Nanowire at 10 nm Length Scale. *Nano Letters*. Vol. 19, no. 8, pp. 5003–5010. DOI 10.1021/acs.nanolett.9b01222.
27. **REQUEJO, Salvador**, 2011. *Degradación química de madera y pet reciclado y su aplicación en la síntesis de resinas poliéster*.
28. **RUSANEN, Annu et al.**, 2019. Selective hemicellulose hydrolysis of Scots pine sawdust. *Biomass Conversion and Biorefinery*. Vol. 9, no. 2, pp. 283–291. DOI 10.1007/s13399-018-0357-z.

29. **SERRET-GUASCH, Nuria, GIRALT-ORTEGA, Giselle and QUINTERO-RÍOS, Mairet**, 2016. *Caracterización de astillas y aserrín para una planta de tableros de partículas en Valdivia*. 3.
30. **STEFANOVA, Maya and CHUTURKOVA, Rozalina**, 2015. Technical Engineering for Catalytic Reduction of Nitrous Oxide Emissions. *GSTF Journal of Engineering Technology*. Vol. 3, no. 2. DOI 10.7603/s40707-014-0014-2.
31. **TEGEDER, Fritz and LUDWIG, Mayer**, 1967. *Métodos de la industria química. Orgánica*. Reverté S.A. España.
32. **URRUCHUA, F C et al.**, 2023. *Síntesis de compositos magnéticos utilizando Materiales regulares, yerba mate gastada y cáscara de Huevo. Remoción de colorante modelo y evaluación de Prototipo de recuperación*.
33. **VALLADARES, María Guadalupe et al.**, 2016. Adsorbentes no-convencionales, alternativas sustentables para el tratamiento de aguas residuales. DOI 10.22395/rium.v16n31a3.
34. **VERA, Luisa, DELGADO, Sebastián and ELMALEH, Samuel**, 2011. *Microfiltración de agua residual depurada. Mejora del flujo de permeado por inyección de gas*.

Total 34 referencias bibliográficas

ANEXOS

Anexo A: Análisis Físicoquímico

Anexo I



Peso del material orgánico seco

Anexo II



Incineración del material a 550°C por 12 horas

Anexo III



Los crisoles se enfrían a temperatura ambiente

Anexo IV



Medición de la humedad

ANEXO B: Hidrolisis del aserrín

Anexo I



Proceso de agitación del aserrín con el reactivo

Anexo II



Medición de temperatura 80-90 °C

ANEXO C: Cálculos estequiométricos

- Solución madre

$$100 \frac{mg}{L} Pb \times \frac{1 g Pb}{1000 mg Pb} \times \frac{331,21 g Pb(NO_3)_2}{207,2 g Pb} \times \frac{100}{99,7} \times 0,5L = 0,08 g Pb(NO_3)_2$$

- Volumen de solución de plomo al trabajar con 50 ppm y 100 ppm

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$V_1 = \frac{C_2V_2}{C_1}$$

$$V_1 = \frac{50 ppm \times 0,05 L}{100 ppm} = 0,025 L$$

$$V_1 = \frac{100 ppm \times 0,05 L}{100 ppm} = 0,05L$$

ANEXO D: Síntesis del Composito

Anexo I: Cantidades utilizadas en la síntesis

Reactivos	Copal	Pino
Sulfato de hierro	8 g	8 g
Agua desionizada	150 mL	150 mL
Nitrato de potasio	0,65 g	0,65 g
Hidróxido de potasio	4,49 g	4,49 g
Aserrín hidrolizado	5 g	5 g

Anexo II



Equipo armado para la síntesis

Anexo III



Lavado del composito

Anexo IV



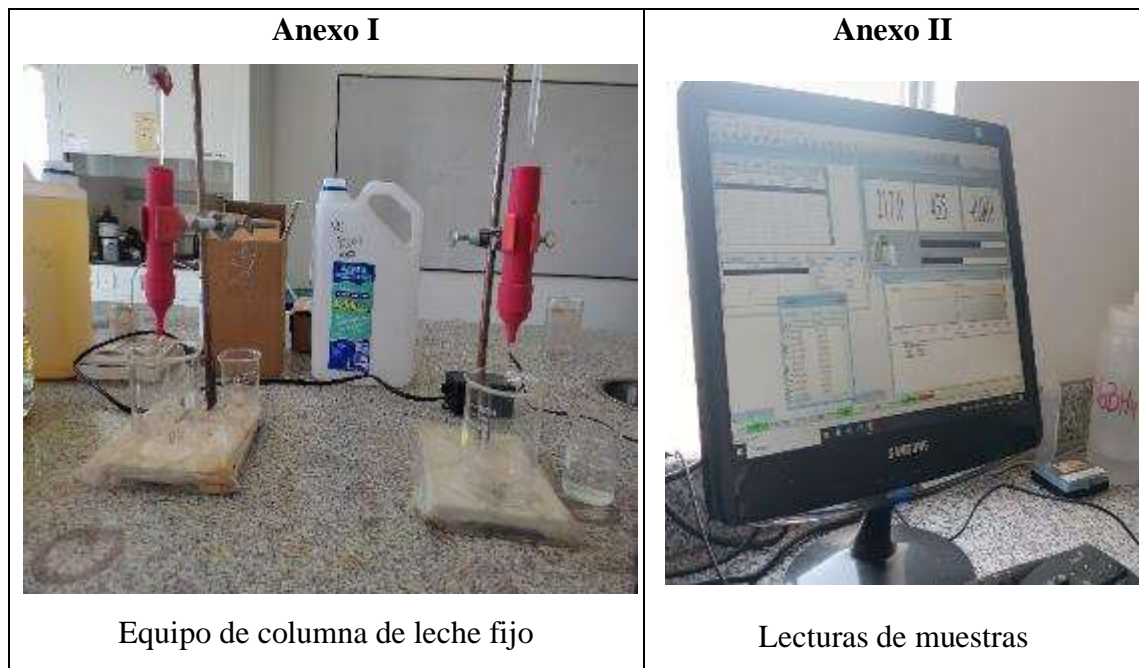
Composito de copal

Anexo V



Composito de Pino

ANEXO E: Espectroscopia de Adsorción Atómica



Anexo III: Codificación de resultados tras realizar las lecturas por espectroscopia de adsorción atómica.

	REPLICA 1			REPLICA 2			REPLICA 3			PROMEDIO		
	Concntración	Co/Ci	%	Concntración	Co/Ci	%	Concntración	Co/Ci	%	Cf	%	Co/Ci
P1-25	0,2678	0,0054	99,4846	1,8558	0,0371	96,4282	1,1507	0,0230	97,7853	1,0914	97,8993	0,0218
P2-25	0,6678	0,0134	98,7147	20,6515	0,4130	60,2522	19,2983	0,3860	62,8567	13,5392	73,9412	0,2708
P3-25	16,2017	0,3240	68,8167	32,5441	0,6509	37,3627	30,4762	0,6095	41,3427	26,4073	49,1741	0,5281
P4-25	31,5387	0,6308	39,2978	34,6682	0,6934	33,2744	30,8824	0,6176	40,5609	32,3631	37,7110	0,6473
P5-25	32,7056	0,6541	37,0518	39,9341	0,7987	23,1392	32,0312	0,6406	38,3498	34,8903	32,8470	0,6978
P6-25	37,3024	0,7460	28,2044	40,9664	0,8193	21,1524	34,9742	0,6995	32,6855	37,7477	27,3474	0,7550
P7-25	42,7615	0,8552	17,6973	42,9774	0,8595	17,2818	38,1200	0,7624	26,6308	41,2863	20,5366	0,8257
P8-25	44,5112	0,8902	14,3297	43,3154	0,8663	16,6313	43,7525	0,8751	15,7900	43,8597	15,5836	0,8772
P9-25	46,1189	0,9224	11,2354	43,4099	0,8682	16,4494	44,1833	0,8837	14,9608	44,5707	14,2152	0,8914
P10-25	46,9903	0,9398	9,5582	44,5168	0,8903	14,3189	44,8964	0,8979	13,5883	45,4678	12,4885	0,9094
P11-25	47,4089	0,9482	8,7525	46,6320	0,9326	10,2478	46,3086	0,9262	10,8703	46,7832	9,9569	0,9357
P12-25	48,7559	0,9751	6,1600	48,0841	0,9617	7,4530	49,9315	0,9986	3,8973	48,9238	5,8368	0,9785
P1-21	19,3542	0,1935	81,0694	16,2695	0,1627	84,0866	2,6675	0,0267	97,3909	12,7637	87,5156	0,1276
P2-21	44,0681	0,4407	56,8964	46,6580	0,4666	54,3632	6,2211	0,0622	93,9151	32,3157	68,3916	0,3232
P3-21	68,4849	0,6848	33,0140	64,3403	0,6434	37,0679	31,9660	0,3197	68,7336	54,9304	46,2719	0,5493
P4-21	87,7426	0,8774	14,1778	86,1961	0,8620	15,6905	35,9291	0,3593	64,8573	69,9559	31,5752	0,6996
P5-21	88,1009	0,8810	13,8274	86,3020	0,8630	15,5869	75,0087	0,7501	26,6330	83,1372	18,6824	0,8314
P6-21	90,0527	0,9005	11,9183	87,1381	0,8714	14,7691	89,4752	0,8948	12,4832	88,8887	13,0569	0,8889
P7-21	90,8439	0,9084	11,1444	87,5629	0,8756	14,3536	94,6980	0,9470	7,3747	91,0349	10,9576	0,9103
P8-21	92,0753	0,9208	9,9400	93,8824	0,9388	8,1724	95,5719	0,9557	6,5199	93,8432	8,2108	0,9384
P9-21	92,3557	0,9236	9,6657	94,7790	0,9478	7,2954	97,0809	0,9708	5,0439	94,7385	7,3350	0,9474
P10-21	94,4730	0,9447	7,5948	95,6506	0,9565	6,4429	98,2507	0,9825	3,8997	96,1248	5,9791	0,9612
P11-21	95,4920	0,9549	6,5981	96,9407	0,9694	5,1811	98,4646	0,9846	3,6905	96,9658	5,1565	0,9697
P12-21	95,4985	0,9550	6,5917	98,8793	0,9888	3,2849	99,2302	0,9923	2,9417	97,8693	4,2728	0,9787
P1-45	1,1568	0,0231	97,7735	2,1328	0,0427	95,8950	1,3128	0,026256	97,4733	1,5341	97,0473	0,0307
P2-45	4,5108	0,0902	91,3181	3,6508	0,0730	92,9733	5,012	0,10024	90,3535	4,3912	91,5483	0,0878
P3-45	9,8120	0,1962	81,1149	4,1082	0,0822	92,0930	13,8199	0,276398	73,4010	9,2467	82,2030	0,1849
P4-45	22,1820	0,4436	57,3065	26,9820	0,5396	48,0680	20,5546	0,411092	60,4388	23,2395	55,2711	0,4648
P5-45	36,5610	0,7312	29,6314	39,6210	0,7924	23,7418	39,6295	0,79259	23,7255	38,6038	25,6996	0,7721
P6-45	41,1621	0,8232	20,7757	43,8161	0,8763	15,6676	42,5304	0,850608	18,1421	42,5029	18,1951	0,8501
P7-45	45,8241	0,9165	11,8028	45,2831	0,9057	12,8440	43,0837	0,861674	17,0772	44,7303	13,9080	0,8946
P8-45	47,1923	0,9438	9,1694	48,4419	0,9688	6,7643	44,4414	0,888828	14,4641	46,6919	10,1326	0,9338
P9-45	48,6524	0,9730	6,3592	48,7156	0,9743	6,2375	45,8439	0,916878	11,7647	47,7373	8,1205	0,9547
P10-45	48,9760	0,9795	5,7363	49,7145	0,9943	4,3150	47,9936	0,959872	7,6272	48,8947	5,8928	0,9779
P11-45	49,1046	0,9821	5,4888	49,8238	0,9965	4,1046	48,8978	0,977956	5,8869	49,2754	5,1601	0,9855
P12-45	50,4879	1,0098	2,8264	50,2456	1,0049	3,2928	49,4879	0,989758	4,7511	50,0738	3,6234	1,0015
P1-41	0,0145	0,0001	99,9858	3,2486	0,0325	96,8225	6,4880	0,0649	93,6540	3,2504	96,8208	0,0325
P2-41	7,3530	0,0735	92,8079	4,6695	0,0467	95,4327	14,1828	0,1418	86,1276	8,7351	91,4561	0,0874
P3-41	65,0718	0,6507	36,3524	11,1560	0,1116	89,0882	64,2131	0,6421	37,1923	46,8136	54,2110	0,4681
P4-41	73,7310	0,7373	27,8828	62,1725	0,6217	39,1883	72,2631	0,7226	29,3185	69,3889	32,1299	0,6939
P5-41	84,9192	0,8492	16,9394	75,7449	0,7574	25,9129	84,8224	0,8482	17,0341	81,8288	19,9622	0,8183
P6-41	85,4142	0,8541	16,4553	80,0682	0,8007	21,6843	88,0717	0,8807	13,8559	84,5180	17,3318	0,8452
P7-41	92,5787	0,9258	9,4476	95,9404	0,9594	6,1595	89,5284	0,8953	12,4311	92,6825	9,3461	0,9268
P8-41	93,7521	0,9375	8,2999	96,9972	0,9700	5,1258	92,8370	0,9284	9,1949	94,5288	7,5402	0,9453
P9-41	96,4356	0,9644	5,6751	97,6317	0,9763	4,5052	93,2412	0,9324	8,7996	95,7695	6,3266	0,9577
P10-41	97,2736	0,9727	4,8554	98,5744	0,9857	3,5831	95,0134	0,9501	7,0662	96,9538	5,1683	0,9695
P11-41	97,8514	0,9785	4,2903	99,1682	0,9917	3,0023	96,4847	0,9648	5,6271	97,8348	4,3066	0,9783
P12-41	98,9778	0,9898	3,1885	99,8644	0,9986	2,3214	99,8853	0,9989	2,3009	99,5758	2,6036	0,9958

	REPLICA 1			REPLICA 2			REPLICA 3			PROMEDIO		
C1-25	10,1928	0,2039	80,3820	10,9861	0,2197	78,8552	10,3975	0,2080	79,9880	10,5255	79,7417	0,2105
C2-25	19,1266	0,3825	63,1872	20,9248	0,4185	59,7262	24,0115	0,4802	53,7853	21,3543	58,8996	0,4271
C3-25	24,2804	0,4856	53,2677	28,6455	0,5729	44,8663	27,0213	0,5404	47,9924	26,6491	48,7088	0,5330
C4-25	30,8964	0,6179	40,5340	33,1055	0,6621	36,2822	30,6082	0,6122	41,0887	31,5367	39,3016	0,6307
C5-25	31,6226	0,6325	39,1363	34,7698	0,6954	33,0789	38,8669	0,7773	25,1932	35,0864	32,4695	0,7017
C6-25	32,1547	0,6431	38,1121	36,6791	0,7336	29,4041	40,2170	0,8043	22,5947	36,3503	30,0370	0,7270
C7-25	33,4471	0,6689	35,6247	38,8387	0,7768	25,2475	41,5217	0,8304	20,0836	37,9358	26,9853	0,7587
C8-25	34,7175	0,6944	33,1796	40,6629	0,8133	21,7365	42,8593	0,8572	17,5091	39,4132	24,1417	0,7883
C9-25	38,6741	0,7735	25,5643	45,7803	0,9156	11,8871	43,1853	0,8637	16,8817	42,5466	18,1110	0,8509
C10-25	40,7553	0,8151	21,5587	46,6137	0,9323	10,2830	45,3357	0,9067	12,7428	44,2349	14,8615	0,8847
C11-25	45,3538	0,9071	12,7080	47,7597	0,9552	8,0773	47,9242	0,9585	7,7607	47,0126	9,5154	0,9403
C12-25	49,4938	0,9899	4,7397	49,0396	0,9808	5,6139	49,2236	0,9845	5,2598	49,2523	5,2045	0,9850
C1-21	45,8193	0,4582	55,1836	40,5670	0,4057	60,3209	44,3158	0,4432	56,6542	43,5674	57,3862	0,4357
C2-21	49,1366	0,4914	51,9389	47,9020	0,4790	53,1464	52,7631	0,5276	48,3917	49,9339	51,1590	0,4993
C3-21	51,8272	0,5183	49,3072	60,8815	0,6088	40,4510	58,9576	0,5896	42,3328	57,2221	44,0303	0,5722
C4-21	78,3217	0,7832	23,3925	71,7342	0,7173	29,8359	61,2638	0,6126	40,0771	70,4399	31,1018	0,7044
C5-21	85,7695	0,8577	16,1078	76,0491	0,7605	25,6154	72,0974	0,7210	29,4806	77,9720	23,7346	0,7797
C6-21	88,8715	0,8887	13,0737	79,1704	0,7917	22,5624	76,3017	0,7630	25,3683	81,4479	20,3348	0,8145
C7-21	90,0979	0,9010	11,8741	89,5992	0,8960	12,3619	83,8701	0,8387	17,9656	87,8557	14,0672	0,8786
C8-21	92,1021	0,9210	9,9138	90,2878	0,9029	11,6883	89,5824	0,8958	12,3783	90,6574	11,3268	0,9066
C9-21	93,7211	0,9372	8,3302	92,2742	0,9227	9,7454	90,6295	0,9063	11,3541	92,2083	9,8099	0,9221
C10-21	94,3172	0,9432	7,7471	94,9931	0,9499	7,0860	93,3628	0,9336	8,6807	94,2244	7,8379	0,9422
C11-21	96,6442	0,9664	5,4711	95,1351	0,9514	6,9471	97,3216	0,9732	4,8085	96,3670	5,7422	0,9637
C12-21	98,5937	0,9859	3,5642	98,3287	0,9833	3,8234	99,0874	0,9909	3,0813	98,6699	3,4897	0,9867
C1-45	0,8183	0,0164	98,4250	0,4183	0,0084	99,1949	0,8114	0,0162	98,4383	0,6827	98,6861	0,0137
C2-45	5,7581	0,1152	88,9174	2,7581	0,0552	94,6915	5,9295	0,1186	88,5875	4,8152	90,7322	0,0963
C3-45	11,8030	0,2361	77,2829	9,8030	0,1961	81,1323	17,8925	0,3579	65,5625	13,1662	74,6592	0,2633
C4-45	23,0210	0,4604	55,6917	19,0210	0,3804	63,3905	23,0210	0,4604	55,6917	21,6877	58,2579	0,4338
C5-45	27,5978	0,5520	46,8828	22,0939	0,4419	57,4761	27,2444	0,5449	47,5630	25,6454	50,6406	0,5129
C6-45	34,1421	0,6828	34,2870	29,8787	0,5976	42,4927	35,6651	0,7133	31,3557	33,2286	36,0452	0,6646
C7-45	38,8754	0,7775	25,1769	34,0408	0,6808	34,4820	36,5072	0,7301	29,7349	36,4745	29,7979	0,7295
C8-45	41,3705	0,8274	20,3746	38,8418	0,7768	25,2415	38,1056	0,7621	26,6585	39,4393	24,0915	0,7888
C9-45	43,5480	0,8710	16,1836	45,0254	0,9005	13,3400	42,0611	0,8412	19,0454	43,5448	16,1897	0,8709
C10-45	43,7204	0,8744	15,8518	47,4495	0,9490	8,6744	45,5064	0,9101	12,4143	45,5588	12,3135	0,9112
C11-45	44,8997	0,8980	13,5820	48,0999	0,9620	7,4226	48,9843	0,9797	5,7204	47,3280	8,9083	0,9466
C12-45	44,9668	0,8993	13,4528	49,9668	0,9993	3,8294	49,9668	0,9993	3,8294	48,3001	7,0372	0,9660
C1-41	5,4306	0,0543	94,6883	3,4306	0,0343	96,6445	4,4259	0,0443	95,6710	4,4290	95,6679	0,0443
C2-41	34,9341	0,3493	65,8305	31,2712	0,3127	69,4132	33,2709	0,3327	67,4573	33,1587	67,5670	0,3316
C3-41	57,3944	0,5739	43,8618	51,8624	0,5186	49,2727	44,4323	0,4443	56,5402	51,2297	49,8916	0,5123
C4-41	68,7275	0,6873	32,7768	65,0831	0,6508	36,3414	48,1328	0,4813	52,9207	60,6478	40,6796	0,6065
C5-41	73,4841	0,7348	28,1243	70,4025	0,7040	31,1384	54,7711	0,5477	46,4277	66,2192	35,2301	0,6622
C6-41	74,8063	0,7481	26,8310	72,4979	0,7250	29,0889	61,5988	0,6160	39,7494	69,6343	31,8898	0,6963
C7-41	85,7929	0,8579	16,0849	78,9505	0,7895	22,7775	67,4166	0,6742	34,0590	77,3867	24,3071	0,7739
C8-41	88,0421	0,8804	13,8849	82,7943	0,8279	19,0178	76,9116	0,7691	24,7718	82,5827	19,2248	0,8258
C9-41	89,1730	0,8917	12,7787	83,4304	0,8343	18,3957	79,9408	0,7994	21,8089	84,1814	17,6611	0,8418
C10-41	90,3271	0,9033	11,6499	84,3852	0,8439	17,4618	81,8620	0,8186	19,9297	85,5248	16,3471	0,8552
C11-41	95,7454	0,9575	6,3502	95,2270	0,9523	6,8573	92,7843	0,9278	9,2465	94,5856	7,4846	0,9459
C12-41	96,2823	0,9628	5,8251	97,5147	0,9751	4,6196	96,5138	0,9651	5,5986	96,7703	5,3478	0,9677



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA
NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO

Fecha de entrega: 14 / 08 / 2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR

Nombres – Apellidos: Mariu Alexandra Chimbo Silva
Erika Lizbeth Guilcapi Ushca

INFORMACIÓN INSTITUCIONAL

Facultad: Ciencias

Carrera: Química

Título a optar: Química


Dr. Jorge Efrén Silva Yumi

Director del Trabajo de Titulación


Ing. Luis Santiago Carrera Almendariz

Asesor del Trabajo de Titulación