



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

**“EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD ABSORBENTE DE PLOMO
EN AGUAS RESIDUALES EMPLEANDO COMO MATERIAL EL
OLOTE DE MAÍZ (*Zea Mays*)”**

Trabajo de titulación

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERO BIOTECNÓLOGO AMBIENTAL

AUTOR:

ALEX MAURICIO PROCEL MORENO

Riobamba – Ecuador

2023



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

**“EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD ABSORBENTE DE PLOMO
EN AGUAS RESIDUALES EMPLEANDO COMO MATERIAL EL
OLOTE DE MAÍZ (*Zea Mays*)”**

Trabajo de titulación

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERO BIOTECNÓLOGO AMBIENTAL

AUTOR: ALEX MAURICIO PROCEL MORENO

DIRECTOR: Ing. Carlos Alcibar Medina Serrano

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, Alex Mauricio Procel Moreno

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

Yo, ALEX MAURICIO PROCEL MORENO, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

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

Riobamba, 05 de abril de 2023



Alex Mauricio Procel Moreno

060450014-0

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo Proyecto de Investigación “**EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD ABSORBENTE DE PLOMO EN AGUAS RESIDUALES EMPLEANDO COMO MATERIAL EL OLOTE DE MAÍZ (*Zea Mays*)**”, realizado por el señor: **ALEX MAURICIO PROCEL MORENO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Mgs. Paúl Rolando Armas Pesantez PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2023-04-05
Ing. Carlos Alcibar Medina Serrano DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-04-05
Dr. Fausto Manolo Yaulema Garces ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-04-05

DEDICATORIA

A Dios, quien ha sido mi guía, fortaleza y me ha otorgado de sabiduría, a mis padres Napoleón y María quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han ayudado a llegar a cumplir una de mis metas, gracias por inculcar en mí, el ejemplo de esfuerzo y valentía de no temer a las adversidades, porque Dios está conmigo siempre. A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona, que de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y objetivos. Finalmente quiero dedicar esta tesis a todos los docentes que me formaron profesionalmente. Gracias por su paciencia y su tiempo, es una gratitud inmensa que guardo con todos ellos.

Alex

AGRADECIMIENTO

A mis padres y hermanos.

“Ustedes han sido siempre el motor que impulsa mis sueños y esperanzas, quienes estuvieron siempre a mi lado en los días y noches más difíciles durante mis horas de estudio. Siempre han sido mis mejores guías de vida. Hoy cuando concluyo mis estudios, les dedico a ustedes este logro amado padres y hermanos, como una meta más conquistada. Orgulloso de tenerlos como mi familia y que estén a mi lado en este momento tan importante.

Gracias por ser quienes son y por creer en mí”

Alex

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
RESUMEN	xiv
SUMMARY	¡Error! Marcador no definido.xv
INTRODUCCIÓN	1

CAPITULO I

1.1	Planteamiento del problema	3
1.1.1	<i>Identificación del Problema</i>	3
1.1.2	<i>Formulación del problema</i>	3
1.2	Justificación de la investigación	4
1.3	Objetivos de la Investigación	5
1.3.1	<i>Objetivo General</i>	5
1.3.2	<i>Objetivos específicos</i>	5
1.4	Hipótesis general	5
1.5	Hipótesis Específicas	5

CAPITULO II

2.1.	Antecedentes de la Investigación	6
2.2.	Marco Conceptual o Glosario	9
2.2.1.	<i>Calidad del agua</i>	9
2.2.2.	<i>Metales pesados</i>	9
2.2.3.	<i>Contaminación del agua por metales pesados</i>	9
2.2.4.	<i>Plomo</i>	10
2.2.5.	<i>Aguas residuales</i>	11
2.2.6.	<i>Demanda Química de Oxígeno (DQO)</i>	14
2.2.7.	<i>Carbono Orgánico Total (COT)</i>	14
2.2.8.	<i>Relaciones entre DBO, DQO y COT</i>	14

2.2.9.	<i>Biofiltros</i>	14
2.2.10.	<i>Biosorción</i>	16
2.2.11.	<i>Material absorbente Olote de maíz</i>	16
2.2.12.	<i>Adsorción</i>	16
2.2.13.	<i>Modelos de isotermas de adsorción</i>	17
2.3.	Base Legal	19
2.3.1.	<i>Constitución del Ecuador</i>	19
2.3.2.	<i>Régimen del Buen Vivir</i>	20
2.3.3.	<i>Declaración de Río de Janeiro sobre el medio ambiente</i>	20
2.3.4.	<i>Agenda 21</i>	20
2.3.5.	<i>Convenio Sobre La Diversidad Biológica</i>	20
2.3.6.	<i>Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua</i>	20
2.3.7.	<i>Ley Orgánica de Salud, R.O. N° 423 del 22 de diciembre del 2006</i>	21
2.3.8.	<i>Código Orgánico Integral Penal</i>	21
2.3.9.	<i>Ley De Comercialización Y Empleo De Plaguicidas, Codificación 11</i>	21
2.3.10.	<i>Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental</i>	21
2.3.11.	<i>Ley Forestal y de Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre</i>	22
2.3.12.	<i>Ley de Gestión Ambiental</i>	22

CAPITULO III

3.1.	Tipo y diseño de investigación	22
3.1.1.	<i>Tipo de investigación</i>	22
3.1.2.	<i>Diseño de la Investigación</i>	22
3.2.	Métodos de la investigación	23
3.2.1.	<i>Método Deductivo</i>	23
3.2.2.	<i>Método Analítico</i>	23
3.3.	Enfoque de la investigación	23
3.4.	Alcance de la Investigación	23
3.5.	Población de estudio	24
3.5.1.	<i>Localización de la investigación</i>	24
3.5.2.	<i>Unidad de análisis</i>	24
3.5.3.	<i>Selección de la muestra</i>	24
3.5.4.	<i>Tamaño de la muestra</i>	24
3.6.	Técnica de recolección de datos	24

3.6.1.	<i>Técnica analítica</i>	24
3.7.	Instrumentos para procesar datos recopilados	25
3.7.1.	<i>Absorción</i>	25
3.7.2.	<i>Medición de concentración</i>	25
3.7.3.	<i>Tabla para el diseño experimental</i>	25
3.8.	Hipótesis general	26
3.9.	Identificación de las variables	26
3.9.1.	<i>Variable independiente</i>	26
3.9.2.	<i>Variable dependiente</i>	26
3.10.	Obtención de datos para diseño	30
3.10.1.	<i>Medición de caudal</i>	30
3.10.2.	<i>Diseño y construcción de biofiltro</i>	30
3.10.3.	<i>Cálculo de número de filtros para cada laboratorio</i>	30
3.10.4.	<i>Velocidad de filtración</i>	31
3.10.5.	<i>Área total del filtro</i>	31
3.10.6.	<i>Área de cada unidad</i>	32
3.10.7.	<i>Caudal del filtro</i>	32
3.10.8.	<i>Diámetro del filtro</i>	33
3.11.	Obtención del medio filtrante	34
3.11.1.	<i>Procedimiento para obtención del material absorbente</i>	34
3.11.2.	<i>Activación del material absorbente con hidróxido de sodio y ácido sulfúrico</i>	35
3.11.3.	<i>Preparación del agua sintética</i>	36
3.11.4.	<i>Evaluación de la capacidad de absorción del olote de maíz para la remoción de plomo (II)</i>	36
3.11.5.	<i>Procedimientos para las pruebas de absorción de plomo (II) utilizando el olote de maíz como medio filtrante</i>	37
3.12.	Análisis Estadístico	38

CAPITULO IV

4.1.	Resultados de concentración final de plomo (II) removido e índice de remoción en las pruebas de absorción utilizando olote de maíz	39
4.2.	Resultados de la capacidad de absorción del olote de maíz en cada prueba ...	46
4.3.	Modelos Teóricos de Equilibrio de Adsorción	47

4.3.1.	<i>Isoterma de Langmuir</i>	47
4.3.2.	<i>Isotermas de Freundlich</i>	53
4.4.	Comprobación de la hipótesis	60
4.4.1.	<i>Correlación entre las variables tiempo de remoción y concentración final</i>	63

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Investigaciones realizadas sobre la absorción de plomo de aguas contaminadas	8
Tabla 2-2: Constituyentes de las aguas residuales	12
Tabla 1-3: Variables y niveles para el desarrollo experimental	25
Tabla 2-3: Matriz de experimentos	26
Tabla 3-3: Operacionalización de variables	27
Tabla 4-3: Materiales de muestreo	30
Tabla 5-3: Características del biofiltro.....	34
Tabla 6-3: Parámetros para realizar las pruebas experimentales.....	36
Tabla 7-3: Materiales y equipos para los ensayos de absorción.....	36
Tabla 1-4: Tabla general de resultados de concentración final en cada prueba del experimento	39
Tabla 2-4: Concentración final de plomo (II) e índice de remoción en la prueba 1.....	40
Tabla 3-4: Concentración final de plomo (II) e índice de remoción en la prueba 2.....	41
Tabla 4-4: Concentración final de plomo (II) e índice de remoción en la prueba 3.....	42
Tabla 5-4: Concentración final de plomo (II) e índice de remoción en la prueba 4.....	43
Tabla 6-4: Concentración final de plomo (II) e índice de remoción en la prueba 5.....	44
Tabla 7-4: Concentración final de plomo (II) e índice de remoción en la prueba 6.....	45
Tabla 8-4: Capacidad de adsorción	46
Tabla 9-4: Descripción de la cinética de adsorción a través del modelo de Langmuir- prueba 1	48
Tabla 10-4: Descripción de la cinética de adsorción a través del modelo de Langmuir- prueba 2	48
Tabla 11-4: Descripción de la cinética de adsorción a través del modelo de Langmuir- prueba 3	49
Tabla 12-4: Descripción de la cinética de adsorción a través del modelo de Langmuir- prueba 4	50
Tabla 13-4: Descripción de la cinética de adsorción a través del modelo de Langmuir- prueba 5	51
Tabla 14-4: Descripción de la cinética de adsorción a través del modelo de Langmuir- prueba 6	52
Tabla 15-4: Descripción de la cinética de adsorción a través del modelo de Freundlich Prueba 1	53

Tabla 16-4: Descripción de la cinética de adsorción a través del modelo de Freundlich Prueba 2	54
Tabla 17-4: Descripción de la cinética de adsorción a través del modelo de Freundlich Prueba 3	55
Tabla 18-4: Descripción de la cinética de adsorción a través del modelo de Freundlich Prueba 4	56
Tabla 19-4: Descripción de la cinética de adsorción a través del modelo de Freundlich Prueba 5	57
Tabla 20-4: Descripción de la cinética de adsorción a través del modelo de Freundlich Prueba 6	58
Tabla 21-4: Parámetros cinéticos de las isothermas de adsorción de Langmuir y Freundlich en las pruebas para plomo (II)	59
Tabla 22-4: Matriz de correlación de variables	61
Tabla 23-4: Prueba de KMO y Bartlett	61
Tabla 24-4: Análisis de varianza	62
Tabla 25-4: Correlación entre las variables tiempo de remoción y concentración final	63

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-4: Concentración final de plomo (II) e índice de remoción en la prueba 1.....	40
Gráfico 2-4: Concentración final de plomo (II) e índice de remoción en la prueba 2.....	41
Gráfico 3-4: Concentración final de plomo (II) e índice de remoción en la prueba 3.....	42
Gráfico 4-4: Concentración final de plomo (II) e índice de remoción en la prueba 4.....	43
Gráfico 5-4: Concentración final de plomo (II) e índice de remoción en la prueba 5.....	44
Gráfico 6-4: Concentración final de plomo (II) e índice de remoción en la prueba 6.....	45
Gráfico 7-4: Constante de Langmuir en la prueba 1	48
Gráfico 8-4: Constante de Langmuir en la prueba 2	49
Gráfico 9-4: Constante de Langmuir en la prueba 3	50
Gráfico 10-4: Constante de Langmuir en la prueba 4	51
Gráfico 11-4: Constante de Langmuir en la prueba 5	52
Gráfico 12-4: Constante de Langmuir en la prueba 6	53
Gráfico 13-4: Isoterma de Freundlich Prueba 1	54
Gráfico 14-4: Isoterma de Freundlich Prueba 2	55
Gráfico 15-4: Isoterma de Freundlich Prueba 3	56
Gráfico 16-4: Isoterma de Freundlich Prueba 4	57
Gráfico 17-4: Isoterma de Freundlich Prueba 5	58
Gráfico 18-4: Isoterma de Freundlich Prueba 6	59
Gráfico 19-4: Gráfico de saturaciones.....	62

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: Parámetros y valores recomendados para calcular el área total de filtración

ANEXO B: Diseño del biofiltro con olote de maíz como medio filtrante

ANEXO C: Preparación del olote de maíz.

ANEXO D: Elaboración de biofiltro.

ANEXO E: Preparación de soluciones sintéticas de 5 ppm y 10 ppm

ANEXO F: Muestras para análisis – equipo adsorción atómica

ANEXO G: Resultado de análisis olote de maíz natural triturado

ANEXO H: Resultado- curva de calibración pb (II) olote de maíz natural

ANEXO I: Curva de calibración plomo (II) olote de maíz tratado químicamente

ANEXO J: Curva de calibración plomo (II) olote de maíz tratado químicamente

ANEXO K: Material orgánico tratado químicamente con hidróxido de sodio y ácido sulfúrico

ANEXO L: Interpretación: el coeficiente r de Pearson puede variar de -1.00 a $+1.00$

RESUMEN

Se realizó un estudio con la finalidad de evaluar la capacidad absorbente de plomo (II) empleando como material bio-filtrante el olote de maíz en aguas residuales. La investigación fue experimental de tipo longitudinal con un enfoque de carácter científico, donde la remoción de plomo (II) final se mantuvo constante, mientras que las variables tamaño de partícula del olote de maíz y tiempo de remoción fueron manipulables. La población de estudio fue el agua residual sintética contaminada con plomo (II) a 5 y 10 mg/L, para lo cual, se diseñó un biofiltro para realizar 6 pruebas con el material absorbente con diferentes parámetros. Los resultados evidenciaron que el coeficiente de correlación lineal del ajuste al modelo de Freundlich es 0.98 mayor al que se obtiene cuando se hace el ajuste al modelo de Langmuir, confirmando la alta afinidad existente entre el olote de maíz con pre-tratamiento y el plomo (II) en la monocapa. La capacidad máxima de adsorción obtenida en la investigación fue $q_e=50.02$ mg/g. por lo tanto, se concluye que las variables que mejor se ajustaron para remover la mayor cantidad de metal fueron Temperatura 17° C, Tiempo de remoción 24 horas, Tamaño de partícula de olote de maíz de 0.6 mm, masa de adsorbente 160 g. logrando un porcentaje de remoción del 74.77%. Por tanto, se concluye que el elote de maíz como absorbente de plomo en aguas residuales ratifico mediante el método de Freundlich un predominio de la fisisorción en la monocapa.

Palabras clave: <BIOSORCIÓN >, <OLOTE >, <FILTRANTE>, <REMOCIÓN>, <PLOMO>, <MAÍZ>.

0737-DBRA-UTP-2023



ABSTRACT

This study aimed to evaluate the absorbent capacity of lead (II) using corn cob in wastewater as a bio-filtering material. The research was experimental of the longitudinal type with a scientific approach, where the final lead (II) removal remained constant. In contrast, the corn cob particle size and removal time variables were manageable. The study population was synthetic wastewater contaminated with lead (II) at 5 and 10 mg/L, for which a biofilter was designed to perform six tests with the absorbent material with different parameters. The results showed that the linear correlation coefficient of the adjustment to the Freundlich model is 0.98 higher than that obtained when the adjustment is made to the Langmuir model, confirming the high affinity between the corn cob with pre-treatment and lead (II) in the monolayer. The maximum adsorption capacity obtained in the investigation was $q_e=50.02$ mg/g. therefore, it is concluded that the variables that best adjusted to remove the most significant amount of metal were Temperature of 17° C, Removal time of 24 hours, Corn cob particle size of 0.6 mm, and adsorbent mass of 160 g— achieving a removal percentage of 74.77%. Therefore, it is concluded that the corn cob as an absorber of lead in wastewater confirmed by the Freundlich method a predominance of physisorption in the monolayer.

Keywords:<BIOSORPTION>, <COB>, <FILTRATION>, <REMOVAL>, <LEAD>, <CORN>.



Ing. Paul Obregón. Mgs

0601927122

INTRODUCCIÓN

En los últimos años la contaminación del agua a nivel global se ha incrementado por el crecimiento industrial y la falta de políticas de gestión de los recursos hídricos, sin embargo, diversos estudios consideran que la contaminación es una consecuencia directa de las actividades antropogénicas, que afectan a la salud y el medio ambiente, por lo cual, conservar los recursos hídricos se ha convertido en un reto para la comunidad científica y los entes gubernamentales.

En América Latina la provisión de agua de calidad es insuficiente y el 70% de las aguas residuales no cuentan con un tratamiento adecuado, se estima que solo el 10% de estas aguas son tratadas, generando impactos negativos en la salud de las personas y los recursos naturales.

Los metales pesados representan un mayor riesgo para el equilibrio de los ecosistemas, debido a sus características de toxicidad, bioacumulación, persistencia y no son biodegradables pudiendo permanecer cientos de años en los cuerpos de agua. Los efectos adversos en los seres humanos son retraso en el desarrollo, distintos tipos de cáncer, problemas en los riñones y la muerte en ciertos casos, los efectos negativos en los organismos vivos que inhiben su actividad biológica y crecimiento.

Uno de los metales mayormente encontrado en las aguas contaminadas es el plomo, el cual, tiene propiedades cancerígenas. La exposición al plomo puede darse por ingesta de alimentos y consumo de agua potable contaminada, este elemento es tóxico, denso y acumulativo, provoca efectos adversos en distintos órganos y afecta el desarrollo y capacidad mental de los niños. Estos problemas han direccionado a la búsqueda y desarrollo de tratamientos alternos para la remoción de metales pesados de los efluentes, como la fitorremediación, humedales artificiales y la biosorción, dichos tratamientos han resultado amigables con el ambiente.

Por las razones antes mencionadas, se estudia la posibilidad de desarrollar sistemas de remoción de contaminantes con materia prima de bajo costo, utilizando residuos, lo que, resulta altamente atractivo, en esta categoría se encuentran los desechos vegetales que tienen origen en fuentes domésticas e industriales, como el olote de maíz que tiene una compleja estructura, pero es rico en nutrientes y su composición fibrosa es similar a la madera, por lo que nos planteamos la posibilidad usarlo como absorbente.

En Ecuador existen trabajos de investigación, donde se ha utilizado residuos agrícolas como: el bagazo de caña, cáscara de cacao, mazorca de maíz, tallos de rosas para la remoción de metales como el plomo y el cadmio de aguas residuales, alcanzando una remoción de más del 90%.

En el presente trabajo estudiaremos la remoción del plomo (II) de aguas residuales sintéticas, generadas en el laboratorio, cargada de este contaminante, pues su vertimiento directo al alcantarillado, se considera un riesgo para la salud y el medio ambiente, además no cumplen con la normativa TULSMA Libro VI Anexo I para Criterios de Calidad admisibles para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuario en el Ecuador.

CAPITULO I

1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

1.1.1 Identificación del problema

El incremento de la industrialización y actividades antropogénicas son los principales problemas para la contaminación del agua por metales pesados debido a su alta toxicidad, generando aguas residuales que son una amenaza para la salud y el ambiente, por lo cual, conservar los recursos hídricos se ha vuelto fundamental, ya que, un manejo eficiente y responsable provee beneficios a nivel local y mundial (Pabón, 2020).

La inadecuada legislación y gestión de este recurso afectan a la calidad y la distribución de este bien natural que se encuentra alterado en su composición, especialmente por los metales pesados caracterizados por su toxicidad, densidad, movilidad en ambientes con pH ligeramente ácido o su naturaleza metálica (Belaire, y otros, 2017).

Siendo el plomo un gran contaminante del agua, se encuentra de forma natural en la corteza terrestre. Su cantidad es $15 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, con una cantidad total estimada en $3,8\cdot 10^{14}$ toneladas, también se encuentra en formas antropogénicas, como la quema y la extracción de combustibles fósiles. El plomo se utiliza como metal en un 40%, un 25% se utiliza para aleaciones y un 35% es empleado como compuesto químico tanto de origen orgánico como inorgánico (Belaire, y otros, 2017).

Las actividades humanas en relación al plomo han incrementado las descargas de este metal en los diferentes componentes ambientales aumentando de manera progresiva las condiciones de exposición a niveles cada vez más altos de dicho metal, en los últimos años la producción y el consumo de plomo se ha incrementado en América latina aumentando el riesgo de exposición y daños a la salud en la población, porque los efectos adversos pueden producirse con niveles de exposición que antes se consideraban aceptables (Danza, 2017).

1.1.2 Formulación del problema

¿Es posible la remoción de plomo (II) en aguas residuales utilizando el olote de maíz como absorbente?

1.2 Justificación de la investigación

Actualmente, existe preocupación a nivel mundial por el alto índice de contaminantes que existen en el recurso agua, entre ellos los metales pesados, debido a su alta toxicidad y difícil eliminación. Siendo un problema que afecta al sector social, a la salud, a la agricultura y ganadería, se considera importante, ayudar a prevenir dicha contaminación (Reyes, y otros, 2016).

Los daños que ocasionan la ingesta de metales pesados presentes en los recursos hídricos, y la exposición a estos elementos, se relacionan con enfermedades crónicas que afectan al ser humano por la falta de un adecuado tratamiento (Londoño, y otros, 2016).

La relación con los niveles elevados de exposición a metales como el plomo (Pb) ha estado asociada al desarrollo de la autoinmunidad, la misma que puede derivar en el desarrollo de dolencias en las articulaciones y el riñón, tales como la artritis reumática, y enfermedades del sistema circulatorio o nervioso central (Valladares, y otros, 2019).

Por consiguiente, la finalidad que tiene la investigación es emplear un biofiltro para la absorción del plomo empleando como material principal el elote de maíz, con la implementación de un filtro absorbente, además, Se pretende aprovechar los residuos orgánicos transformándolos en una opción rentable de tratamiento con un bajo costo.

De acuerdo se manifiesta en la Constitución del Ecuador en el **Art. 14** “Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, “Sumak Kawsay”, de tal manera se encuentra estipulado en el Texto Unificado de Legislación Secundaria, **Art. 209**: manifiesta “ Son las características físicas, químicas y biológicas que establecen la composición del agua del recurso agua y la hacen apta para su consumo, el bienestar de la población y el equilibrio ecológico”. (Normativa del Buen Vivir Sumak Kawsay, 2017).

Ecuador tiene el Plan de Manejo Ambiental, que debe ser aplicada en las distintas industrias que emplean el recurso hídrico en sus diferentes procesos, para evitar la contaminación en aguas residuales se emplean oxidantes químicos como el peróxido de hidrogeno y el ozono entre otros, la utilización de catalizadores sería de gran ayuda en lo que eficiencia se refiere , pero desafortunadamente el desarrollo de estos sistemas es aún incipiente, especialmente a la presencia de baja temperatura y en forma acuosa.

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

- Evaluar la capacidad absorbente de plomo (II) empleando como material bio-filtrante el olote de maíz en aguas residuales.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar si el olote de maíz es un material óptimo para emplearlo como material bio filtrante en la remoción de plomo de aguas residuales.
- Elaborar un bio-filtro empleando olote de maíz como membrana filtrante para remover plomo de aguas residuales.
- Analizar la variación de concentración de plomo en aguas residuales utilizando como absorbente el olote de maíz.

1.4 Hipótesis general

- El olote de maíz como absorbente disminuirá la concentración de plomo (II), presente en el agua residual sintética.

1.5 Hipótesis específicas

- El olote de maíz es un material óptimo para emplearlo como material bio-filtrante en la remoción de plomo de aguas residuales.
- El biofiltro diseñado disminuye la concentración de plomo (II) presente en el agua residual.
- Existe variación de concentración de plomo en aguas residuales utilizando como absorbente el olote de maíz.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Hoy en día se puede considerar los metales pesados como principal contaminante de efluentes líquidos descargados directa o indirectamente en los ríos, mares, etc. Dichas descargas han venido provocando extinción de toda forma de vida en ciertos tramos de las distintas fuentes de agua que a lo largo del tiempo han causado una alteración considerable en su composición, lo que imposibilita su uso como agua potable, agua de riego. Siendo el sector industrial y la explotación de recursos naturales la principal causa de contaminación ambiental (Pabón, 2020).

En Ecuador, los niveles más altos de plomo en el agua se han descubierto recientemente en las provincias de Zamora Chinchipe, El Oro y Loja, que tienen industrias mineras, en los recursos hídricos en estas áreas se han encontrado altas concentraciones de plomo cuando estas industrias mineras depositan desechos de cianuración en microcuencas en estas áreas (Ministerio del Ambiente, 2003)

El plomo es uno de los metales que influyen para la generación de problemas ambientales más severos como la contaminación del agua, debido a su alta toxicidad y su capacidad de bioacumulación en organismos vivos. Debido a que no son química ni biológicamente degradables, este elemento por su naturaleza tiende a incrementar la contaminación del recurso hídrico (Reyes, y otros, 2016).

Por tales razones, a lo largo de los años se han venido realizando distintas investigaciones direccionadas al tratamiento de aguas residuales contaminadas por plomo, utilizando residuos orgánicos, a continuación, detallamos algunos estudios:

El autor (Muñoz, 2007) publicó su estudio: Biosorción de plomo (II) por cáscara de naranja *citrus cinensis* pretratada, el procedimiento se dio con material bioabsorbente por la reticulación con una solución 0.2 M de CaCl_2 , el tratamiento tuvo una duración de 24 horas con una agitación constante, el material tratado se secó a 40 °C por un día y su tamaño de partícula es de 180 a 250 um, donde los resultados obtenidos mostraron que el porcentaje de remoción de plomo de las aguas residuales en el experimento alcanzó el 40%, y una capacidad de biosorción de 141.05 mg/g.

La investigación de (Cardona, y otros, 2013) denominada “*Evaluación del poder biosorbente de cáscara de naranja para la eliminación de metales pesados, Pb (II) y Zn (II)*”, para este trabajo se diseñó 8 experimentos debido a la variación de sus parámetros donde los resultados obtenidos mostraron que el experimento 4 mostro el mejor porcentaje de remoción de plomo alcanzando un 99.5%, con capacidad de remoción de 9.39 mg/g de Pb (II), trabajando con un pH=5, tamaño de partícula=0.4 mm, concentración del metal=80 ppm, cantidad de cáscaras de naranja=0.5 g, tiempo de contacto=2 h, T=500 C, biomasa con reticulación.

El trabajo de los autores (Oré, y otros, 2015) titulado Biosorción de Pb (II) de aguas residuales de mina usando el marlo de maíz (*Zea mays*) mediante un sistema batch, en función del tiempo de contacto, dosis del biosorbente, pH inicial de la solución y concentración inicial de la solución de Pb (II), el modelo que mejor se ajustó fue el de Langmuir, se obtuvo una capacidad máxima de biosorción de 7,9 mg/g y se removió el 97% del Pb(II) contenido en las aguas residuales de mina.

El estudio de (Amangandi, 2017) denominado Remoción de plomo en agua residual empleando el bagazo de caña como material bio -absorbente de metales pesados, logró una remoción de plomo del 76,14%.

El autor (Albarracin, 2018) en su estudio Capacidad de adsorción para remover en ion metálico PB (II) por el tanino de la cascara de tarwi (*lupinus mutabilis sweet*), de las aguas del río Ramis Puno, Perú, trató la biomasa con ácido clorhídrico, para una mayor estabilidad mecánica del material bioadsorbente. Una vez tratada esta biomasa el modelo de Langmuir y Freundlich se ajustan positivamente para describir las isotermas de biosorción del sistema (0,97 y 0,98 respectivamente). El porcentaje de remoción de iones Pb (II) del agua superficial del río utilizando el método complexométrico obtuvo remoción del 96,021% y por el método ICP-Piasma obtuvo el 100% de remoción en la muestra real.

Tabla 1-2 Investigaciones realizadas sobre la absorción de plomo de aguas contaminadas

N°	Año	Nombre de la investigación	Autor(es)	Lugar
1	2020	Tendencias espaciotemporales de recuperación de la contaminación por plomo en Flint, MI, según lo revelado por el muestreo de agua de colaboración colectiva	Abokifa, Katz y Sela	Estados Unidos
2	2021	Biocarbón de cáscara de plátano con estructura ensamblada en nanocopos para el tratamiento de contaminación cruzada en agua: Comportamientos de interacción entre plomo y tetraciclina	Hu et al.	China
3	2016	Contaminación generalizada por cobre y plomo del agua potable doméstica, Nueva Gales del Sur, Australia	Harvey, Handley y Taylor,	Australia
4	2020	Control de la contaminación por plomo en las redes de distribución de agua: un marco de optimización dinámica	Maheshwari et al.	India
5	2022	Una evaluación de riesgo por contaminación de metales en un río utilizado para el abastecimiento público de agua	Da Silva Junior et al.	Brasil
6	2022	Una descripción general de las nuevas tecnologías de desinfección basadas en nanomateriales para microorganismos dañinos: mecanismo, síntesis, dispositivos y aplicación	Hu et al.	China
8	2022	Materiales de base biológica con humectabilidad especial para la separación de agua y aceite	Fan et al.	China

Realizado por: PROCEL, Alex. 2022

2.2. Marco conceptual o glosario

2.2.1. *Calidad del agua*

Desde una perspectiva funcional, la calidad del agua puede entenderse como la capacidad inherente del agua para cumplir con sus usos. O desde una perspectiva ambiental como las condiciones que deben cumplirse en el agua para que mantenga un ecosistema equilibrado y alcance unos objetivos de calidad. O el conjunto de propiedades físicas, químicas y microbiológicas que lo definen, etc. (Plan de recuperación del Júcar, 2018).

Según la Organización Mundial de la Salud y otros organismos internacionales, se puede resumir como las condiciones en las que el agua se encuentra en su estado natural o más allá de sus características físicas y biológicas, modificado por la actividad humana. La calidad del agua generalmente se determina comparando las características físicas y químicas de las muestras de agua con las pautas o estándares de calidad del agua. Este término se asocia principalmente con el uso del agua para consumo humano.

2.2.2. *Metales pesados*

Los metales pesados que se pueden detectar en las aguas contaminadas se pueden clasificar como tóxicos y no tóxicos. Es importante hacer notar que los metales son esenciales para un normal desarrollo de la vida biológica, siempre y cuando no se presente en cantidades elevadas, lo que los llevaría a ser altamente tóxicos. Las fuentes de los metales en las aguas naturales incluyen la disolución de depósitos naturales y descargas de aguas residuales domésticas, industriales y agrícolas. La medición de los metales en el agua se lleva a cabo mediante la espectroscopia de absorción atómica (Chávez, 2011).

2.2.3. *Contaminación del agua por metales pesados*

En particular, la contaminación del agua y de metales pesados es causada por humanos y vías naturales afecta fuertemente la seguridad alimentaria y la salud pública. Estudios recientes han demostrado la presencia de metales pesados y metaloides como mercurio (Hg), arsénico (As), plomo (Pb), cadmio (Cd), zinc (Zn), níquel (Ni) y cromo (Cr) en vegetales como lechuga, repollo, calabaza, brócoli y papa (Reyes, y otros, 2016).

Esta contaminación se produce, entre otras cosas, por el uso de agua contaminada para el riego. De manera similar, se han encontrado metales en diversas concentraciones en pescado, carne y leche como resultado de la bioacumulación y el movimiento desde el medio ambiente a los cuerpos de agua (Reyes, y otros, 2016).

2.2.4. Plomo

Es un metal pesado, blando, resistente a la corrosión, su coloración es gris azulado, se oscurece rápidamente con el aire, su punto de ebullición es de 1700 °C, emite vapores a partir de los 550 °C. No es biodegradable (Burger, y otros, 2010).

El plomo es un metal pesado tóxico que tiene la capacidad de biomagnificarse en el medio ambiente. La OMS lo ha declarado como uno de los diez productos químicos causantes de graves problemas de salud pública. Además, es flexible, inelástico, se funde a 327,10 C. Es relativamente resistente al ácido sulfúrico y al ácido clorhídrico, tiende a disolverse en ácido nítrico (Ministerio del Ambiente, 2003).

Se considera anfótero, ya que, forma sales de plomo de los ácidos tales como: ácido plúmbico, óxidos y compuestos organometálicos, en el Acuerdo Ministerial 028, se realizó la actualización del Libro VI del TULSMA, en el cual, la Tabla 9 del Anexo 1, Límite concentraciones de plomo trazados en los Criterios de Calidad admisibles para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuario en Ecuador es (0.05 mg/L) (Ministerio del Ambiente, 2003).

2.2.4.1. Uso del plomo

El plomo ha sido utilizado en diversas actividades, entre ellas tenemos: la elaboración de insecticidas, pinturas, baterías, tuberías de agua, contenedores de alimentos entre otros. La Agencia de Protección Ambiental (EPA), solo permite niveles de plomo de 0,015 mg/l en el agua potable. Sin embargo, muchas de estas industrias exceden la concentración de metales en sus aguas residuales (Caviedes Rubio et al., 2015).

El plomo como tal se utiliza con mayor frecuencia en la fabricación de baterías, cubiertas de cables, piezas de construcción y municiones. Dichos usos hacen que el plomo se encuentre en gran amplitud en el ambiente, siendo el recurso hídrico el más afectado y debido a su alta toxicidad se debe tener las medidas de precaución adecuadas (Caviedes Rubio et al., 2015).

2.2.4.2. Contaminación del agua por plomo

La contaminación del agua por plomo no es provocada directamente por este metal, sino por sus sales hidrosolubles, que se producen en fábricas de pinturas, pilas, cerámica vidriada, fototermografía, pirotecnia, pinturas para vidrio o industrias químicas donde se emplea tetraetilo de plomo y con determinadas actividades mineras, etc. (Fondo para la educación ambiental, 2007)

España es uno de los países donde existen zonas con altas concentraciones de plomo en el agua de consumo, teniendo unos índices alrededor de 6.000 ppb de plomo en el agua de consumo, misma que procedían de las tuberías domésticas. Gracias a estudios publicados se resalta la importancia del agua como factor epidemiológico determinante que induce a la intoxicación crónica por plomo (Rivera, 2016).

De la misma manera en México se realizó un estudio del río Duero para determinar el origen del plomo, donde determinaron que los factores asociados con la presencia de este componente fueron rocas basálticas con minerales tipo clastos volcánicos (arenas silíceas) (Rivera, 2016).

2.2.5. Aguas residuales

Las aguas residuales se pueden definir como una combinación de desechos líquidos de un hogar, instalación o industria con aguas subterráneas, aguas superficiales y agua de lluvia que se pueden combinar en una sola. También puede proceder de explotaciones agrícolas y ganaderas que contengan residuos animales y vegetales. Finalmente, también es importante mencionar el agua de lluvia, que al depositarse en sus diversas formas, arrastra sustancias orgánicas y químicas al sistema de alcantarillado de la ciudad (Vázquez, 2003).

A continuación, se presenta las definiciones más utilizadas dentro del campo del tratamiento de aguas residuales.

2.2.5.1. Clasificación de las aguas residuales

- **Aguas residuales domésticas.** - Son el conjunto de líquidos residuales de uso doméstico y comerciales provenientes de los sistemas de abastecimiento de agua potable.
- **Aguas residuales industriales.** - Se denominan así al conjunto de líquidos residuales provenientes de los diferentes procesos y usos industriales.
- **Aguas residuales municipales.**- Son aquellas aguas procedentes de un servicio de alcantarillado sanitario combinado.

- **Aguas residuales crudas.** - Son las que no han recibido ningún tratamiento.
- **Aguas residuales frescas.** - Son las aguas residuales en las que a pesar de la materia orgánica en putrefacción que contienen, conservan una porción de oxígeno libre.
- **Aguas residuales rancias.** - Son aquellas aguas en las que se ha agotado el oxígeno libre y toda la materia orgánica se encuentra en plena putrefacción (García, y otros, 2016).

2.2.5.2. Constituyentes del agua residual

Las aguas residuales se componen, básicamente de un 99,9% de agua en su estado conocido como agua potable y de un 0,1% por peso de sólidos, sean estos disueltos o suspendidos. Este 0,1% referido es el que requiere ser removido para que el agua pueda ser reutilizada. El agua sirve o actúa como medio de transporte de estos sólidos, los que pueden estar disueltos, en suspensión o flotando en la superficie del líquido (Zambrano, 2009).

Tabla 2-2 Constituyentes de las aguas residuales

Sólidos	Gases Disueltos	Componentes Biológicos
0.1% (por peso) Suspendidos	O ₂	Bacterias
Disueltos	CO ₂	Micro y macroorganismos
Coloidales	H ₂ S	Virus
Sedimentables	N ₂	

Fuente: (Porrás Sequeiros y Martínez Suárez, 2019)

Realizado por: PROCEL, Alex. 2022

Los constituyentes encontrados en las aguas residuales pueden ser clasificados como físicos, químicos y biológicos. Existen cinco características físicas esenciales en el agua residual que pueden ser fácilmente por los sentidos, estos son:

2.2.5.3. Principales constituyentes de las aguas residuales Sólidos

Pueden ser orgánicos e inorgánicos tales como:

- **Turbiedad.** - Sirve principalmente para conocer la cantidad de luz que es absorbida o disipada por el material suspendido en el agua.
- **Color.** - El color en aguas residuales es causado por sólidos suspendidos, material coloidal y sustancias en solución.

- **Temperatura.-** La temperatura es mayor que el agua para abastecimiento como consecuencia de la incorporación de agua caliente proveniente del uso doméstico e industrial (Vázquez, 2003), (Ramón, 2005), (Tchobanoglous., 2013).

2.2.5.4. Características químicas orgánicas del agua residual

Una vez que se habló de las características físicas del agua residual, es importante también mencionar sus características químicas orgánicas. Dentro del agua residual existe una cantidad considerable de elementos químicos inorgánicos; esto son nutrientes, constituyentes no metálicos y gases. Entre los nutrientes inorgánicos tenemos amoníaco libre, nitrógeno orgánico y fosforo inorgánico (Organización de Naciones Unidas, 2017).

2.2.5.5. Compuestos orgánicos agregados del agua residual

Durante todo el proceso de recolección de aguas residuales, estas adquieren muchos componentes extras. Además de los componentes descritos anteriormente, los compuestos orgánicos agregados al agua residual son muy variados, según datos obtenidos la materia orgánica en aguas residuales se constituye básicamente de proteínas en un 40 a 60 %, carbohidratos un 25 a 50 % y finalmente grasas y aceites en 8 a 12 % así como pequeñas cantidades de un gran número de moléculas orgánicas sintéticas (Martinez, 2004).

La diferencia que existe entre un agua residual tratada y no tratada es la cantidad de compuestos orgánicos agregados presentes en las muestras. Este parámetro es de mucha importancia ya que ayuda analizar el desempeño de los procesos de tratamiento y estudiar su comportamiento en las fuentes receptoras, hoy en día existen distintos métodos para el cálculo de dicho parámetro (Martinez, 2004).

2.2.5.6. Demanda bioquímica de oxígeno

Es la cantidad de oxígeno que utilizan los microorganismos para llevar a cabo la reducción de la materia orgánica. En la prueba estándar de DBO se vierte una pequeña muestra de agua residual en una botella (300 ml. de volumen). Dicha botella se completa a volumen usando agua saturada con oxígeno y con los nutrientes requeridos para crecimiento biológico. Antes de tapar la botella se mide la concentración de oxígeno. La botella se incuba durante 5 días a 20 °C para posteriormente volver a medir la concentración de oxígeno disuelto, expresado en miligramos por litro, dividido por la fracción decimal del volumen de muestra usada (León, 2009).

2.2.6. Demanda química de oxígeno (DQO)

Parte de los materiales orgánicos no se pueden degradar biológicamente porque resultan ser tóxicos a los microorganismos o porque su reducción llega a ser tan lenta que son considerados como no biodegradables. Estos materiales son los pesticidas, insecticidas y herbicidas. Para conocer la cantidad de este tipo de materiales orgánicos no biodegradables se hace la prueba de Demanda Química de Oxígeno (DQO). Junto con la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) se puede calcular la cantidad de orgánicos biodegradables presentes en el agua. Esto se puede lograr restando el valor de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) al valor de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) (León, 2009).

2.2.7. Carbono orgánico total (COT)

Esta prueba es usada para la medición de carbono orgánico total presente en una muestra acuosa. Los métodos para la prueba del COT utilizan oxígeno y calor, radiación ultravioleta, oxidantes químicos o alguna combinación de éstos para convertir el carbono orgánico en dióxido de carbono, el cual es medido con un analizador infrarrojo o por otros medios. El COT del agua residual puede ser utilizado para medir el nivel de polución en el agua y, además, ha sido posible relacionar este parámetro con la DBO y la DQO. Por otro lado, este ensayo toma de 5 a 10 minutos para ser completado, lo que le da una ventaja a su favor (Crombet, y otros, 2013).

2.2.8. Relaciones entre DBO, DQO y COT

Dependiendo de la relación existente entre estos tres parámetros se puede hacer un análisis del tipo de tratamiento que se ha llevado a cabo en el agua residual. Así, por ejemplo, tenemos que si la relación DBO/DQO para aguas no tratadas es mayor que 0.5, los residuos se consideran fácilmente tratables mediante procesos biológicos. Si a relación DBO/DQO es menor de 0.3, el residuo puede contener constituyentes tóxicos o se pueden requerir microorganismos aclimatados para su estabilización (Crombet, y otros, 2013).

2.2.9. Biofiltros

Los biofiltros son sistemas los cuales son utilizados como depuradores de aguas, conocidos como humedades artificiales conformados con por un lecho filtrante de material poroso de pequeñas profundidades. Además, considerados una alternativa con alta eficiencia debido a su alta capacidad de remoción de contaminantes sólidos, DBO, DQO, fosforo, hierro, en los cuales se

han llegado a remover porcentajes hasta del 90% siendo su implementación relativamente económica (Romero, 2016).

2.2.9.1. Filtración por gravedad (filtración lenta)

Los biofiltros son sistemas los cuales son utilizados como depuradores de aguas, conocidos como humedades artificiales conformados con por un lecho filtrante de material poroso de pequeñas profundidades. Además, considerados una alternativa con alta eficiencia debido a su alta capacidad de remoción de contaminantes sólidos, DBO, DQO, fosforo, hierro, en los cuales se han llegado a remover porcentajes hasta del 90% siendo su implementación relativamente económica (Porrás Sequeiros y Martínez Suárez, 2019).

2.2.9.2. Métodos no convencionales para el tratamiento de aguas residuales

Los tratamientos mencionados anteriormente presentan un costo económico muy elevado además de no ser viables técnicamente para la remoción de metales pesados presentes en las aguas residuales, principalmente cuando estos metales se encuentran en concentraciones muy bajas. Debido a las razones mencionadas anteriormente surgen nuevas tecnologías más eficientes económicamente para la reducción y/o eliminación de metales, entre las cuales se encuentran:

- **Biorremediación**

La biorremediación está vinculada al uso de procedimientos biológicos para la remoción y/o disminución de contaminantes presentes, es de bajo costo y más eficiente comparado con otros procesos físicos y químicos. Se debe recalcar que este tratamiento puede llevar muchos años para la recuperación de la zona impactada, la misma que depende de las condiciones ambientales para la proliferación de los organismos a utilizar y de la cantidad del contaminante (Velázquez, 2015).

- **Fitorremediación**

La fitorremediación básicamente se enfoca en el uso de especies vegetales para la descontaminación, debido a la capacidad fisiológica y bioquímicas que radican en las 13 mismas para absorber y retener metales pesados. Este tipo de tratamiento presenta un inconveniente, que se debe hacer una vez que la planta cumple su función (Ramón, 2005).

- **Biopolímeros**

Debido a la variedad de grupos funcionales que presentan estos biopolímeros tales como aminas, aumenta la absorción de iones metálicos, lo que permite la reducción de los mismos a concentraciones de parte por billón (Tejada-Tovar, Villabona-Ortiz y Garcés-Jaraba, 2015).

2.2.10. Biosorción

Es una alternativa eficiente y de bajo costo principalmente cuando se refiere a concentraciones bajas del metal. Este tipo de tratamiento se encuentra influenciado por varios factores tales como la concentración inicial del metal, el tamaño de la partícula, el pH, etc. La biosorción de metales que se encuentran en aguas residuales se puede realizar mediante la utilización de biomateriales vivos o muertos (Tamay, 2019).

Resumiendo, el término, biosorción puede representar un procedimiento en el que un sorbato (átomo, molécula o ion molecular) intercambia con un biosorbente (área compacta de una matriz biológica) lo que da como resultado una acumulación en la interfase sorbato-biosorbente, conduciendo a una disminución de la concentración del sorbato en la solución estudiada (Tamay, 2019).

Adicionalmente, la biosorción no sólo cubre el estudio de la adsorción de metales o compuestos orgánicos tóxicos, sino que también tiene aplicación en la recuperación y uso de metales preciosos, como el oro. (Tejada-Tovar, Villabona-Ortiz y Garcés-Jaraba, 2015)

2.2.11. Material absorbente olote de maíz

El olote de maíz se encuentra entre las fuentes de recursos no maderables con un alto contenido de xilanas, por lo que ha sido considerado de interés como fuente alternativa de diferentes compuestos químicos de interés comercial o industrial, entre otras fuentes de biomasa. El olote es un residuo o subproducto agrícola que se genera en grandes cantidades en el proceso de separación del grano de la mazorca y se estima que por cada tonelada de maíz se obtienen 170 kg de olote (Velázquez, 2015).

2.2.12. Adsorción

La adsorción es un fenómeno superficial que transfiere la masa de un adsorbente en estado líquido o gaseoso a la región de un adsorbente porque influyen fuerzas físicas o químicas, es un proceso que ocurre en la superficie del adsorbente (García, Villanueva, Campos, & Velázquez, 2012).

Por las fuerzas implicadas, existen 2 tipos de adsorción:

1. Fisisorción conocida como adsorción física se da cuando el adsorbente se fija a la superficie con menor fuerza (fuerza de Van der Waals). Este fenómeno es relativamente bajo, ya que, la molécula adsorbida no se establece con precisión al área, al contrario, se mueve de forma libre sobre esta, teniendo la capacidad de formar una mayor cantidad de capas en la superficie con mayor presión. Después de la desorción una molécula adsorbida por un evento físico es capaz de mantener su forma original. La fisisorción es un proceso exotérmico (García, Villanueva, Campos, & Velázquez, 2012).
2. La quimisorción o adsorción química es un evento que implica el cambio entre electrones, moléculas y la superficie de adsorción, lo que resulta en una reacción porque se forman compuestos químicos (García, Villanueva, Campos, & Velázquez, 2012).

En el proceso de quimisorción la energía es la misma que el cambio de energía en la reacción química correspondiente. Cuando una molécula adsorbida químicamente sufre una reacción de disociación química, pierde su estado original y no puede recuperarse. Es importante mencionar que el estudio de adsorción requiere los cálculos de cinética e isothermas de adsorción, además, el efecto de pH, masa de adsorbato, temperatura y otros parámetros cuando ocurre la adsorción (García, Villanueva, Campos, & Velázquez, 2012).

2.2.13. Modelos de isothermas de adsorción

El proceso de adsorción sólido-líquido, por lo general, es complejo comparado con el sistema sólido-gas, debido a:

1. Las moléculas que se adsorben no están empaquetadas por completo ni con la misma orientación, a pesar de que se puede obtener adsorción en una sola capa y
2. El solvente puede competir con el adsorbente. Por lo tanto, hay muchas isothermas en referencias bibliográficas que se manejan para formar los procesos de adsorción (Huamaní & Huamolle, 2017).

2.2.13.1. Modelo de Langmuir

Este modelo nos dice que la adsorción puede darse en un número limitado y definido de lugares análogos y semejantes que forman una monocapa. Esto se da sin interacciones laterales o disruptivas entre las moléculas adsorbidas (García, Villanueva, Campos, & Velázquez, 2012).

La isoterma de Langmuir describe una adsorción homogénea, donde cada molécula tiene una entalpía y energía de aceleración constante sin desplazamiento del adsorbente en el plano de la superficie (García, Villanueva, Campos, & Velázquez, 2012) .

La forma linealizada del modelo de Langmuir se expresa mediante la ecuación:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{K_L q_{m\acute{a}x}} + \frac{C_e}{q_{m\acute{a}x}} \text{ Ecuación 1}$$

Donde,

- q_e = capacidad de adsorción o cantidad del adsorbato retenido en el adsorbente en el equilibrio, (mg/g).
- C_e = concentración del adsorbato presente en la solución en el equilibrio, (mg/L).
- $q_{m\acute{a}x}$ = capacidad máxima de adsorción, (mg/g).
- K_L = constante de Langmuir relacionada con el calor de adsorción, (L.mg⁻¹) (García, Villanueva, Campos, & Velázquez, 2012).

En Lagmuir podemos observar una disminución relativamente rápida de las fuerzas de atracción a medida que se incrementan la distancia entre el adsorbato y adsorbente. Por lo tanto, la constante adimensional R_L , se define por la ecuación 2: (Obregón, 2012).

$$R_L = \frac{1}{1+K_L C_0} \text{ Ecuación 2}$$

Donde,

- K_L = constante de Langmuir; (L.mg⁻¹)
- C_0 , es la concentración inicial del adsorbato, (mg/L).
- El valor de R_L indica si la naturaleza de una adsorción es favorable o desfavorable:
- $R_L > 1$: Desfavorable; $R_L = 1$: Lineal; $0 < R_L < 1$: Favorable y $R_L = 0$: Irreversible (Obregón, 2012).

2.2.13.2. *Modelo de Freundlich*

En este modelo se describe una adsorción no ideal, reversible y heterogénea. Aquí es posible aplicar la adsorción multicapa, sin necesidad que haya una distribución de entalpía uniforme (García, Villanueva, Campos, & Velázquez, 2012).

El modelo linealizado de Freundlich se representa por:

$$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde,

- q_e = capacidad de adsorción en el equilibrio (mg/L) y
- C_e = concentración de soluto presente en la solución en el equilibrio (mg/L).
- La constante K_F ($\text{mg}^{1-1/n} \cdot \text{L}^{1/n} \cdot \text{g}^{-1}$) es un parámetro de la capacidad de adsorción del material y $1/n$ (adimensional) representa una medida de la intensidad de la adsorción (García, Villanueva, Campos, & Velázquez, 2012).

El tipo de isoterma depende del valor $1/n$, si dicho valor es mayor o igual a 0,5 la curva de la isoterma es cóncava hacia arriba y la adsorción es desfavorable del tipo III. Si $1/n$ es menor a 0,5 el tipo de isoterma es similar al tipo II siendo cóncava hacia arriba a altos valores de C/C_0 y la adsorción es favorable (García, Villanueva, Campos, & Velázquez, 2012).

2.3. **Base legal**

2.3.1. *Constitución del Ecuador*

Art. 12.- Derecho humano el agua.

Art. 14.- Derecho de la población a vivir en un ambiente sano (Sumak Kawsay).

Art. 15.- Fomento del uso de tecnologías limpias y de diminuto impacto.

Art. 66.- Reconocer y garantizar a las personas a vivir en un ambiente sano y equilibrado.

Art. 83 - Numeral 6.- Los ecuatorianos (as) tienen deberes y responsabilidades como respetar los derechos de la naturaleza.

Art. 276.- Régimen de desarrollo.

Art. 282.- Soberanía alimentaria.

Art. 314.- Provisión de servicios públicos de agua potable y riego

Art. 313.- Sectores estratégicos, servicios y empresa pública.

Art. 318.- Agua patrimonio nacional estratégico

2.3.2. Régimen del buen vivir

Art. 395.- Reconocimiento de algunos principios ambientales

Art.- 396.- Adopción de políticas y medidas en torno a la protección del ambiente y evitar sus impactos perjudiciales.

Art. 411.- Manejo integral de los recursos hidrográficos

Art. 412.- Responsabilidad de planificación, regulación y control por la autoridad única del agua.

2.3.3. Declaración de Río de Janeiro sobre el medio ambiente

Principio 3.- El desarrollo debe practicarse de manera sostenible

Principio 4.- Protección del ambiente como ámbito elemental en el desarrollo sostenible

Principio 25.- La paz, el desarrollo y protección del ambiente están ligados y dependen entre sí.

2.3.4. Agenda 21

Su objetivo es establecer prioridades para el manejo y conservación de los recursos naturales. Estas prioridades se agrupan en cuatro categorías amplias, como biodiversidad, atmósfera, agua y tierra.

2.3.5. Convenio sobre la diversidad biológica

Los objetivos de este Convenio, perseguidos de conformidad con sus disposiciones, son la conservación de la diversidad biológica, el uso sostenible de sus componentes y la distribución justa y equitativa de los beneficios derivados del uso de los recursos. pleno acceso a estos recursos y transferencia adecuada de tecnologías relacionadas, teniendo en cuenta todos los derechos sobre estos recursos y tecnologías y con la financiación adecuada.

2.3.6. Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua

Art. 23.- Competencia de la Agencia de Régimen y Control

Art. 25.- Consejo de la Cuenca

Art. 32.- Gestión pública o comunitaria del agua

Art. 34.- Gestión integrado e integral de los recursos hídricos

Art. 64.- Conservación del agua

Art. 66.- Restauración y recuperación del agua.

Art. 71.- Derechos colectivos sobre el agua

Art. 80.- Vertido, prohibiciones y control

Art. 117.- Uso y aprovechamiento del agua subterránea.

Art. 90.- condiciones para el otorgamiento de autorizaciones de uso del agua

2.3.7. Ley Orgánica de Salud, R.O. N° 423 del 22 de diciembre del 2006

Art. 103.- Prohibición de descargar aguas servidas o residuales sin el tratamiento apropiado. Art.

104.- Obligatoriedad de instalar sistemas de tratamiento de aguas contaminadas y de desechos tóxicos

Art. 115.- Cumplir normas y regulaciones sobre los plaguicidas, fungicidas y otras sustancias que puedan ser nocivas para la salud humana.

Art. 116.- Prohibición sobre plaguicidas y otras sustancias vetadas por las normas sanitarias.

2.3.8. Código Orgánico Integral Penal

Art. 215.- De los delitos contra el agua.

2.3.9. Ley De Comercialización Y Empleo De Plaguicidas, Codificación 11

Art.23.- Prohibición de la aplicación aérea de plaguicidas y productos semejantes exageradamente tóxicos y peligrosos.

Art.24.- Responsabilidad del empleador vigilar por su personal que participe en el manejo de plaguicidas y semejantes.

Texto unificado de legislación ambiental secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA)

Libro VI, Anexo 1

2.3.10. Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental

Art. 6.- Prohibición de descarga

Art. 8.- Ministerios de Salud y del Ambiente fijan grado de tratamiento de aguas residuales

Art. 9.- Ministerio de Salud y del Ambiente supervisan la construcción de plantas de aguas residuales.

2.3.11. Ley Forestal y de Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre

Artículo 73.- El Ministerio del Ambiente le corresponderá:

- 2.- Prevenir y controlar la contaminación de las aguas.
- 3.- Proteger y evitar la liquidación de especies de flora y fauna silvestre

2.3.12. Ley de Gestión Ambiental

Art. 33 y 34.- Establecimiento de los instrumentos de aplicación de las normas ambientales.

Art. 35.- Sobre los incentivos económicos para las actividades productivas que protejan al medio ambiente.

CAPITULO III

3. METODOLOGÍA

En el tercer capítulo se describe la metodología que se utilizó en la investigación, así como las técnicas que se utilizaron en las diferentes etapas del trabajo de titulación, desde la recolección de datos hasta el análisis de los resultados obtenidos.

3.1. Tipo y diseño de investigación

3.1.1. Tipo de investigación

La investigación que se llevó a cabo en el presente estudio fue cuantitativa, ya que, se asignaron valores numéricos, con la finalidad de estudiar con métodos estadísticos las posibles relaciones entre las variables.

También fue una investigación de tipo científico porque se profundiza en el estudio de arte para el análisis, interpretación, resultados y opiniones de autores citados en la recopilación de antecedentes y bibliográficos.

3.1.2. Diseño de la investigación

El diseño de nuestra investigación fue experimental de tipo longitudinal que tuvo un enfoque de carácter científico, donde la remoción de plomo (II) final se mantuvo constante, mientras que las

variables tamaño de partícula del olote de maíz y tiempo de remoción de plomo fueron manipulables como sujeto del experimento.

3.2. Métodos de la investigación

Los métodos de investigación científica utilizados en el trabajo de investigación fueron:

3.2.1. Método deductivo

Nuestro estudio fue de tipo deductivo porque su punto de partida fue de lo general a lo particular, en nuestro caso la concentración de plomo (II) final determinó el tamaño de partícula del olote de maíz y el tiempo de remoción del metal.

3.2.2. Método analítico

Este método consiste en descomponer el objeto de estudio en partes para estudiarlo de forma individual. en este caso la investigación se enfocó directamente en la remoción de plomo (II) de aguas residuales.

3.3. Enfoque de la investigación

En nuestra investigación el enfoque fue cuantitativo de tipo continuo, establecido en una medición de uno o más atributos del fenómeno descrito. En la experimentación se obtuvieron valores numéricos del tamaño de partícula del olote de maíz y el tiempo adecuado para la remoción de plomo (II).

3.4. Alcance de la investigación

La investigación es de tipo explicativo porque se manipuló las variables con el fin de determinar el tamaño idóneo de partícula de olote de maíz y el tiempo de remoción de plomo (II), con el objetivo de reducir el metal a valores inferiores 0.05 mg/L y cumplir con la normativa TULSMA Libro VI Anexo I para Criterios de Calidad admisibles para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuario en el Ecuador.

3.5. Población de estudio

En nuestra investigación la población de estudio fue el agua residual sintética contaminada con plomo (II).

3.5.1. Localización de la investigación

La investigación se llevó a cabo en el laboratorio de Análisis Instrumental de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) ubicada en la Panamericana Sur Km 1 ½ vía a la Costa a una altitud de 2820 msnm en la ciudad de Riobamba con coordenadas 78°40'20".

3.5.2. Unidad de análisis

La unidad de análisis de la investigación fue el agua residual sintética contaminada con plomo (II).

3.5.3. Selección de la muestra

Con la finalidad que la muestra sea representativa no se aplicó ninguna fórmula, se tomó el 100% de la población.

3.5.4. Tamaño de la muestra

En nuestro estudio el tamaño de la muestra fue el 100% del trabajo experimental con la finalidad que este sea representativo.

3.6. Técnica de recolección de datos

3.6.1. Técnica analítica

Para obtener las concentraciones finales de plomo (II) en nuestra investigación se utilizó espectroscopia de absorción atómica.

3.7. Instrumentos para procesar datos recopilados

3.7.1. Absorción

Se utilizó un bio-filtro con capas de olote de maíz.

3.7.2. Medición de concentración

Se usó un potenciómetro para medir la concentración del metal a absorber plomo (II).

3.7.3. Tabla para el diseño experimental

3.7.3.1. Diseño experimental

Se trabajó con el diseño experimental factorial.

Número de pruebas = m^n

Donde:

- m = Número de niveles de las variables independientes.
- n = Factores o variables independientes.

En la investigación se pudo trabajar con dos variables independientes concentración de las soluciones acuosas de pb (II) y tiempo de remoción y cuatro niveles, por lo que el diseño experimental es 2^3 . Por lo tanto, el número de pruebas es 6.

Tabla 1-3 Variables y niveles para el desarrollo experimental

Niveles de variables independientes					
Variables	1			2	
Concentración final	1	2	3		
Tiempo de remoción	24	24	24		

Realizado por: PROCEL, Alex. 2022.

En la Tabla 1-3 podemos observar el diseño experimental factorial que se utilizó para nuestro trabajo experimental.

Tabla 2-3 Matriz de experimentos

Matriz de experimentos		
Número de pruebas	Concentración (mg/L)	Tiempo (horas)
1	5	24
2	5	24
3	5	24
4	5	24
5	10	24
6	10	24

Realizado por: PROCEL, Alex. 2022.

Para verificar la hipótesis general planteada fue necesario realizar un estudio estadístico, por lo cual, se planteó un análisis de varianza.

3.8. Hipótesis general

El olote de maíz como absorbente disminuirá la concentración de plomo (II), presente en el agua residual sintética.

3.9. Identificación de las variables

3.9.1. Variable independiente

- Tamaño de partícula de olote de maíz
- Tiempo de remoción de plomo (II)

3.9.2. Variable dependiente

- Concentración final de plomo (II)
- Porcentaje de remoción de plomo (II)

Tabla 3-3 Operacionalización de variables

Variable Independiente	Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Definición de los indicadores	Criterio de medición	Técnica	Instrumento	Escala
Tiempo de remoción de plomo	Es el tiempo que se tarda un Proceso (químico o físico) en separar un componente (disuelto o suspendido) de una fase continua (solvente o dispersante)	Horas	Concentración de plomo removido.	El tiempo de eliminación específica identificado en el tiempo mínimo.	Técnica Continua		Cronómetro	
Tamaño de partícula del olote de maíz	Área adecuada del olote de maíz que actué como absorbente para la remoción de plomo en las aguas residuales	cm ³	Área de la partícula	Área adecuada para remover el plomo de las aguas residuales.	Técnica Continua	Masa	Torre de tamices	
Variable Dependiente	Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Definición de los indicadores	Criterio de medición	Técnica	Instrumento	Escala

<p>Concentración final de plomo</p>	<p>Concentración de plomo final después del estudio de remoción utilizando olote de maíz</p>	<p>mg/L</p>	<p>Límite concentraciones de plomo planteados en los Criterios de Calidad admisibles para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuario plasmadas en el Texto unificado de legislación secundaria del Ministerio de Ambiente del Ecuador TULSMA (0.05 mg/L)</p>	<p>Las concentraciones de plomo planteados en los Criterios de Calidad admisibles para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuario plasmadas en el Texto unificado de legislación secundaria del Ministerio de Ambiente del Ecuador TULSMA</p>	<p>Técnica Continua</p>	<p>Espectroscopia de absorción atómica</p>	<p>Espectrofotómetro</p>	<p>0.05 mg/L</p>
--------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------	-------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------	--------------------------------------------	--------------------------	-------------------------

Realizado por: PROCEL, Alex. 2022

Tabla 4-3 Matriz de consistencia

ASPECTOS GENERALES				
Problema General		Objetivo General		Hipótesis General
Contaminación de agua por plomo (II)		Evaluar la capacidad absorbente de plomo (II) empleando como material bio-filtrante el olote de maíz en aguas residuales.		El olote de maíz como absorbente disminuirá la concentración de plomo (II), presente en el agua residual sintética.
ASPECTOS GENERALES				
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas	Indicadores	Técnicas
Se desconoce la capacidad de absorción del olote de maíz.	Determinar si el olote de maíz es un material óptimo para emplearse como un bio-filtro para aguas residuales.	El olote de maíz es un material óptimo para emplearlo como material bio filtrante en la remoción de plomo de aguas residuales.	Tamaño de partícula Tiempo de remoción Concentración final Porcentaje de remoción	Absorción atómica
Se desconoce el tamaño de partícula óptimo para la adsorción de Plomo	Elaborar un bio-filtro empleando olote de maíz como membrana filtrante	El biofiltro diseñado disminuye la concentración de plomo (II) presente en el agua residual.	Tamaño de partícula Tiempo de remoción Concentración final Porcentaje de remoción	Absorción atómica
Se desconoce la influencia del tiempo de contacto o de equilibrio en la remoción de Plomo.	Analizar la variación de concentración de plomo (Pb) en agua residual empleando como absorbente el bio-filtro de olote de maíz.	Existe variación de concentración de plomo en aguas residuales utilizando como absorbente el olote de maíz.	Tamaño de partícula Tiempo de remoción Concentración final Porcentaje de remoción	Absorción atómica

Realizado por: PROCEL, Alex. 2022

3.10. Obtención de datos para diseño

3.10.1. Medición de caudal

La medición del caudal es importante para el diseño del biofiltro ya que de este depende las características estructurales del biofiltro.

Tabla 5-3 Materiales de muestreo

Materiales
- Probeta
- Cronómetro

Realizado por: PROCEL, Alex. 2022

Mediante la toma de datos de volumen en un determinado tiempo se calculó el caudal de salida de los laboratorios en estudio, considerándose de tal manera este método como volumétrico.

3.10.2. Diseño y construcción de biofiltro

Para realizar el diseño y construcción del biofiltro se midió el caudal de salida de dos Laboratorios. Anexo B

- **Laboratorio 1**

$$Q_{promedio} = 51.989 \text{ L/s}$$

$$Q_{promedio} = 4491.84 \text{ m}^3/\text{día}$$

- **Laboratorio 2**

$$Q_{promedio} = 43.119 \text{ L/s}$$

$$Q_{promedio} = 3725.48 \text{ m}^3/\text{día}$$

3.10.3. Cálculo de número de filtros para cada laboratorio

Se utilizó la Ecuación:

$$N = 0.044\sqrt{Q}$$

Donde

N= número de filtros

Q = Caudal (m³/día)

Para el caso del laboratorio 1:

$$N = 0.044\sqrt{4491.84}$$

$$N = 2.94$$

Se utilizó 3 unidades de biofiltro en el laboratorio 1.

Para el laboratorio 2:

$$N = 0.044\sqrt{Q}$$

$$N = 0.044\sqrt{3725.48}$$

$$N = 2.68$$

El laboratorio 2 utilizó 3 unidades de biofiltro.

3.10.4. Velocidad de filtración

$$V_f = \frac{Q}{A}$$

V_f = Velocidad de filtración (m/s)

Q = Caudal a tratar (m³/s)

A = Área total de filtración (m²)

Para calcular área total de filtración se asume los datos del Anexo A.

3.10.5. Área total del filtro

Para el calcular el área total del filtro se consideró el caudal del filtro sobre la tasa de filtración (T_f), con unidad de medida m², se toma como caudal a 2.58 m³/h y tasa de filtración se toma como 5 m/h

$$A_t = \frac{Q}{T_f}$$

Donde:

Q = Caudal (m^3/h)

T_f = Tasa de filtración (m/h)

A_t = área total del filtro (m^2)

$$A_t = \frac{2.58 \text{ m}^3/\text{h}}{5 \text{ m}/\text{h}}$$

$$A_t = 0.51 \text{ m}^2$$

3.10.6. Área de cada unidad

Como tenemos un total de tres unidades para llevar a cabo el proceso de filtrado procedemos a dividir el área total de filtrado por el número de unidades requeridas.

$$A_u = \frac{A_t}{N}$$

Donde:

A_u = Área por unidad (m^2)

A_t = área total del filtro (m^2)

N = número de filtros

$$A_u = \frac{0.51 \text{ m}^2}{3}$$

$$A_u = 0.17 \text{ m}^2$$

3.10.7. Caudal del filtro

$$Q_f = \frac{Q}{N}$$

Donde:

Q_f = Caudal del filtro (m^3/h)

Q = Caudal total (m^3/h)

N = número de filtros

$$Q_f = \frac{2.58 \text{ m}^3/h}{3}$$

$$Q_f = 0.86 \text{ m}^3/h$$

3.10.8. Diámetro del filtro

Para el cálculo del diámetro consideramos una altura de filtro de 0.5 m y de forma cilíndrica

$$A = 2\pi r (r + h)$$

$$0.17 \text{ m}^2 = 2\pi r (r + h)$$

$$0.027 = r^2 + 0.5r$$

$$r^2 + 0.5r - 0.027 = 0$$

Donde r es el radio

$$r = 0.049 \text{ m}$$

$$D = 2 r$$

$$D = 2(0.049 \text{ m})$$

$$D = 0.098 \text{ m}$$

$$D = 10 \text{ cm}$$

A continuación, en la Tabla 6-3 se presentan las características del biofiltro:

Tabla 6-3 Características del biofiltro

Altura (m)	0.5
Diámetro (m)	0.10
Área (m ²)	0.17
Caudal del filtro (m ³ /h)	0.86
Material	PVC

Realizado por: PROCEL, Alex. 2022

El diseño del biofiltro se puede observar en el **Anexo B**.

3.11. Obtención del medio filtrante

El material utilizado como medio filtrante fue el olote de maíz (residuo orgánico generado en la obtención de maíz), como base principal del material filtrante dada su disponibilidad, su contenido rico en nutrientes y su composición fibrosa.

3.11.1. Procedimiento para obtención del material absorbente

A continuación, se describe el proceso para la obtención del material absorbente, que se utilizó como medio filtrante en la reducción de plomo (II) de las aguas residuales sintéticas.

- Se realizó el lavado de la materia prima con cloro.
- Se dejó secar por un periodo de 24 horas.
- Se ingresó la materia prima a la trituradora y se recogió el material triturado por la parte inferior.
- Se colocó el material al tamiz por 5 minutos.
- El olote de maíz triturado se desecó en la estufa a una temperatura de 60 °C hasta obtener un peso constante.
- Se dejó enfriar por un tiempo de 24 horas.

3.11.2. Activación del material absorbente con hidróxido de sodio y ácido sulfúrico

Se realizó la activación del olote de maíz con un pretratamiento, para de esta manera retirar o remover impurezas y diferentes compuestos que pudiesen afectar en el proceso de absorción.

3.11.2.1. Pretratamiento del olote de maíz

Para empezar con el proceso de experimentación primero, el olote de maíz se sometió a un proceso de pretratamiento.

3.11.2.2. Materiales y reactivos

- Acetona
- Agua desionizada
- Agente pretratante
- Olote de maíz
- Papel filtro

3.11.2.3. Procedimiento para el pretratamiento del olote de maíz

Material precursor, es el olote de maíz

- Lavamos el olote de maíz con acetona durante una hora.
- Después lavamos el olote de maíz por 3 veces en agua desionizada.
- Para la activación del olote de maíz sumergimos el olote de maíz en 0.5 M de hidróxido de sodio durante dos horas con agitación.
- También sumergimos el olote de maíz en 0.5 M de ácido sulfúrico durante dos horas con agitación. Ver Anexo J.
- Se dejó reposar por 24 horas.
- Posterior a este tratamiento se procedió a filtrar al vacío.
- Se dejó secar el material adsorbente por un lapso de 24 horas.
- Después lavamos 3 veces con agua desionizada.
- Secamos con papel filtro común.
- Finalmente obtuvimos el Olote de maíz activado.

3.11.3. Preparación del agua sintética

Para la realización de la investigación se preparó muestras de agua sintética con una concentración de 5 mg/L y 10 mg/L de plomo (II) y un volumen de 1000 mL.

Tabla 7-3 Materiales, equipos y reactivos preparación del agua sintética

Materiales	Equipos	Reactivos
Balón de aforo	Absorción atómica STABDARD METHODS 3500	Agua
Vaso de precipitación		Plomo (II)
Piceta		

Realizado por: PROCEL, Alex 2022

Con la preparación de la solución de agua residual sintética contaminada con plomo se procedió a realizar evaluación de la capacidad de absorción del olote de maíz.

3.11.4. Evaluación de la capacidad de absorción del olote de maíz para la remoción de plomo (II)

Para realizar el proceso de absorción de plomo (II) utilizando el olote de maíz se realizaron seis pruebas que constan de diferentes parámetros, y se describen en la **Tabla 8-3**:

Tabla 8-3 Parámetros para realizar las pruebas experimentales

Pruebas	Cantidad de biomasa (g)	Tamaño de Partícula(mm)	Concentración inicial plomo (II) (mg/L)	Tiempo de remoción horas	Temperatura °C
1	140	0.6	5	24	17
2	160	0.6	5	24	17
3	140	0.1	5	24	17
4	160	0.1	5	24	17
5	140	0.6	10	24	17
6	160	0.6	10	24	17

Realizado por: PROCEL, Alex 2022

Tabla 9-3 Materiales y equipos para los ensayos de absorción

Materiales	Equipos
Olote de maíz	Filtros
Matraz Erlenmeyer 250 y 500 MI	Cronometro
Vasos de precipitación de 50, 100 y 200 MI	Balanza analítica
Probetas de 100 mL	
Tubos de ensayo	
Varilla de vidrio	
Papel Toalla	

Realizado por: PROCEL, Alex 2022

3.11.5. Procedimientos para las pruebas de absorción de plomo (II) utilizando el olote de maíz como medio filtrante

- a) Se armó el filtro de PVC como lo indica el **Anexo D**
- b) Se colocó una masa de 160 g de olote de maíz con un tamaño de partícula de 0.6 mm activado con hidróxido de sodio y ácido sulfúrico.
- c) Se añadió al filtro 1000 ml de agua sintética con una concentración de 5 mg /L de plomo (II).
- d) El tiempo de remoción de plomo (II) fue de 24 horas, por filtración por gravedad.
- e) Se tomaron muestras de 20 ml de agua sintética cada 6 horas **Anexo F**, del tiempo total que duro el experimento del experimento, para determinar la capacidad de absorción del olote de maíz y el porcentaje de remoción de plomo (II).
- f) Las muestras fueron analizadas en el laboratorio:
 - Métodos de análisis: Absorción atómica
 - Elemento analizado: Plomo
 - Equipo utilizado: Perkin El mer 300
 - Margen de error: +/- 0.03%

Después de finalizar el experimento se determinó la concentración del metal presente en la fase líquida mediante absorción atómica, y a través de un balance de masas se calculó las concentraciones de plomo retenidas por el olote de maíz utilizando la expresión matemática indicada mediante la siguiente ecuación:

$$q_e = \left(\frac{C_i - C_f}{m} \right) * V \text{ Ecuación 4}$$

Dónde:

C_i = Concentración inicial de plomo

C_f = Concentración final de plomo

V = Volumen de solución

m = Masa de olote de maíz

Se calculó el porcentaje de remoción de plomo empleando el olote de maíz al principio y final del experimento utilizando la siguiente ecuación:

$$\%R = \left(\frac{C_i - C_f}{C_i} \right) * 100\% \text{ Ecuación 5}$$

Donde:

C_i Concentración inicial del Cd (II) en la fase acuosa (mg/L).

C_f Concentración final del Cd (II) en el equilibrio en la fase acuosa (mg/L).

$\%R$ Porcentaje de remoción (%)

3.12. Análisis estadístico

Para la comprobación de la hipótesis planteada en la presente investigación se aplicará el análisis de varianza.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el capítulo IV se realizó el análisis y discusión de los resultados obtenidos en la investigación y su comparación con diferentes autores.

4.1. Resultados de concentración final de plomo (II) removido e índice de remoción en las pruebas de absorción utilizando olote de maíz

Es necesario mencionar que se realizaron dos partes en el trabajo experimental la primera se trabajó sin realizar un pretratamiento al olote de maíz y la segunda parte se trabajó con el olote de maíz tratado, de acuerdo con los datos obtenidos para él análisis de resultados y discusión se tomó los datos del experimento con el olote de maíz sin tratar, debido a que los porcentajes de remoción fueron óptimos ver **Anexo I**.

En la Tabla 1-4 podemos observar de forma general los resultados de concentración final de plomo (II) removido utilizando olote de maíz en las 6 pruebas realizadas en el experimento, manejando un mismo volumen de agua residual sintética para todas las pruebas, dos cantidades de biomasa, dos tamaños de partículas de 0.6 mm y 1 mm, con dos concentraciones iniciales de plomo (II) de 5 mg/L y 10 mg/L, cada prueba se realizó en un intervalo de tiempo de 24 horas. Ver **Anexo G**

Tabla 1-4 Tabla general de resultados de concentración final en cada prueba del experimento

Pruebas	Cantidad de biomasa (g)	Volumen (L)	Tamaño de Partícula(mm)	Concentración inicial (mg/L)	Concentración final (mg/L)	Tiempo horas
1	140	1	0.6	5	1.2792	24
2	160	1	0.6	5	1.2615	24
3	140	1	1	5	1.2911	24
4	160	1	1	5	3.0072	24
5	140	1	0.6	10	2.997	24
6	160	1	0.6	10	2.922	24

Realizado por: PROCEL, Alex. 2022

A continuación, se muestran las tablas y gráficos de los resultados obtenidos de concentración final de plomo (II) removido del agua sintética y el índice de remoción final en cada prueba, para lo cual se utilizó la Ecuación 5 y se describe de forma detallada.

Para la prueba 1 se trabajó con los parámetros que nos indica la Tabla 1-4 y se obtuvo los siguientes resultados.

Tabla 2-4 Concentración final de plomo (II) e índice de remoción en la prueba 1

Cantidad de biomasa (g)	Volumen (L)	Tamaño de Partícula(mm)	Concentración inicial (mg/L)	Tiempo horas	Concentración final (mg/L)	Índice de remoción (%)
140	1	0.6	5	0	5	0.00%
140	1	0.6	5	6	3.135	37.30%
140	1	0.6	5	12	2.1925	56.15%
140	1	0.6	5	18	1.73125	65.38%
140	1	0.6	5	24	1.27	74.60%

Realizado por: PROCEL, Alex. 2022

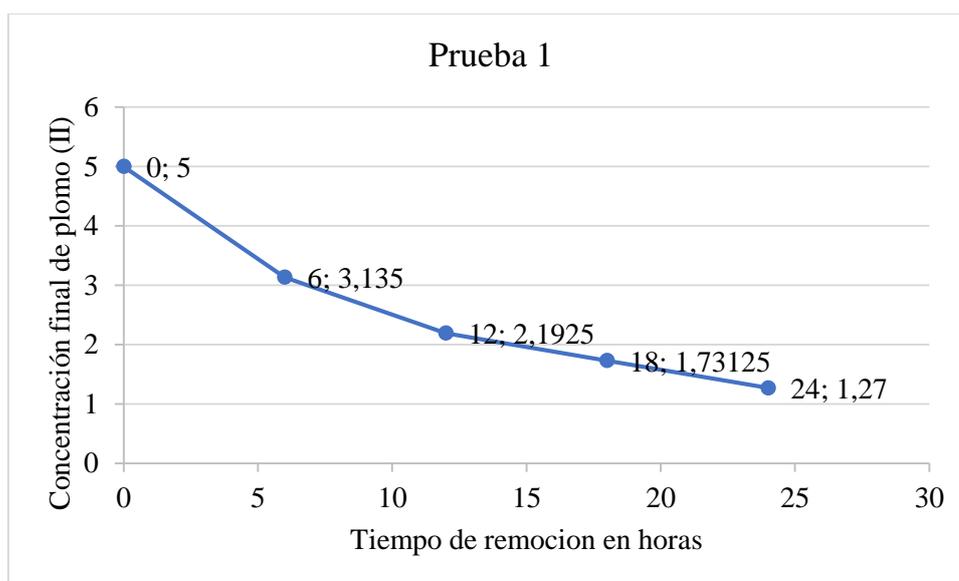


Gráfico 1-4 Concentración final de plomo (II) e índice de remoción en la prueba 1

Realizado por: PROCEL, Alex. 2022

Para la Prueba 1 la Tabla 2-4 nos indica que se trabajó con una cantidad de biomasa de olote de maíz de 140 g, con un tamaño de partícula de 0.6 mm, el experimento inicio con una concentración de plomo (II) de 5 mg/L y pasadas las 24 horas, la concentración final de plomo (II) fue de 1.27 mg/L, es decir, el plomo quedo retenido en las partículas de olote de maíz, es decir, a medida que el tiempo de remoción aumenta el porcentaje de remoción logrando disminuir su concentración inicial en un 74.42%.

En la Prueba 2 se trabajó con los parámetros que se indica en la Tabla 1-4, los resultados se pueden observar en la Tabla 3-4 y Gráfico 2-4.

Tabla 3-4 Concentración final de plomo (II) e índice de remoción en la prueba 2

Cantidad de biomasa (g)	Volumen (L)	Tamaño de Partícula(mm)	Concentración inicial (mg/L)	Tiempo horas	Concentración final (mg/L)	Índice de remoción (%)
140	1	0.6	5	0	5	0.00%
140	1	0.6	5	6	3.13	37.40%
140	1	0.6	5	12	2.195	56.10%
140	1	0.6	5	18	1.73125	65.38%
140	1	0.6	5	24	1.26	74.80%

Realizado por: PROCEL, Alex. 2022

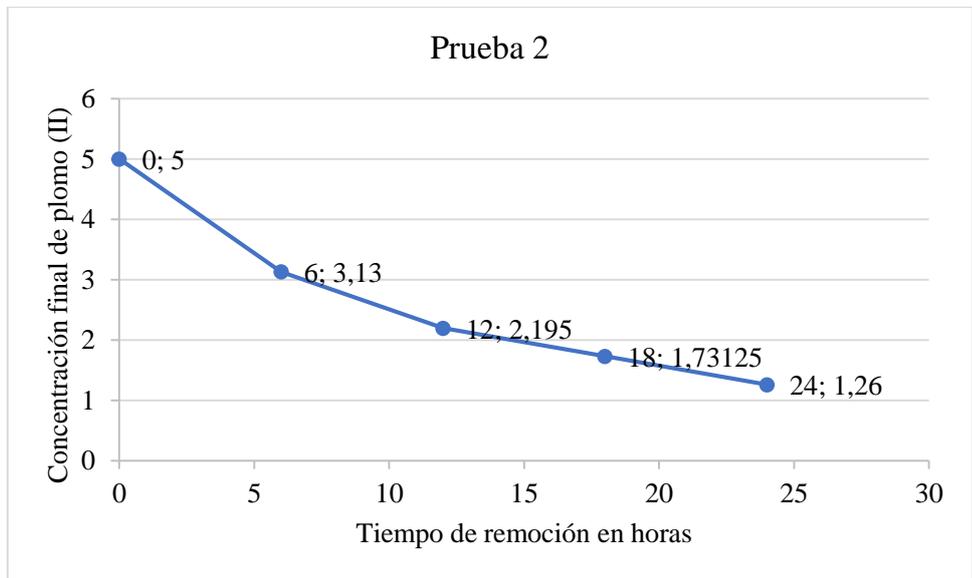


Gráfico 2-4 Concentración final de plomo (II) e índice de remoción en la prueba 2

Realizado por: PROCEL, Alex. 2022

Para la Prueba 2 la Tabla 1-4 nos indica que se trabajó con una cantidad de biomasa de olote de maíz de 160 g, con un tamaño de partícula de 0.6 mm, el experimento inicio con una concentración de plomo (II) de 5 mg/L y pasadas las 24 horas, la concentración final de plomo (II) fue de 1.26 mg/L, es decir, el plomo quedo retenido en las partículas de olote de maíz, disminuyendo su concentración inicial en un 74.77%, los datos se pueden corroborar en el Gráfico 2-4 donde se puede observar claramente la reducción de concentración de plomo (II) en el agua sintética, al obtenerse 1.26 mg/L de concentración final del metal en estudio.

Para la Prueba 3 se trabajó con los parámetros indicados en la Tabla 1-4, los resultados se detallan a continuación:

Tabla 4-4 Concentración final de plomo (II) e índice de remoción en la prueba 3

Cantidad de biomasa (g)	Volumen (L)	Tamaño de Partícula(mm)	Concentración inicial (mg/L)	Tiempo horas	Concentración final (mg/L)	Índice de remoción (%)
140	1	1	5	0	5	0.00%
140	1	1	5	6	3.14555	37.09%
140	1	1	5	12	2.218325	55.63%
140	1	1	5	18	1.7547125	64.91%
140	1	1	5	24	1.2911	74.18%

Realizado por: PROCEL, Alex. 2022

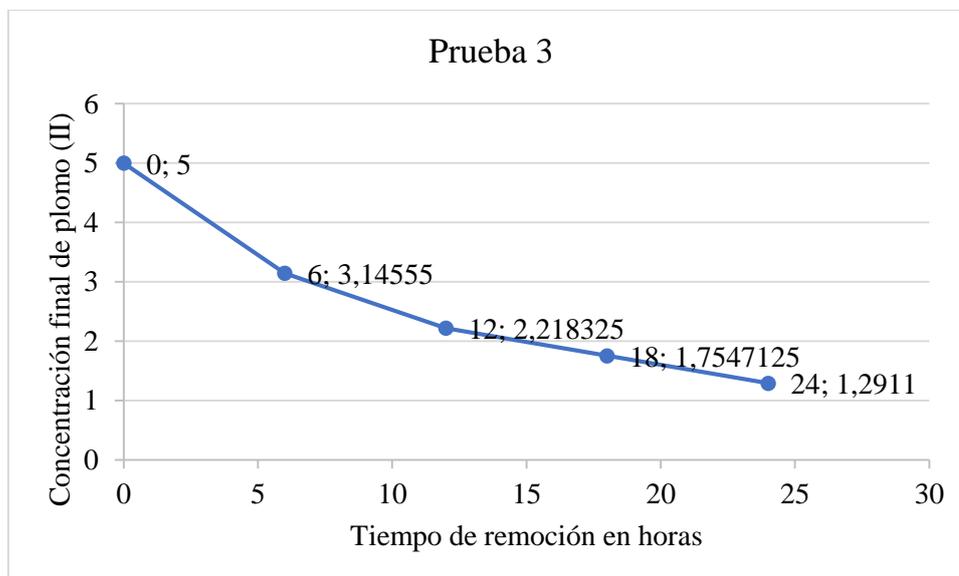


Gráfico 3-4 Concentración final de plomo (II) e índice de remoción en la prueba 3

Realizado por: PROCEL, Alex. 2022

En la Tabla 4-4 y Gráfico 3-4 podemos observar los resultados obtenidos a partir del experimento, nos indica que se trabajó con una cantidad de biomasa de olote de maíz de 140 g, con un tamaño de partícula de 1 mm, el experimento inicio con una concentración de plomo (II) de 5 mg/L y pasadas las 24 horas, la concentración final de plomo (II) fue de 1.29 mg/L, es decir, el plomo quedo retenido en las partículas de olote de maíz, disminuyendo su concentración inicial en un 74.18%, demostrando una vez que el material utilizado para remoción del metal en estudio ha dado resultados positivos.

Para la prueba 4 se utilizaron los parámetros señalados en la tabla 1-4:

Tabla 5-4 Concentración final de plomo (II) e índice de remoción en la prueba 4

Cantidad de biomasa (g)	Volumen (L)	Tamaño de Partícula(mm)	Concentración inicial (mg/L)	Tiempo horas	Concentración final (mg/L)	Índice de remoción (%)
160	1	1	5	0	5	0.00%
160	1	1	5	6	4.0036	19.93%
160	1	1	5	12	3.5054	29.89%
160	1	1	5	18	3.2563	34.87%
160	1	1	5	24	3.0072	39.86%

Realizado por: PROCEL, Alex. 2022

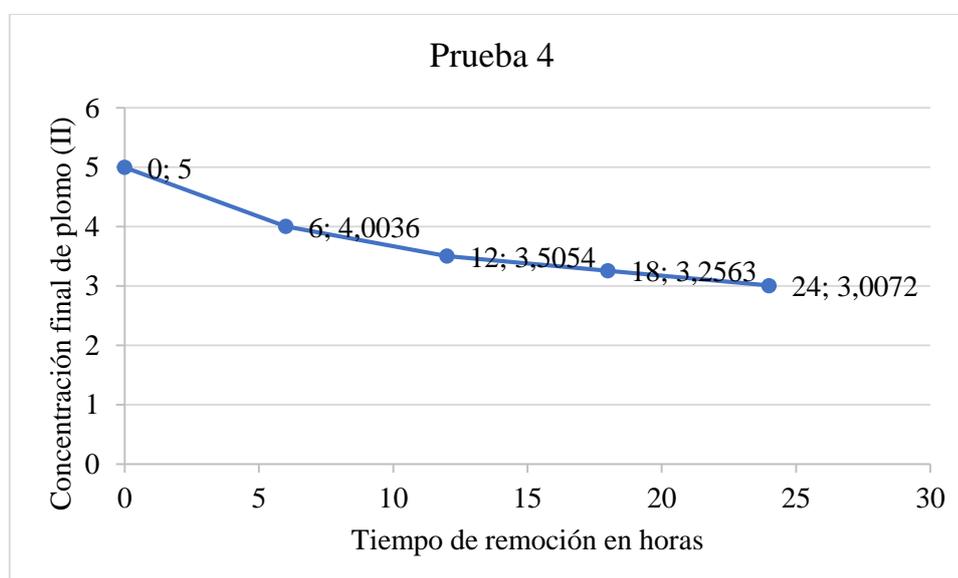


Gráfico 4-4 Concentración final de plomo (II) e índice de remoción en la prueba 4

Realizado por: PROCEL, Alex. 2022

En la Tabla 5-4 y Gráfico 4-4 podemos observar que se trabajó con una cantidad de biomasa de olote de maíz de 160 g, con un tamaño de partícula de 1 mm, el experimento inicio con una concentración de plomo (II) de 5 mg/L y pasadas las 24 horas, la concentración final de plomo (II) fue de 3.007 mg/L, es decir, el plomo quedo retenido en las partículas de olote de maíz, disminuyendo su concentración inicial en un 39.86%, es decir, en esta prueba el porcentaje de remoción fue menor en comparación a todas las pruebas realizadas, debiéndose a la influencia del tamaño de partícula utilizado.

En la Tabla 6-4 y Gráfico 5-4 podemos observar los resultados obtenidos en la Prueba 5 del experimento.

Tabla 6-4 Concentración final de plomo (II) e índice de remoción en la prueba 5

Cantidad de biomasa (g)	Volumen (L)	Tamaño de Partícula(mm)	Concentración inicial (mg/L)	Tiempo horas	Concentración final (mg/L)	Índice de remoción (%)
140	1	0.6	10	0	10	0.00%
140	1	0.6	10	6	6.4985	35.02%
140	1	0.6	10	12	4.74775	52.52%
140	1	0.6	10	18	3.872375	61.28%
140	1	0.6	10	24	2.997	70.03%

Realizado por: PROCEL, Alex. 2022

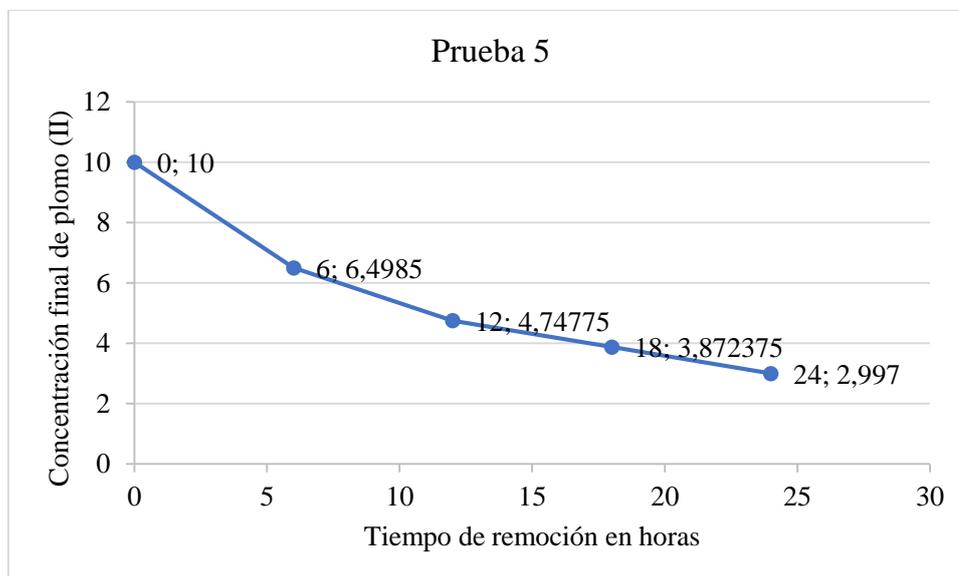


Gráfico 5-4 Concentración final de plomo (II) e índice de remoción en la prueba 5

Realizado por: PROCEL, Alex. 2022

En la Tabla 6-4 y Grafico 5-4 podemos ver que se trabajó con una cantidad de biomasa de olote de maíz de 140 g, con un tamaño de partícula de 0.6 mm, el experimento inicio con una concentración de plomo (II) de 10 mg/L y pasadas las 24 horas, la concentración final de plomo (II) fue de 2.99 mg/L, es decir, el plomo quedo retenido en las partículas de olote de maíz, alcanzando un porcentaje de remoción de 70.3%.

Para la prueba 6 de la misa forma que en las pruebas anteriores se trabajó con los parámetros indicados en la Tabla 7-4:

Tabla 7-4 Concentración final de plomo (II) e índice de remoción en la prueba 6

Cantidad de biomasa (g)	Volumen (L)	Tamaño de Partícula(mm)	Concentración inicial (mg/L)	Tiempo horas	Concentración final (mg/L)	Índice de remoción (%)
160	1	0.6	10	0	10	0.00%
160	1	0.6	10	6	6.461	35.39%
160	1	0.6	10	12	4.6915	53.09%
160	1	0.6	10	18	3.80675	61.93%
160	1	0.6	10	24	2.922	70.78%

Realizado por: PROCEL, Alex. 2022

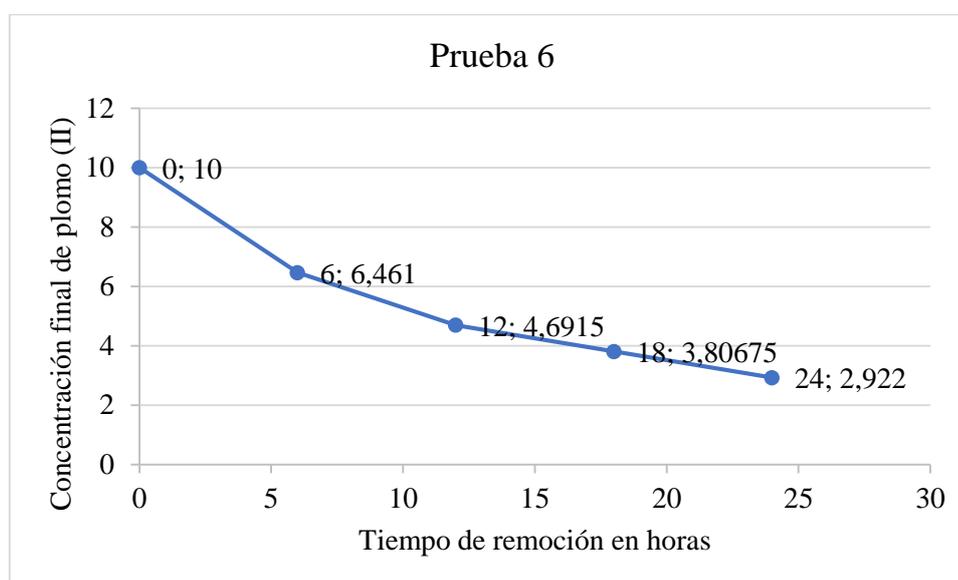


Gráfico 6-4 Concentración final de plomo (II) e índice de remoción en la prueba 6

Realizado por: PROCEL, Alex. 2022

Los resultados obtenidos en la prueba 6 podemos observar en la Tabla 7-4 y Gráfico 6-4, estos nos indican que se trabajó con una cantidad de biomasa de olote de maíz de 160 g, con un tamaño de partícula de 0.6 mm, el experimento inicio con una concentración de plomo (II) de 10 mg/L y pasadas las 24 horas, la concentración final de plomo (II) fue de 2.92 mg/L, es decir, el plomo quedo retenido en las partículas de olote de maíz, alcanzando un porcentaje de remoción del 70.78%.

En cada prueba se observó que existió remoción de plomo (II) de las aguas residuales sintéticas utilizadas en la investigación, utilizando partículas de olote de maíz como absorbente. Además, podemos afirmar en base a los resultados de la investigación que en la Prueba 2 se alcanzó el mayor índice de remoción un 74.77% utilizando los parámetros indicados en la Tabla 1-4 y el porcentaje de remoción más bajo se obtuvo en la Prueba 4, notándose que el tamaño de partícula

de olote de maíz utilizados para la experimentación influye en la retención del metal de estudio, los autores (Tejada Tovar, Villabona Ortiz, & Garcés Jaraba, 2014) en su artículo “Adsorption of heavy metals in waste water using biological materials” enfatiza que la absorción ocurre dentro de las partículas, en ciertos puntos de las paredes de los poros, debido al efecto del tamaño de las partículas. La cantidad de adsorbato adsorbido es directamente proporcional al volumen y es conocido que el volumen utilizado es directamente proporcional a la superficie externa y que una partícula más pequeña tiene una mayor superficie de adsorción, esta referencia se confirma en nuestro estudio en la prueba 4.

El objetivo del trabajo de investigación fue lograr un porcentaje de remoción del 99% de metal plomo (II) y se logró $\%R = 74.77\%$, por ende, el valor de plomo (II) removido en las aguas sintéticas preparadas en el Laboratorio, estas se sitúan por encima de los criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuario establecidos en el Anexo 1 del Libro VI del TULSMA, sin embargo, consideramos como un buen resultado para continuar como punto de partida para futuras investigaciones en este ámbito.

4.2. Resultados de la capacidad de absorción del olote de maíz en cada prueba

En la Tabla 8-4 se muestran los resultados obtenidos de la capacidad de adsorción en cada prueba realizada.

Tabla 8-4 Capacidad de adsorción

Pruebas	Cantidad de biomasa (g)	Tamaño de Partícula(mm)	Concentración inicial (mg/L)	Tiempo horas	Concentración final (mg/L)	$X = C_i - C_e$	$q = x/m$
Prueba 1	140.00	1	5.00	24.00	1.29	3.71	26.49
Prueba 2	140.00	0.60	5.00	24.00	1.26	3.74	26.71
Prueba 3	140.00	1	5.00	24.00	1.29	3.71	26.49
Prueba 4	160.00	1	5.00	24.00	3.01	1.99	12.46
Prueba 5	140.00	0.60	10.00	24.00	3.00	7.00	50.02
Prueba 6	160.00	0.60	10.00	24.00	2.92	7.08	44.24

Realizado por: PROCEL, Alex. 2022

En la Tabla 8-4 podemos observar los resultados de capacidad de adsorción para cada una de las pruebas realizadas en la investigación en la prueba 1, se evidencia que la capacidad de adsorción lograda fue de 26.64 mg/g. En la prueba 2, se puede observar que fue 26.71 mg/g. En la prueba

3, $q_e = 26.49$ mg/g. En la prueba 4, $q_e = 12.46$ mg/g. En la prueba 5, $q_e = 50.02$ mg/g. En la prueba 6, $q_e = 44.24$ mg/g, cada prueba se realizó en un periodo de tiempo de 24 horas.

4.3. Modelos teóricos de equilibrio de adsorción

Para realizar el estudio de las isothermas de adsorción de plomo (II) empleando el olote de maíz modificado hidróxido de sodio y ácido sulfúrico se realizó 6 pruebas considerando las siguientes condiciones: dosis de adsorbente (5 mg/L y 10 mg/L), volumen de solución (1 L), temperatura 25 °C, tiempos de contacto (6, 12, 18, y 24 horas).

Para modelar los procesos de adsorción se deben cuantificar, esto mediante la aplicación de los modelos matemáticos de: Langmuir y Freundlich, nos permiten, además, obtener parámetros de adsorción.

A continuación, presentamos la correlación de los datos obtenidos en el trabajo experimental con los modelos linealizados, que nos dejaron valorar el grado de ajuste a uno u otro modelo, gracias a la regresión lineal.

4.3.1. Isotherma de Langmuir

Dada la explicación en el Ítem 2.2.13 se hacen las siguientes suposiciones:

- La superficie donde se realiza la adsorción será homogénea,
- Al alcanzar la saturación se formará una monocapa de adsorbato
- La energía de adsorción será constante y
- Las moléculas que sean adsorbidas estarán inmóviles.

Con estos criterios se puede determinar la capacidad máxima de adsorción en (mg./g) y (L.mg⁻¹) que está relacionada con la energía de adsorción y de forma cuantitativamente refleja la afinidad entre el adsorbente y el adsorbato. Por lo tanto, un valor elevado de q_e describe una afinidad mayor.

Dentro del estudio de las isothermas de Langmuir, se trabajó con la Ecuación 1, obteniendo los valores de capacidad de adsorción del adsorbato retenido en el equilibrio (mg.g⁻¹) y la concentración del adsorbato en el equilibrio (mg.L⁻¹).

Prueba 1

Tabla 9-4 Descripción de la cinética de adsorción a través del modelo de Langmuir- prueba 1

Cantidad de biomasa (g)	Concentración final (mg/L)	Índice de remoción (%)	X= Ci -Ce	q=x/m	Ce	Ce/q
140	5	0.00%	0	0	5	-
140	3.135	37.30%	1.865	13.3214286	3.135	0.23533512
140	2.1925	56.15%	2.8075	20.0535714	2.1925	0.10933215
140	1.73125	65.38%	3.26875	23.3482143	1.73125	0.07414914
140	1.27	74.60%	3.73	26.6428571	1.27	0.04766756

Realizado por: PROCEL, Alex. 2022

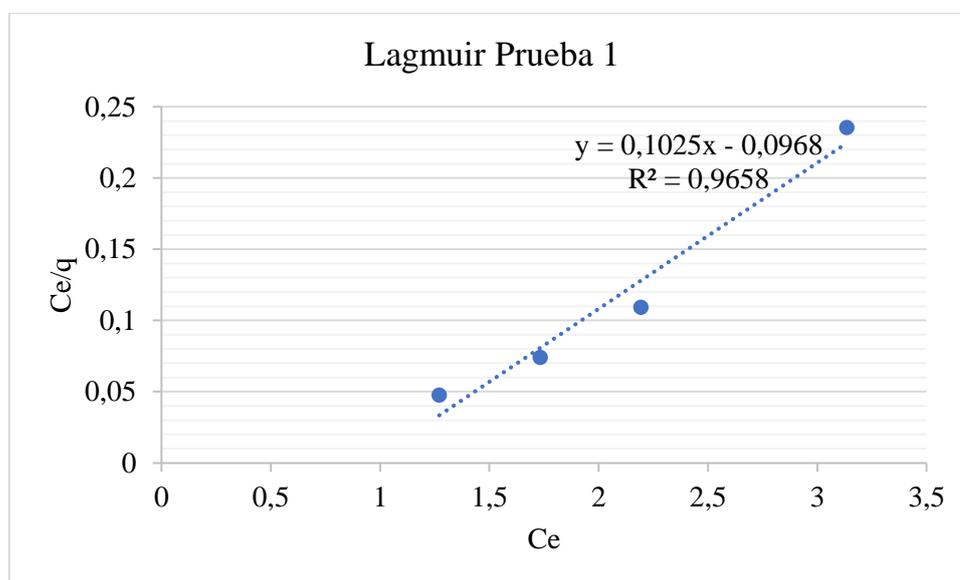


Gráfico 7-4 Constante de Langmuir en la prueba 1

Realizado por: PROCEL, Alex. 2022

La conducta del proceso de adsorción, de acuerdo con el modelo linealizado de la isoterma de Langmuir podemos observar en el Gráfico 7-4 se obtienen las constantes de adsorción y un coeficiente de correlación de 0.9658 para la prueba 1.

Prueba 2

Tabla 10-4 Descripción de la cinética de adsorción a través del modelo de Langmuir- prueba 2

Cantidad de biomasa (g)	Concentración final (mg/L)	Índice de remoción (%)	X= Ci -Ce	q=x/m	Ce	Ce/q
-------------------------	----------------------------	------------------------	-----------	-------	----	------

140	5	0.00%	0	0	5	-
140	3.13	37.40%	1.87	13.3571429	3.13	0.23433155
140	2.195	56.10%	2.805	20.0357143	2.195	0.10955437
140	1.73125	65.38%	3.26875	23.3482143	1.73125	0.07414914
140	1.26	74.80%	3.74	26.7142857	1.26	0.04716578

Realizado por: PROCEL, Alex. 2022

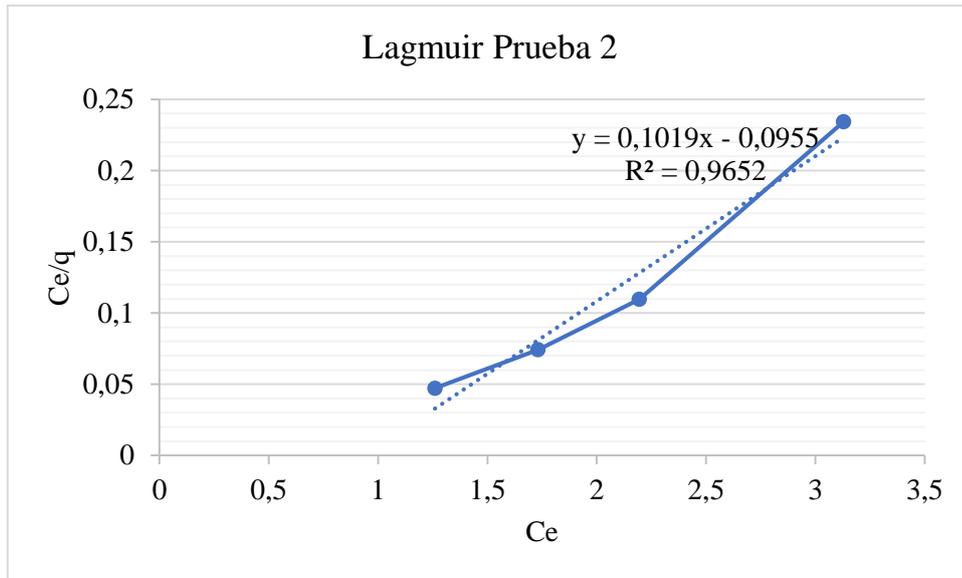


Gráfico 8-4 Constante de Langmuir en la prueba 2

Realizado por: PROCEL, Alex. 2022

La conducta del proceso de adsorción, de acuerdo con el modelo linealizado de la isoterma de Langmuir podemos observar en el Gráfico 8-4 se obtienen las constantes de adsorción y un coeficiente de correlación de 0.9652 para la prueba 2.

Prueba 3

Tabla 11-4 Descripción de la cinética de adsorción a través del modelo de Langmuir- prueba 3

Cantidad de biomasa (g)	Concentración final (mg/L)	Índice de remoción (%)	X= Ci -Ce	q=x/m	Ce	Ce/q
140	5	0.00%	0	0	5	-
140	3.14555	37.09%	1.85445	13.2460714	3.14555	0.23747041
140	2.218325	55.63%	2.781675	19.8691071	2.218325	0.11164694
140	1.7547125	64.91%	3.2452875	23.180625	1.7547125	0.07569738
140	1.2911	74.18%	3.7089	26.4921429	1.2911	0.0487352

Realizado por: PROCEL, Alex. 2022

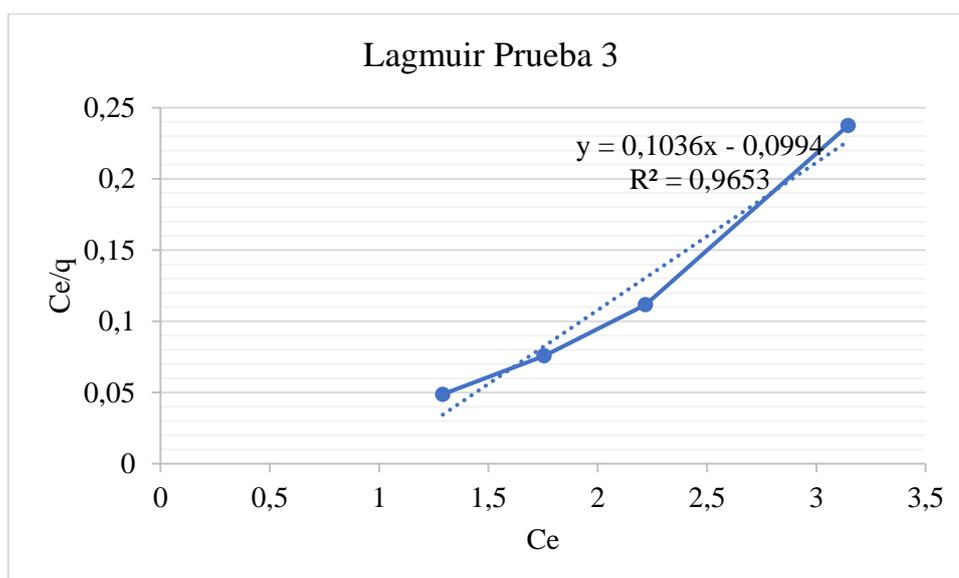


Gráfico 1-4 Constante de Langmuir en la prueba 3

Realizado por: PROCEL, Alex. 2022

La conducta del proceso de adsorción, de acuerdo con el modelo linealizado de la isoterma de Langmuir podemos observar en el Gráfico 9-4 se obtienen las constantes de adsorción y un coeficiente de correlación de 0.9653 para la prueba 3.

Prueba 4

Tabla 12-4 Descripción de la cinética de adsorción a través del modelo de Langmuir- prueba 4

Cantidad de biomasa (g)	Concentración final (mg/L)	Índice de remoción (%)	X= Ci -Ce	q=x/m	Ce	Ce/q
160	5	0.00%	0	0	5	-
160	4.0036	19.93%	0.9964	6.2275	4.0036	0.64289041
160	3.5054	29.89%	1.4946	9.34125	3.5054	0.37526027
160	3.2563	34.87%	1.7437	10.898125	3.2563	0.29879452
160	3.0072	39.86%	1.9928	12.455	3.0072	0.2414452

Realizado por: PROCEL, Alex. 2022

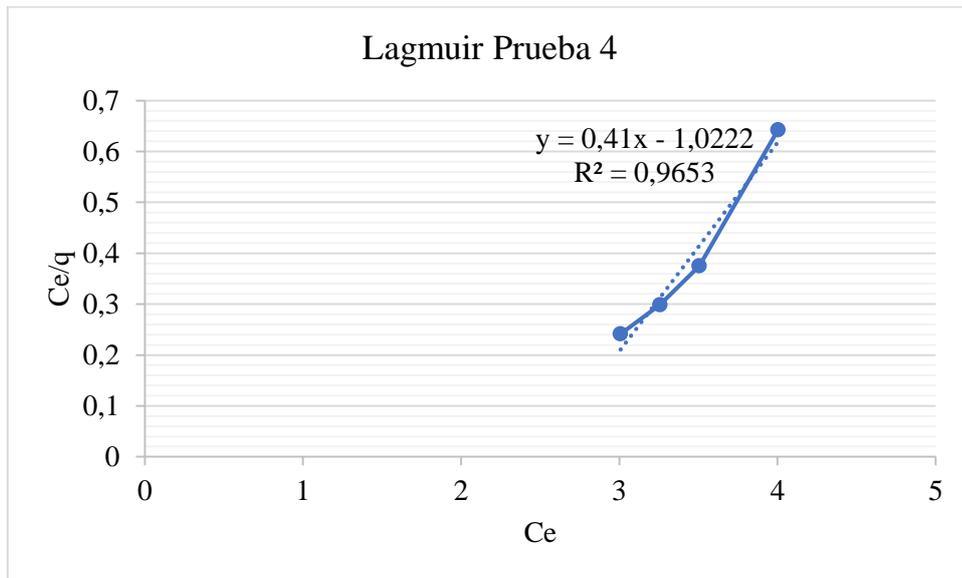


Gráfico 10-4 Constante de Langmuir en la prueba 4

Realizado por: PROCEL, Alex. 2022

La conducta del proceso de adsorción, de acuerdo con el modelo linealizado de la isoterma de Langmuir podemos observar en el Gráfico 10-4 se obtienen las constantes de adsorción y un coeficiente de correlación de 0.9653 para la prueba 4.

Prueba 5

Tabla 13-4 Descripción de la cinética de adsorción a través del modelo de Langmuir- prueba 5

Cantidad de biomasa (g)	Concentración final (mg/L)	Índice de remoción (%)	X= Ci -Ce	q=x/m	Ce	Ce/q
140	10	0.00%	0	0	10	-
140	6.4985	35.02%	3.5015	25.0107143	6.4985	0.25982864
140	4.74775	52.52%	5.25225	37.5160714	4.74775	0.12655243
140	3.872375	61.28%	6.127625	43.76875	3.872375	0.08847351
140	2.997	70.03%	7.003	50.0214286	2.997	0.05991432

Realizado por: PROCEL, Alex. 2022

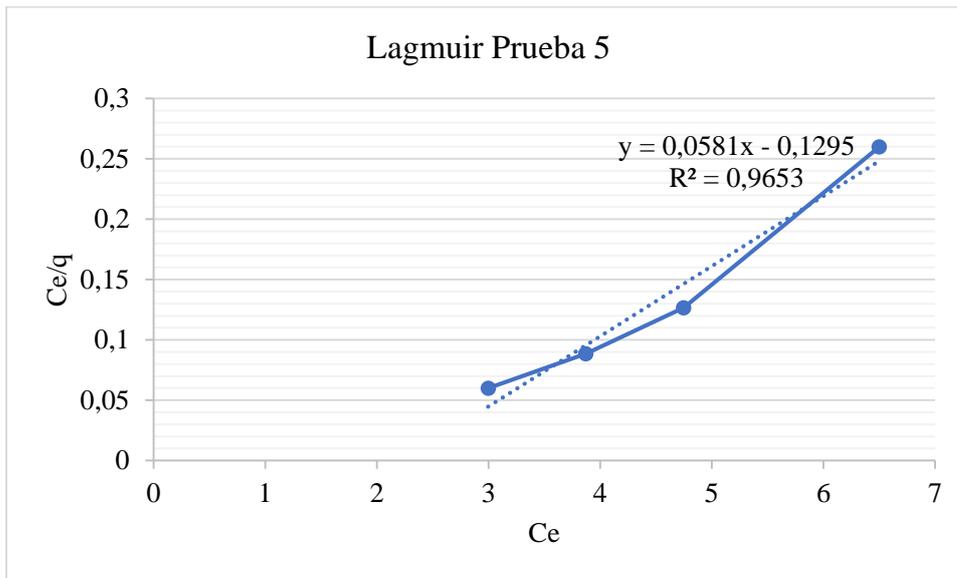


Gráfico 11-4 Constante de Langmuir en la prueba 5

Realizado por: PROCEL, Alex. 2022

La conducta del proceso de adsorción, de acuerdo con el modelo linealizado de la isoterma de Langmuir podemos observar en el Gráfico 11-4 se obtienen las constantes de adsorción y un coeficiente de correlación de 0.9658 para la prueba 5.

Prueba 6

Tabla 14-4 Descripción de la cinética de adsorción a través del modelo de Langmuir- prueba 6

Cantidad de biomasa (g)	Concentración final (mg/L)	Índice de remoción (%)	X= Ci -Ce	q=x/m	Ce	Ce/q
160	10	0.00%	0	0	10	-
160	6.461	35.39%	3.539	22.11875	6.461	0.29210511
160	4.6915	53.09%	5.3085	33.178125	4.6915	0.14140341
160	3.80675	61.93%	6.19325	38.7078125	3.80675	0.09834578
160	2.922	70.78%	7.078	44.2375	2.922	0.06605256

Realizado por: PROCEL, Alex. 2022

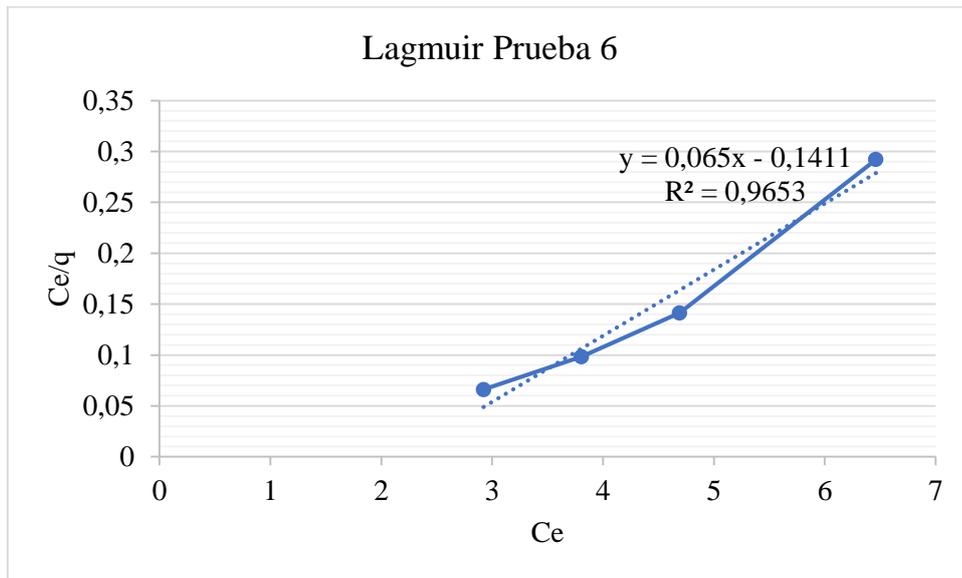


Gráfico 12-4 Constante de Langmuir en la prueba 6

Realizado por: PROCEL, Alex. 2022

La conducta del proceso de adsorción, de acuerdo con el modelo linealizado de la isoterma de Langmuir podemos observar en el Gráfico 12-4 se obtienen las constantes de adsorción y un coeficiente de correlación de 0.9653 para la prueba 6.

4.3.2. *Isotermas de Freundlich*

Es de tipo empírico con dos parámetros moldeables que no indican una capacidad de eliminación finita. Por lo tanto, se determina que k_F es la constante de equilibrio de Freundlich y n es la constante de afinidad entre el adsorbato y el adsorbente, de manera que si $n > 1$, la tendencia a la adsorción es elevada a concentraciones bajas de soluto en la disolución.

Para obtener los valores de la isoterma de Freundlich se trabajó con la Ecuación 3, calculando los valores de q_e (mg/g) y C_e (mg/L).

Prueba 1

Tabla 15-4 Descripción de la cinética de adsorción a través del modelo de Freundlich Prueba 1

Cantidad de biomasa (g)	Concentración final (mg/L)	$X = C_i - C_e$	$q = x/m$	Log C	Log C_e
140	5	0	0	0.69897	-
140	3.135	1.865	13.3214286	0.49623755	-0.62831326

140	2.1925	2.8075	20.0535714	0.3409396	-0.96125213
140	1.73125	3.26875	23.3482143	0.23835979	-1.12989388
140	1.27	3.73	26.6428571	0.10380372	-1.32177708

Realizado por: PROCEL, Alex. 2022

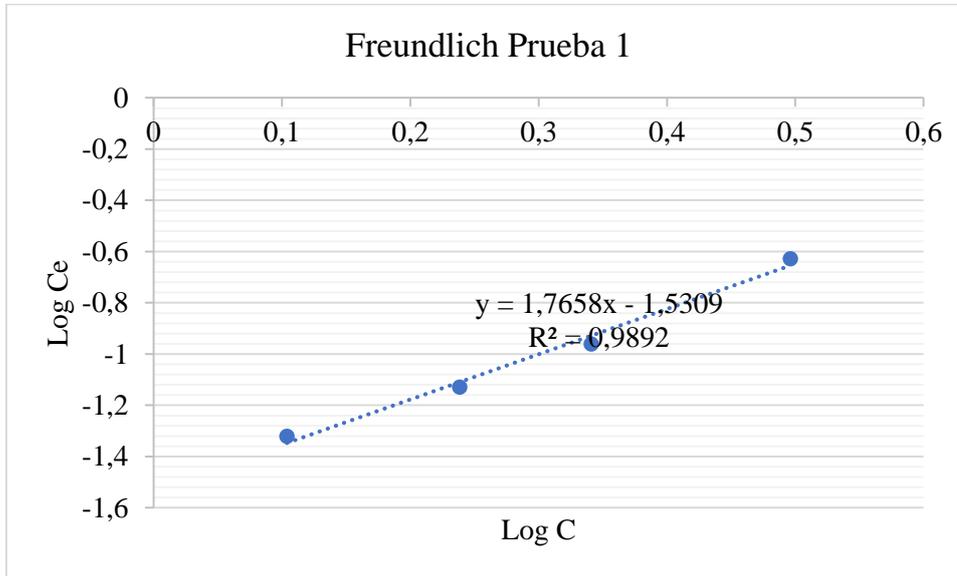


Gráfico 13-4 Isoterma de Freundlich Prueba 1

Realizado por: PROCEL, Alex. 2022

La conducta de adsorción, de acuerdo con, el modelo linealizado de la isoterma de Freundlich podemos evidenciarlo en el Gráfico 13-4, con un coeficiente de correlación de 0.9892 para la prueba 1.

Prueba 2

Tabla 16-4 Descripción de la cinética de adsorción a través del modelo de Freundlich Prueba 2

Cantidad de biomasa (g)	Concentración final (mg/L)	X= Ci -Ce	q=x/m	Log C	Log Ce
140	5	0	0	0.69897	-
140	3.13	1.87	13.3571429	0.49554434	-0.63016923
140	2.195	2.805	20.0357143	0.34143452	-0.96037031
140	1.73125	3.26875	23.3482143	0.23835979	-1.12989388
140	1.26	3.74	26.7142857	0.10037055	-1.32637302

Realizado por: PROCEL, Alex. 2022

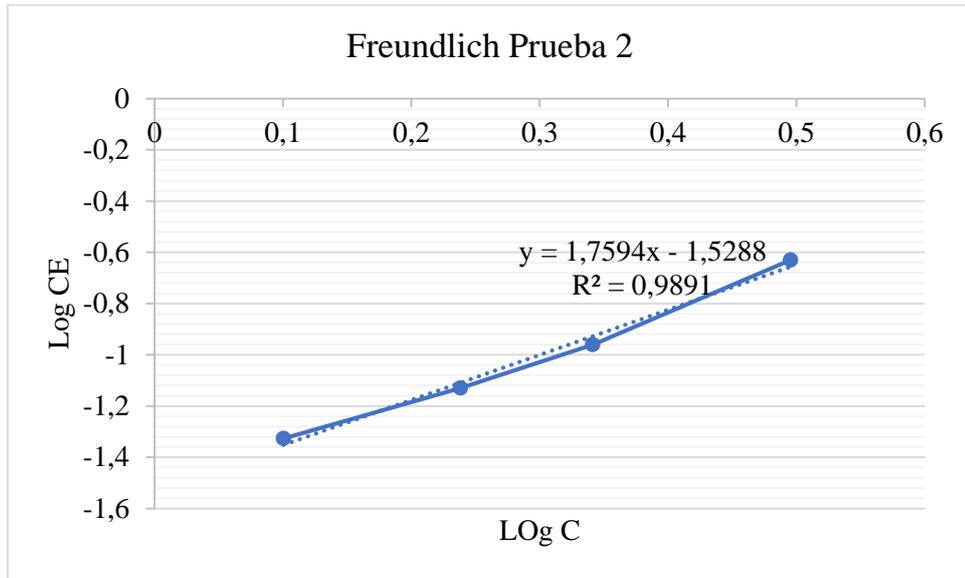


Gráfico 14-4 Isoterma de Freundlich Prueba 2

Realizado por: PROCEL, Alex. 2022

La conducta de adsorción, de acuerdo con, el modelo linealizado de la isoterma de Freundlich podemos evidenciarlo en el Gráfico 14-4, con un coeficiente de correlación de 0.9891 para la prueba 2.

Prueba 3

Tabla 17-4 Descripción de la cinética de adsorción a través del modelo de Freundlich Prueba 3

Cantidad de biomasa (g)	Concentración final (mg/L)	X= Ci -Ce	q=x/m	Log C	Log Ce
140	5	0	0	0.69897	-
140	3.14555	1.85445	13.2460714	0.49769659	-0.6243905
140	2.218325	2.781675	19.8691071	0.34602517	-0.95215318
140	1.7547125	3.2452875	23.180625	0.24420597	-1.12091917
140	1.2911	3.7089	26.4921429	0.11095988	-1.31215721

Realizado por: PROCEL, Alex. 2022

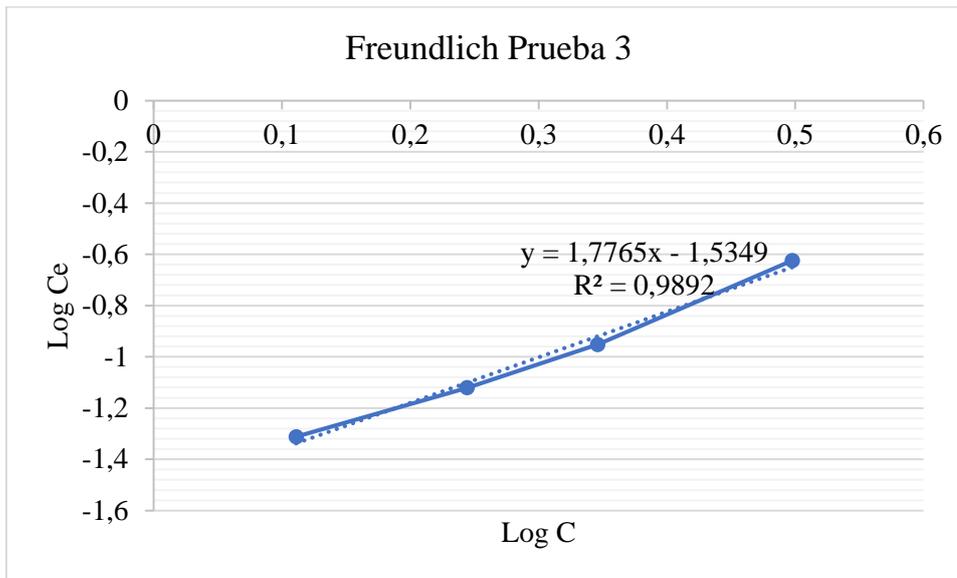


Gráfico 15-4 Isoterma de Freundlich Prueba 3

Realizado por: PROCEL, Alex. 2022

La conducta de adsorción, de acuerdo con, el modelo linealizado de la isoterma de Freundlich podemos evidenciarlo en el Gráfico 15-4, con un coeficiente de correlación de 0.9892 para la prueba 3.

Prueba 4

Tabla 18-4 Descripción de la cinética de adsorción a través del modelo de Freundlich Prueba 4

Cantidad de biomasa (g)	Concentración final (mg/L)	X= Ci -Ce	q=x/m	Log C	Log Ce
160	5	0	0	0.69897	-
160	4.0036	0.9964	6.2275	0.60245068	-0.19186306
160	3.5054	1.4946	9.34125	0.54473758	-0.42566741
160	3.2563	1.7437	10.898125	0.51272441	-0.52462738
160	3.0072	1.9928	12.455	0.47816231	-0.61718142

Realizado por: PROCEL, Alex. 2022

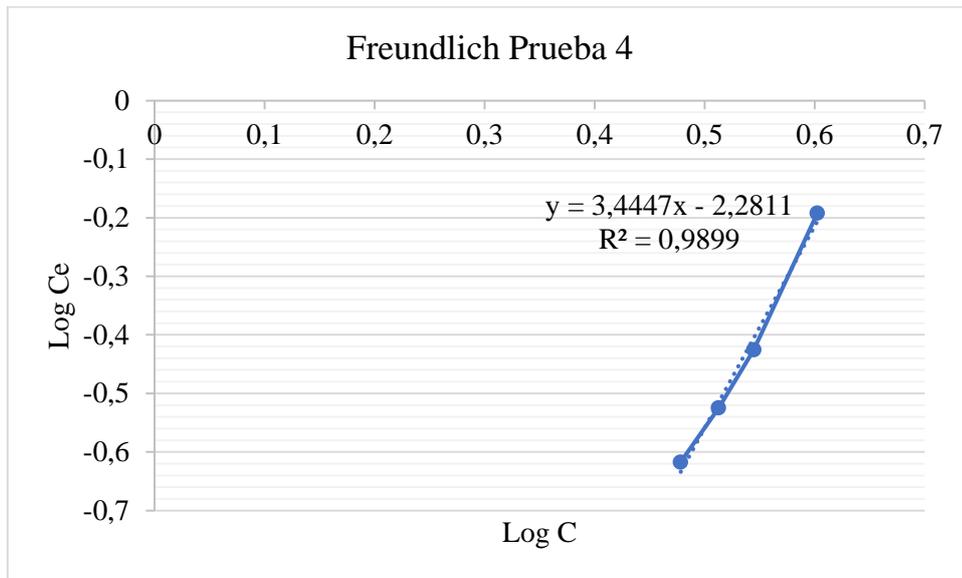


Gráfico 16-4 Isoterma de Freundlich Prueba 4

Realizado por: PROCEL, Alex. 2022

La conducta de adsorción, de acuerdo con, el modelo linealizado de la isoterma de Freundlich podemos evidenciarlo en el Gráfico 16-4, con un coeficiente de correlación de 0.9899 para la prueba 4.

Prueba 5

Tabla 19-4 Descripción de la cinética de adsorción a través del modelo de Freundlich Prueba 5

Cantidad de biomasa (g)	Concentración final (mg/L)	X= Ci -Ce	q=x/m	Log C	Log Ce
140	10	0	0	1	-
140	6.4985	3.5015	25.0107143	0.81281312	-0.58531297
140	4.74775	5.25225	37.5160714	0.67648784	-0.89772951
140	3.872375	6.127625	43.76875	0.58797741	-1.05318674
140	2.997	7.003	50.0214286	0.47668674	-1.22246935

Realizado por: PROCEL, Alex. 2022

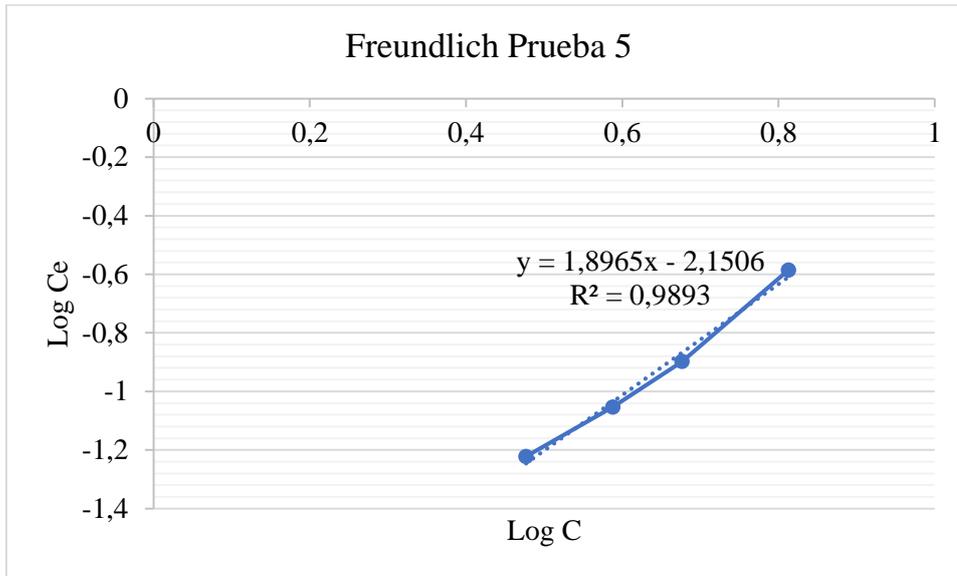


Gráfico 17-4 Isoterma de Freundlich Prueba 5

Realizado por: PROCEL, Alex. 2022

La conducta de adsorción, de acuerdo con, el modelo linealizado de la isoterma de Freundlich podemos evidenciarlo en el Gráfico 17-4, con un coeficiente de correlación de 0.9893 para la prueba 5.

Prueba 6

Tabla 20-4 Descripción de la cinética de adsorción a través del modelo de Freundlich Prueba 6

Cantidad de biomasa (g)	Concentración final (mg/L)	X= Ci -Ce	q=x/m	Log C	Log Ce
160	10	0	0	1	-
160	6.461	3.539	22.11875	0.81029974	-0.53446084
160	4.6915	5.3085	33.178125	0.67131172	-0.84954012
160	3.80675	6.19325	38.7078125	0.58055436	-1.00724427
160	2.922	7.078	44.2375	0.46568021	-1.18011036

Realizado por: PROCEL, Alex. 2022

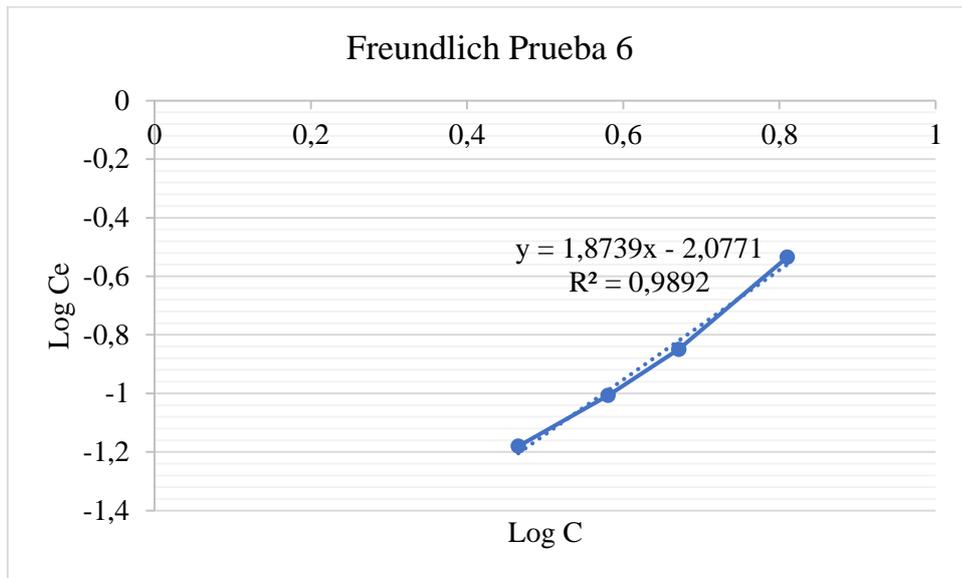


Gráfico 18-4 Isoterma de Freundlich Prueba 6

Realizado por: PROCEL, Alex. 2022

La conducta de adsorción, de acuerdo con, el modelo linealizado de la isoterma de Freundlich podemos evidenciarlo en el Gráfico 18-4, con un coeficiente de correlación de 0.9892 para la prueba 6.

Tabla 21-4 Parámetros cinéticos de las isotermas de adsorción de Langmuir y Freundlich en las pruebas para plomo (II)

Metal	Pruebas	Langmuir			Freundlich		
		R_L	qm(mg/g)	r^2	kf	n	r^2
Pb (II)	Prueba 1	0.0200	26.6428571	0.9658	0.3395	1.7658	0.9892
	Prueba 2	0.0199	26.7142857	0.9652	0.3379	0.5683	0.9891
	Prueba 3	0.202	26.4921429	0.9653	0.3426	1.7565	0.9892
	Prueba 4	0.0757	12.455	0.9653	1.9102	0.2903	0.9899
	Prueba 5	0.0057	50.0214286	0.9653	1.4144	0.5272	0.9893
	Prueba 6	0.0064	44.2375	0.9653	1.1942	0.5336	0.9892

Realizado por: PROCEL, Alex. 2022

En la Tabla 21-4 Podemos observar el resumen de los parámetros para los modelos de Langmuir y Freundlich que se obtuvieron al realizar el procesamiento de datos utilizando el programa Excel. El coeficiente de correlación lineal obtenido del ajuste al modelo de Freundlich es mayor al que

se obtuvo cuando se hizo el ajuste al modelo de Langmuir. Este valor confirmó la alta afinidad que existe entre el olote de maíz con pre-tratamiento y el plomo (II) en la monocapa. La capacidad máxima de adsorción obtenida en la investigación fue $q_e=50.02$ mg/g.

Los datos experimentales obtenidos en la adsorción fueron de gran importancia, ya que gracias a estos se logró realizar la evaluación de las soluciones acuosas luego de hacer el proceso de absorción, por lo tanto, los resultados obtenidos del estudio de las isothermas de adsorción indicaron la afinidad existente entre el adsorbato y adsorbente. El modelo podría usarse para la predicción de absorción de plomo (II) con olote de maíz pretratado hidróxido de sodio y ácido sulfúrico

Nuestros resultados son comparables con el estudio realizado por: (García, y otros, 2015) “Efecto del tamaño de partícula en la adsorción de plomo (II) utilizando olote de maíz”, que tiene como resultados los valores de $R^2=0.987$ y su $q_e=3.83$ mg/g para la isoterma de Freundlich, por lo tanto, estos resultados muestran la mayor afinidad que se presenta en la monocapa del olote de maíz por el plomo (II).

En la investigación realizada por (Barceló, y otros, 2016) denominada “Bioadsorción de Pb (II) utilizando bagazo de coco y olote de maíz del municipio de Zacualpan de Amilpas, Morelos” concluyen que es factible el uso de olote de maíz para la remoción de Pb (II) debido a que no se requiere tratamientos químicos, son procesos muy rápidos y los desechos de estos materiales adsorbentes son de fácil adquisición, tal como lo hemos notado en nuestra investigación.

4.4. Comprobación de la hipótesis

El olote de maíz como adsorbente disminuirá la concentración de plomo (II), presente en el agua residual sintética.

Variable independiente

- Tamaño de partícula de olote de maíz
- Tiempo de remoción de plomo (II)

Variable dependiente

- Concentración final de plomo (II)
- Porcentaje de remoción de plomo (II)

Análisis factorial

Tabla 22-4 Matriz de correlación de variables

Matriz de correlaciones					
		Tamaño partícula	Tiempo remoción	Concentración final	Porcentaje remoción
Correlación	Tamaño partícula	1.000	.087	.019	-.587
	Tiempo remoción	.087	1.000	.853	-.291
	Concentración final	.019	.853	1.000	-.588
	Porcentaje remoción	-.587	-.291	-.588	1.000
Sig. (unilateral)	Tamaño partícula		.435	.486	.110
	Tiempo remoción	.435		.016	.288
	Concentración final	.486	.016		.110
	Porcentaje remoción	.110	.288	.110	

Realizado por: PROCEL, Alex. 2022

En la Tabla 22-4 se puede observar la correlación de variables, esta tabla nos indica que la variable tiempo de remoción y la variable concentración final tienen una fuerte correlación 0.853, esto nos quiere decir que, estas variables son inversamente proporcionales es decir a mayor tiempo de remoción menor será la concentración final.

Tabla 23-4 Prueba de KMO y Bartlett

Prueba de KMO y Bartlett		
Medida Kaiser-Meyer-Olkin de adecuación de muestreo		.243
Prueba de esfericidad de Bartlett	Aprox. Chi-cuadrado	10.672
	gl	6
	Sig.	.099

Realizado por: PROCEL, Alex. 2022

En la Tabla 23-4 podemos observar que el valor de Medida Kaiser-Meyer-Olkin de adecuación de muestreo es $<0,6$, esto nos indica que existen correlaciones débiles entre las variables, y se puede observar que el $p=0.099$ por lo que se aceptaría la hipótesis.

Tabla 24-4 Análisis de varianza

Varianza total explicada						
Componente	Sumas de cargas al cuadrado de la extracción			Sumas de cargas al cuadrado de la rotación		
	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado
Tiempo de remoción	2.286	57.152	57.152	1.993	49.821	49.821
Concentración final	1.270	31.755	88.908	1.563	39.087	88.908

Método de extracción: análisis de componentes principales.

Realizado por: PROCEL, Alex. 2022

En la tabla 24-4 podemos observar los porcentajes de variabilidad de los datos que explica cada factor, el tiempo de remoción explica el 49.821 de la varianza de los datos originales o de la información recabada, la concentración final nos indica el 39.087 de la varianza de la información recogida, no obstante, los dos factores logran explicar el 88.908 de la variabilidad de los datos originales, siendo un porcentaje muy cercano a 100, lo cual, resulta excelente.

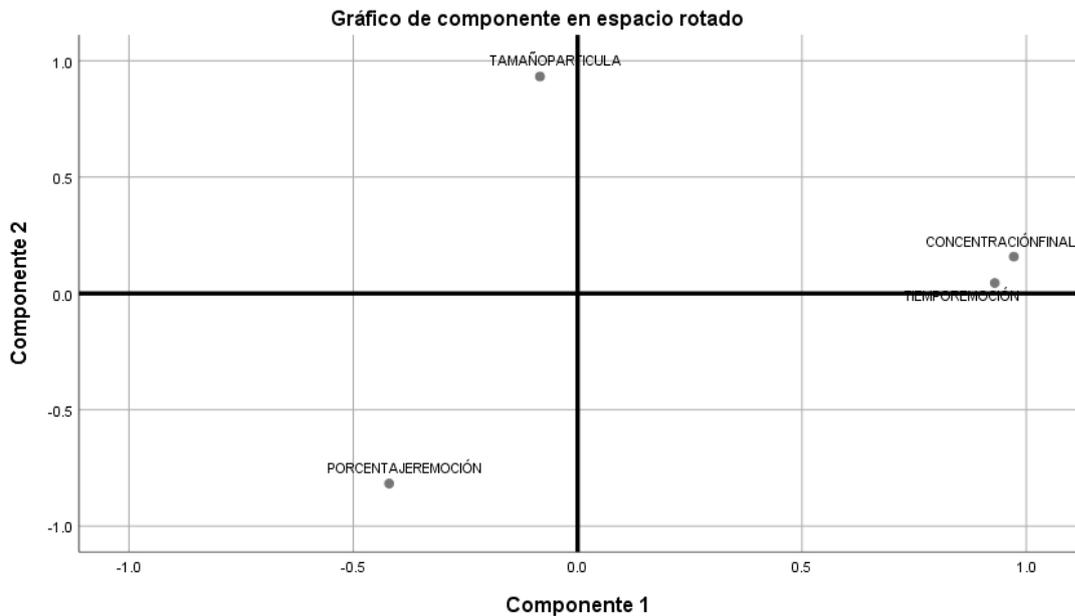


Gráfico 19-4 Gráfico de saturaciones

Realizado por: PROCEL, Alex. 2022

El Gráfico 19-4 nos muestra los factores 1 y 2, donde observamos claramente la correlación existente entre concentración final y tiempo de remoción.

4.4.1. Correlación entre las variables tiempo de remoción y concentración final

Tabla 25-4 Correlación entre las variables tiempo de remoción y concentración final

Correlaciones			
		TiempoRemoción	ConcentraciónFinal
TiempoRemoción	Correlación de Pearson	1	.848*
	Sig. (bilateral)		.033
	N	6	6
ConcentraciónFinal	Correlación de Pearson	.848*	1
	Sig. (bilateral)	.033	
	N	6	6

*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

Realizado por: PROCEL, Alex. 2022

La Tabla 25-4 nos indica que el valor del estadístico r de Pearson obtenido en el programa estadístico SPSS es de .848, de acuerdo con, el **Anexo K**, se considera una Correlación positiva considerable. Por lo tanto, podemos aseverar con un 95% de confianza, que hay una “Correlación positiva considerable entre las variables tiempo de remoción y concentración final”, ya que el valor de Sig. (bilateral) es igual a 0.033 que se encuentra por debajo del 0.05 requerido.

Finalmente, al obtener los valores de las pruebas de correlación con el estadístico r de Pearson y con un nivel de confianza de 95% **aceptamos** la Hipótesis general:

“El olote de maíz como absorbente disminuirá la concentración de plomo (II), presente en el agua residual sintética”

CONCLUSIONES

Se realizaron 6 pruebas para evaluar la capacidad absorbente de plomo (II) utilizando como material bio-filtrante el olote de maíz, en aguas residuales sintéticas con dos concentraciones de contaminante 5 ppm y 10 ppm, donde se evidenció que las variables que mejor se ajustaron para remover el mayor porcentaje de metal fueron Temperatura 17° C, Tiempo de remoción 24 horas, Tamaño de partícula de olote de maíz de 0.6 mm, masa de adsorbente 160 g. Obteniendo un porcentaje de remoción del 74.77%.

Se elaboró y diseño un bio filtro empleando olote de maíz como membrana filtrante para remover plomo de aguas residuales sintéticas.

La variación de concentración de plomo en aguas residuales utilizando como absorbente el olote de maíz fue evaluada a través de las isothermas de adsorción siendo el modelo de Freundlich el que mejor se ajustó a los datos experimentales en las concentraciones estudiadas, ratificando el predominio de una fisisorción en la monocapa.

RECOMENDACIONES

Realizar pruebas con el número de biofiltros recomendados en los cálculos realizados, con la finalidad de incrementar el porcentaje de remoción de plomo (II).

Desarrollar procesos que permitan el tratamiento adecuado del olote de maíz que contiene plomo (II), con la finalidad de evitar mayor contaminación.

BIBLIOGRAFÍA

ALBARRACIN, Francisco. Capacidad de adsorción par remover en ion metálico PB (II) por el tanino de la cascara de tarwi (*lupinus mutabilis sweet*), de las aguas del río Ramis Puno, Perú. 2018.

ANDERSON, R; et al. *Gelatinisation of corn grits by roll and extrusion cooking.* 1969, Cereal Science Today, págs. 4-12.

ARIAS, J M. Obtención del almidón de la alopecia macrorrhiza y cuantificación del oxalato de calcio. [En línea] 2019. <http://tsachila.edu.ec/ojs/index.php/TSEDE/article/view/11>.

ARISTIZÁBAL, J; et al. *Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca.* Roma, Italia : Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación., 2007.

AOAC. Estados Unidos de América : Association of Analytical Chemists International (AOAC), 2000, Vol. 7 ed.

BARCELÓ, Icela; et al. Bioadsorción de Pb (II) utilizando bagazo de coco y olote de maíz del municipio de Zacualpan de Amilpas, Morelos. 2016. 2.

BASURTO, F; et al. *Conocimiento actual del cultivo de Camote (Ipomoea batata (L.) Lam).* 2015, Agro Productividad.

BELAIRE, Catalina & FANTASSI, Benjamin. Tratamiento de aguas contaminadas con plomo (II) mediante técnica en continuo de bioadsorción en columna de corcho. 2017.
Biodegradación de envases elaborados a base de fécula de maíz, papa, caña de azúcar, papel y oxo- biodegradables (tesis).

BHER, Anibal. *Preparación y caracterización de almidón de mandioca termoplástico combinado con poli (ácido láctico). Estudio del comportamiento producido por el agregado de grafeno como material de carga.* 2019, Universidad Nacional de General San Martín, págs. 46-51.

BHER, A R. *Preparación y caracterización de almidón de mandioca termoplástico combinado con poli (ácido láctico). Estudio del comportamiento producido por el agregado de grafeno como material de carga.* 2019.

BURGER, Mabel & POSE, Darío. Plomo salud y ambiente. 2010.

CARDONA, Anahí; et al. Evaluación del poder bioabsorbente de cáscara de naranja para la eliminación de metales pesados; Pb(II) y Zn (II). 2013. Vol. 17, 1.

CHARIGUAMÁN, J A. Caracterización de bioplástico de almidón elaborado por el método de casting reforzado con albedo de maracuyá (*Passiflora edulis* spp.). [En línea] 2015. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/4560/1/AGI-2015-014.pdf>.

CHARRO, M. *Obtención de plástico biodegradable a partir de almidón de patata.* 2015, Universidad Central del Ecuador.

CHÁVEZ, César. Detección de metales pesados en el agua. 2011.

CONABIO. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. [En línea] 2009. <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/convolvulaceae/ipomoea-batatas/fichas/ficha.htm>.

CROMBET, Sandra; et al. Caracterización de las aguas residuales de la comunidad "Antonio Maceo" de la Caracterización de las aguas residuales de la comunidad "Antonio Maceo" de la. 2013. Vol. 25, 2.

DANZA, Franco. Contaminación por plomo. 2017. *Deciphering bioplastic production.*

FARÍAS, L; et al. *Grafeno, el material del futuro.* México : Ciencia Cierta. págs. 2-5.

FOLQUER, F. *La batata (Camote), Estudio de la y su producción comercial.* Costa Rica : s.n., 1978.

FONDO PARA LA EDUCACIÓN AMBIENTAL. 2007. Contaminación del agua por metales. 2007.

GARCÍA, Julisa; et al. Efecto del tamaño de partícula en la adsorción de Pb (II) utilizando olote de maíz. 2015. 180.

GARCÍA, Marco y PÉREZ, Juan. Aguas residuales composición. 2016.

GARCÍA, Norma; et al Análisis de la adsorción como método de pulimento en el tratamiento de aguas. 2012. Vol. 14, 1.

GRACE, M R. *Elaboración de la yuca. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).* Roma : s.n., 1977, pág. 116.

GEIM, A & NOVOSELOV, K S. The rise of graphene. *Nature Materials*, 2017, págs. 183-191.

HERNÁNDEZ, T K. México : s.n., 2013, Universidad Nacional Autónoma de México.

HUAMANÍ, José & HUAMOLLE, Aurora. Remoción de cadmio en soluciones acuosas usando nanopartículas de hierro cerovalente sobre una matriz de quitosato. 2017.

INFORME MUNDIAL DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL DESARROLLO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS. Aguas residuales, el recurso desaprovechado. 2017.

ISI. Dinamarca : International Strach Institute (ISI), 1999, Laboratory Methods. Science Park.

ISI. Dinamarca : s.n. Determination of viscosity of starch by Brookfield., 2002, Laboratory methods. Science Park.

KARIMI-MALEH, H; et al. *Surface amplification of pencil graphite electrode with polypyrrole and reduced graphene oxide for fabrication of a guanine/adenine DNA based electrochemical biosensors for determination of didanosine anticancer drug.* 2018, *Appl. Surf. Sci.*, págs. 55-60.

KIM, H, Abdala; et al. *Graphene/polymer nanocomposites, Macromolecules.* 2010, págs. 6515-6530.

LEE, S. *Nature biotechnology*, págs. 2006,1227-1229. *Determination of pH in starch and syrup.*

LEDESMA, A; et al. *Bioplásticos de almidón de maíz y quinua para uso como envolturas alimenticias biodegradables*. Dominio de las Ciencias, 2021, págs. 39-56.

LEÓN, Carlos. Estandarización y validación de una técnica para medición de la demanda bioquímica de oxígeno por el método respirométrico y la demanda química de oxígeno por el método colorimétrico. 2009.

LONDOÑO, Luis; et al. Risk of heavy metal in human and animal health. 2016. Vol. 14, 2.

LÓPEZ, J F; et al. *Análisis de la contaminación ambiental por plásticos en la ciudad de Riobamba*. Polo del Conocimiento, 2020. págs 725-742.

MARTINEZ, Marta. Eliminación biológica de compuestos orgánicos y nitrogenados presentes en los efluentes de las industrias. 2004.

MUÑOZ, Juan. Biosorción de plomo (II) por cáscara de naranja "citruscinesis" pretratada. 2007.

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA INEN 1108, Quinta Revisión. *Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108, Quinta Revisión*. Quito : s.n., 2014.

NORMATIVA DEL BUEN VIVIR SUMAK KAWSAY, Ecuador. *Normativa del Buen Vivir Sumak Kawsay*. Quito : Revista Publicando, 2017.

OBREGÓN, Daniel. Estudio comparativo de la capacidad de adsorción de Cadmio utilizando carbones activados preparados a partir de semillas de aguje y acetuna. 2012.

OBLARÉ, J. *Recolección de Cultivos Herbáceos*. 2018, Cueva de Viera, pág. 158.

ORÉ, Franklin; et al. Biosorción de Pb (II) de aguas residuales de mina usando el marlo de maíz (*Zea mays*). 2015. Vol. 81, 21.

PARRA, J. *Obtención de biofilm a partir del almidón de zanahoria blanca (arracacia xanthorrhiza) y de camote (ipomoea batatas) como alternativa al uso de material plástico derivado de petróleo (tesis)*. 2019, págs. 10-16.

PABÓN, Raúl. 2020. Water contamination by heavy metals, analysis methods and removal technologies. A review. 2020. Vol. 14, 27.

PERDOMO, G A. *PLÁSTICOS Y MEDIO AMBIENTE.* 2002, Revista Iberoamericana Polímeros, págs. 1-13.

PLAN DE RECUPERACIÓN DEL JÚCAR. La calidad de las aguas. 2018.

REYES, Julieth; et al. Contaminación por metales pesados: Implicaciones en Salud, Ambiente y Seguridad Alimentaria. 2016. Vol. 16, 2.

ROMERO, Leidi. Diseño de un sistema de Biofiltros para el tratamiento de aguas residuales que llegan de manera directa al humedal de Neuta en el Municipio de Soacha. 2016.

RUIZ, Gladys. *Obtención y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca.* 2006, Ingeniería y Ciencia, págs. 5-28.

SEGURA, D; et al. *Contaminación ambiental y bacterias productoras de plásticos biodegradables.* 2007, Biotecnología, págs. 361-372.

SESSINI, V & PEPONI, L. Las diferentes caras del exilio. *Revista de plásticos modernos: Ciencia y tecnología de polímeros.* [En línea] 2017. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6038279>.

SURIYAMONGKO, P; et al, *Biotechnological approaches for the production of polyhydroxyalkanoates in microorganisms and plants.* Biotechnol Adv,2007, págs. 148-175.

TAMAY, Andrea. Determinación de la capacidad de biosorción y desorción de la corona de piña para la remoción de metales pesados. 2019.

TEJADA, Tovar; et al. Adsorption of heavy metals in waste water using biological materials. [En línea] 26 de octubre de 2014. [Citado el: 10 de junio de 2014.] Dialnet-AdsorcionDeMetalesPesadosEnAguasResidualesUsandoMa-5062883%20(4).pdf.

TOBARRA, A & DURÁN, M. *Instrucciones de uso Medidor de humedad para tierra.*

2018, PCE Ibérica, págs. 2-6.

VALLADARES, Benjamin; et al. Metales tóxicos de importancia en la acuicultura. 2019.

VILLABONA, Angel. *Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico*. Cartagena : Tecno-lógicas, 2014.

WHISTLER, R L y BEMILLER, J N. *Carbohydrate chemistry for food scientists*. 1997, St Paul: Eagan Press.

ZAMBRANO, Pablo. Aguas residuales. 2009.

ZELLER, M A, et al. *Bioplastics and their thermoplastic blend from Spirulina and Chlorella microalgae*. J. Appl. Polym. Sci, 2013. págs. 3263-3275.

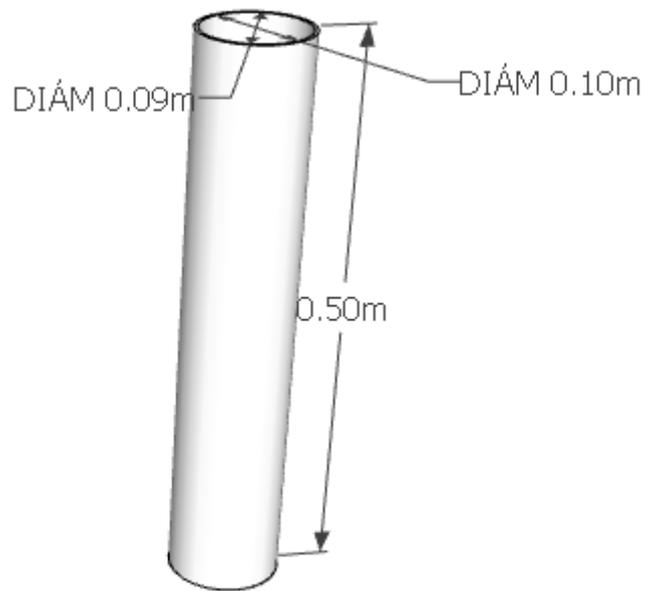


ANEXOS A: Parámetros y valores recomendados para calcular el área total de filtración

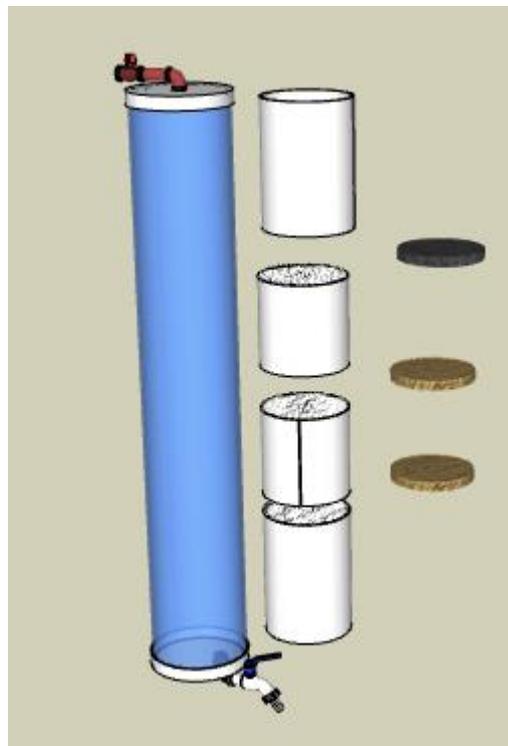
Parámetro	Valores recomendados
Velocidad de filtración (m/h)	2-3
Número mínimo de unidades	2
Área de filtración por unidad (m ²)	<10
Velocidad superficial de lavado (m/s)	0.15-0.3
Altura del vertedero (m)	0.03-0.05
Espesor capa superior medio filtrante (mm)	50
Espesor capa segunda medio filtrante (mm)	50
Espesor capa tercera medio filtrante (mm)	50
Espesor capa inferior medio filtrante (mm)	50
Tasa de filtración (m/d) (L/m ² *min)	<120
Distribución del lecho	Estratificado
Duración de carrera (h)	12-36
Perdida de carga (m)	Inicial: 0.3 Final:2.4-3.0
Agua de lavado	2 % al 4 % Del agua filtrada
Drenaje	Tubería perforada Falsos fondos
Altura del agua sobrenadante (m)	1-15

Realizado por: PROCEL, Alex. 2022

ANEXO B: Diseño del biofiltro con olote de maíz como medio filtrante



Realizado por: PROCEL, Alex 2022



Realizado por: PROCEL, Alex 2022

ANEXO C: Preparación del olote de maíz



Realizado por: PROCEL, Alex 2022



Realizado por: PROCEL, Alex 2022



Realizado por: PROCEL, Alex 2022

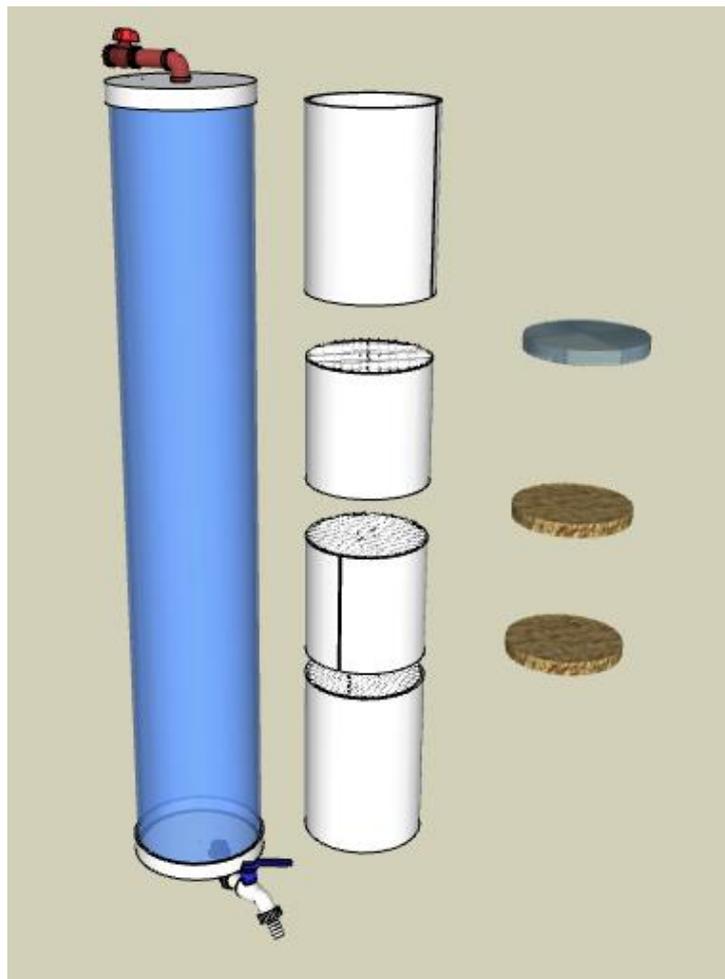


Realizado por: PROCEL, Alex 202

ANEXO D: Elaboración de biofiltro

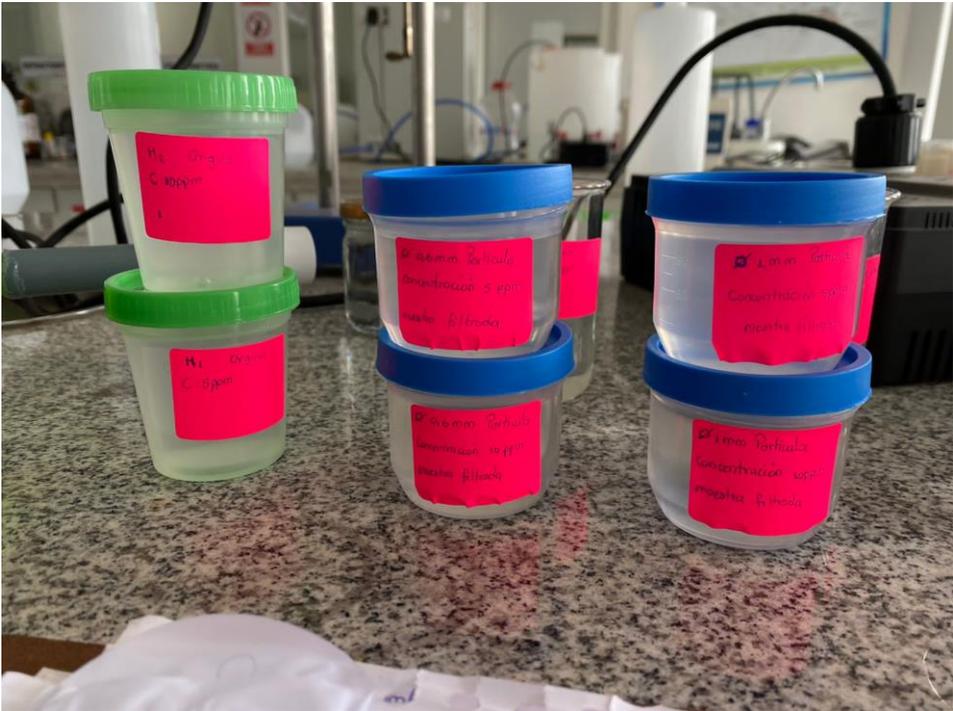


Realizado por: PROCEL, Alex 2022

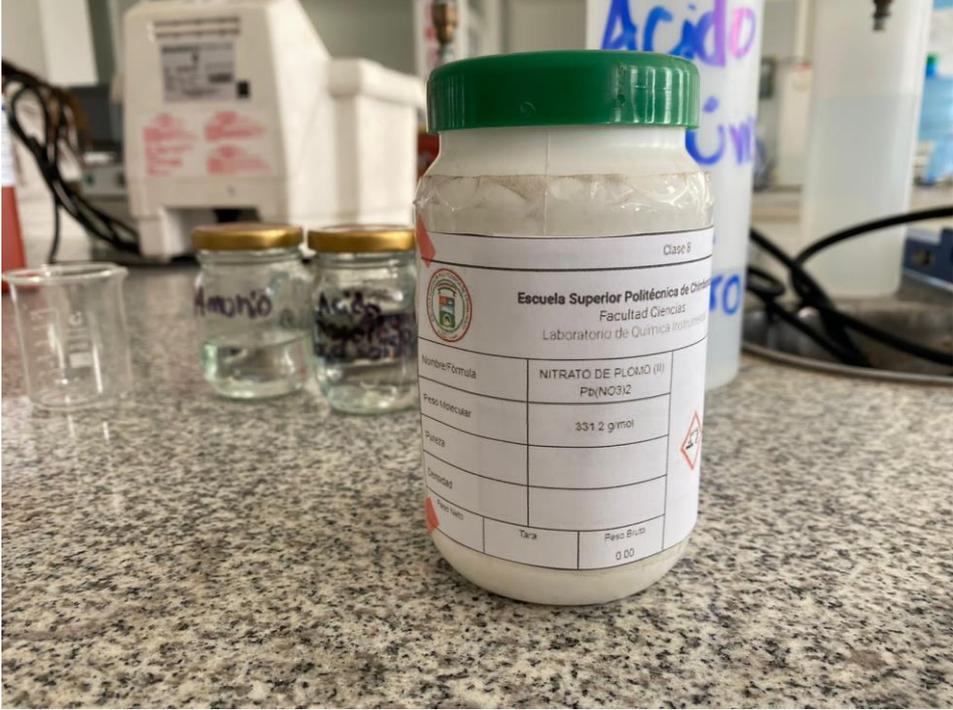


Realizado por: PROCEL, Alex 2022

ANEXO E: Preparación de soluciones sintéticas de 5 ppm y 10 ppm



Realizado por: PROCEL, Alex 2022



Realizado por: PROCEL, Alex 2022

ANEXO F: Muestras para análisis – equipo adsorción atómica

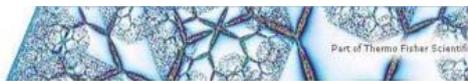


Realizado por: PROCEL, Alex 2022



Realizado por: PROCEL, Alex 2022

ANEXO G: Resultado de análisis olote de maíz natural triturado



Nombre Operador: Lab. Investigación

Fecha Informe: 13/10/2022 12:04:05

Fichero Result.: C:\SOLAARM\DATA\PLOMO\ALEX PROCEL-13-10-2022.SLR

Parámetros Generales

Método: METODO PLOMO

Operador: Lab. Investigación

Modo Instrum.: Llama

Automuestr.: Ningún

Dilución: Ninguna

Usar SFI: No

Registro trazabilidad método

08/9/2021 11:13:27 Lab. Investigación: DESKTOP-0SSLSK6

Registro creado

13/10/2021 12:41:38 Lab. Investigación: DESKTOP-0SSLSK6

Detalles de muestra modificados

Secuencia tarea modificada

(Pb Re-muestras: 2) cambiado a (1)

(Pb Estándar1 0.4000) cambiado a (0.3000)

(Pb Estándar2 0.8000) cambiado a (0.6000)

(Pb Estándar3 1.2000) cambiado a (0.9000)

(Pb Estándar4 2.0000) cambiado a (1.5000)

(Pb Estándar5 4.0000) cambiado a (3.0000)

13/10/2022 11:51:50 Lab. Investigación: DESKTOP-0SSLSK6

Detalles de muestra modificados

Secuencia tarea modificada

(Pb Re-muestras: 1) cambiado a (2)

(Pb Flujo Combust.: 1.1) cambiado a (1.0)

(Pb Número de estándares: 5) cambiado a (4)

(Pb Estándar1 0.3000) cambiado a (0.5000)

(Pb Estándar2 0.6000) cambiado a (1.0000)

(Pb Estándar3 0.9000) cambiado a (2.5000)

(Pb Estándar4 1.5000) cambiado a (5.0000)

(Pb Ajuste Aceptable: 0.995) cambiado a (0.990)

Detalles Análisis

Nombre Análisis: Análisis 1 13/10/2022

Espectrómetro: ICE 3000 AA05170304 v1.30

Nombre Operador: Lab. Investigación

Resultados Test OQ Actual: No disponible

Resultados Test PQ Actual: No disponible

Información lámp.

Elemento(s)

nº de Serie

mA Horas

Pb

n/a

n/a

Horas lámp. Deuterio: 312.65

Detalles Muestra

Nº	ID Muestra	Masa Nominal: 1.0000	
		Masa Muestra	Relac. Dilución
1	muestra 5ppm	1.0000	1.0000
2	muestra 5ppm	1.0000	1.0000
3	muestra 5ppm	1.0000	1.0000
4	muestra 10ppm	1.0000	2.0000
5	muestra 10ppm	1.0000	2.0000
6	muestra 10ppm	1.0000	2.0000

SOLAAR AA Report

Nombre Operador: Lab. Investigación

Fecha Informe: 13/10/2022 12:04:05

Fichero Result.: C:\SOLAARM\DATA\PLOMO\ALEX PROCEL-13-10-2022.SLR

Registro de trazabilidad Análisis

13/10/2022 11:51:50 Lab. Investigación: DESKTOP-0SSLSK6

Registro creado

13/10/2022 12:03:46 Lab. Investigación: DESKTOP-0SSLSK6

Error MD147 - Actividad abortada manualmente por el usuario.

Resumen Resultados Test OQ

Advertencia: Resultados OQ no disponibles.

Parámetros Espectró. - Pb

Elemento: Pb

Long. onda: 217.0nm

Corrección Fondo: D2

Tipo Señal: Continuo

Tiempo Medida: 4.0sg

Usar Test RSD: No

Modo Medida: Absorbancia

Rendija: 0.5nm

Alta Resolución: Apagado

Re-muestras: Rápido

Modo Rechazo Datos: No

Corriente lámp.: 75%

Optimizar Parámetros Espectró.: No

Nº de Re-muestras: 2

Parámetros Llama - Pb

Tipo Llama: Aire-C2H2

Toma del Nebuliz.: 4sg

Altura Mechero: 7.0mm

Flujo Combust.: 1.0L/min

Estabiliz. Mechero: 0mins

Optimiz Altura Mechero: No

Oxidante Auxiliar: Apagado

Optimiz. Flujo Combust.: No

Parámetros muestreo - Pb

Muestreo: Ninguna

Parámetros Calibrac. - Pb

Modo Calibrac.: Normal

Unidades Concentrac.: mg/L

Ajuste Aceptable: 0.990

Estándar Maestro: 7.0000

Estándar1

0.5000

Estándar3

2.5000

Estándar2

1.0000

Estándar4

5.0000

Ajuste Lineal: Linear

Unidades Escala: mg/L

Re-escalar Limite: 10.0%

Usar Calibr. Almacenada: No

Factor Escala: 1.0000

Acción Fallida: Señalizar y continuar

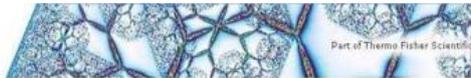
Registro de trazabilidad Elemento - Pb

No cambios registr. para este elemento

Result. Disolución - Pb

ID Muestra	Señal Abs	Rsd %	Conc. mg/L	Conc. Corregida mg/L
Pb Blanco	-0.001	51.9	0.0000	
Pb Estándar 1	0.007	7.5	0.5000	
Pb Estándar 2	0.015	1.3	1.0000	
Pb Estándar 3	0.040	0.0	2.5000	
Pb Estándar 4	0.080	0.6	5.0000	
Pb muestra 5ppm	0.020	0.9	1.2792	1.2792
Pb muestra 5ppm	0.019	0.9	1.2615	1.2615
Pb muestra 5ppm	0.020	1.1	1.2911	1.2911
Pb muestra 10ppm	0.048	0.4	3.0072	6.0143
Pb muestra 10ppm	0.047	0.7	2.9970	5.9939
Pb muestra 10ppm	0.046	5.9	2.9220	5.8440

ANEXO H: Resultado- curva de calibración plomo (II) olote de maíz natural



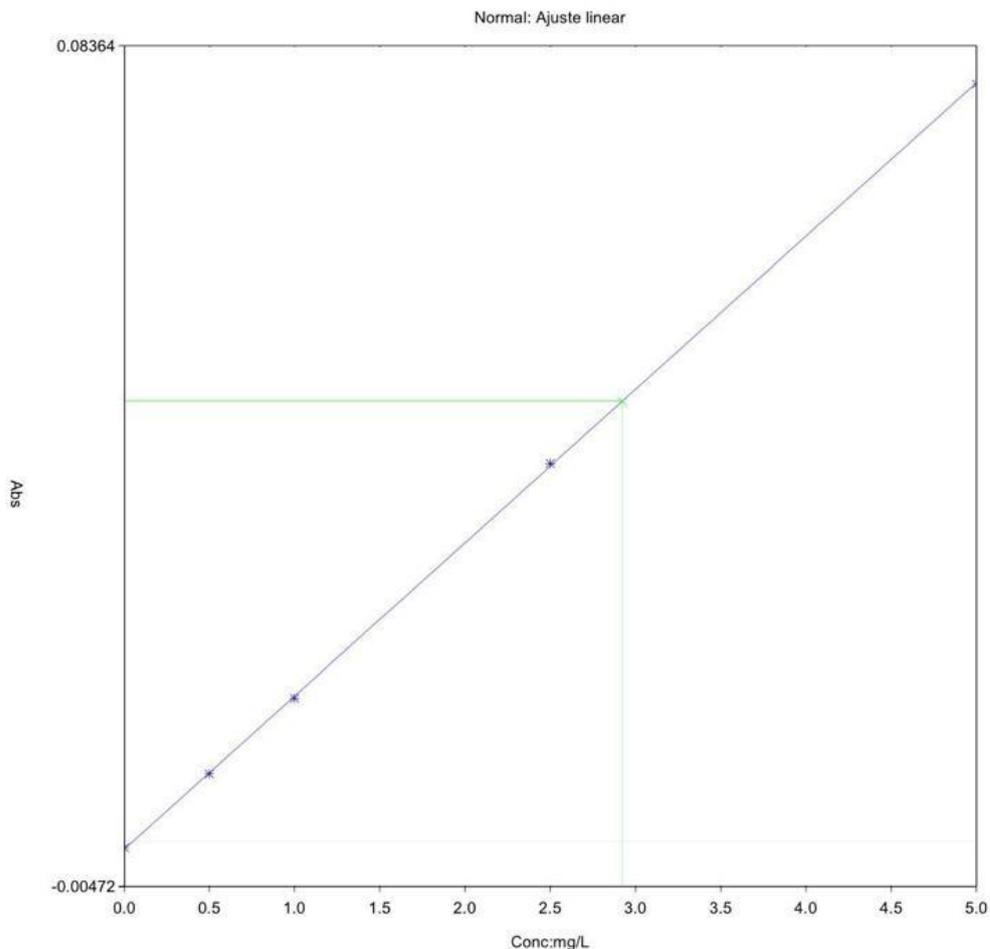
Nombre Operador: Lab. Investigación

Fichero Result.: C:\SOLAAR\DATA\PLOMO\ALEX PROCEL-13-10-2022.SLR

Nombre Análisis: Análisis 1 11:51:50 13/10/2022

Fecha Informe: 13/10/2022 12:04:54

Calibración - Pb



Detalles calibrac.

Conc	Señal	Y = 0.01611x - 0.0008
0.0000	-0.001	Ajuste: 1.0000
0.5000	0.007	
1.0000	0.015	
2.5000	0.040	
5.0000	0.080	

Conc Característica: 0.2731

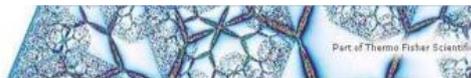
ANEXO I: Resultados de análisis de olote tratado químicamente

Thermo
SCIENTIFIC

Nombre Operador: Lab. Investigación

Fichero Result.: C:\SOLAAR\DATA\PLOMO\ALEX PROCEL-27-10-2022.SLR

Fecha Informe: 27/10/2022 08:52:45



Parámetros Generales

Método: METODO PLOMO

Operador: Lab. Investigación

Modo Instrum.: Llama

Automuestr.: Ningún

Dilución: Ninguna

Usar SFI: No

Registro trazabilidad método

08/9/2021 11:13:27 Lab. Investigación: DESKTOP-0SSLSK6

Registro creado

13/10/2021 12:41:38 Lab. Investigación: DESKTOP-0SSLSK6

Detalles de muestra modificados

Secuencia tarea modificada

(Pb Re-muestras: 2) cambiado a (1)

(Pb Estándar1 0.4000) cambiado a (0.3000)

(Pb Estándar2 0.8000) cambiado a (0.6000)

(Pb Estándar3 1.2000) cambiado a (0.9000)

(Pb Estándar4 2.0000) cambiado a (1.5000)

(Pb Estándar5 4.0000) cambiado a (3.0000)

27/10/2022 08:40:27 Lab. Investigación: DESKTOP-0SSLSK6

Detalles de muestra modificados

Secuencia tarea modificada

(Pb Re-muestras: 1) cambiado a (2)

(Pb Número de estándares: 5) cambiado a (4)

(Pb Estándar1 0.3000) cambiado a (0.5000)

(Pb Estándar2 0.6000) cambiado a (1.0000)

(Pb Estándar3 0.9000) cambiado a (2.5000)

(Pb Estándar4 1.5000) cambiado a (5.0000)

(Pb Ajuste Aceptable: 0.995) cambiado a (0.990)

Detalles Análisis

Nombre Análisis: Análisis 1 27/10/2022

Espectróm.: iCE 3000 AA05170304 v1.30

Nombre Operador: Lab. Investigación

Resultados Test OQ Actual: No disponible

Resultados Test PQ Actual: No disponible

Información lámp.

Elemento(s)

nº de Serie

mA Horas

Pb

n/a

n/a

Horas lámp. Deuterio: 332.17

Detalles Muestra

Nº	ID Muestra	Masa Nominal: 1.0000 Masa Muestra	Relac. Dilución
1	5ppm-sodio	1.0000	1.0000
2	5ppm-acido	1.0000	1.0000
3	5ppm-sln-madre	1.0000	1.0000
4	10ppm-sodio	1.0000	2.0000
5	10ppm-acido	1.0000	2.0000
6	10ppm-sln-madre	1.0000	2.0000
7	ID Muestra 7	1.0000	1.0000
8	ID Muestra 8	1.0000	1.0000
9	ID Muestra 9	1.0000	1.0000
10	ID Muestra 10	1.0000	1.0000

SOLAAR AA Report

Nombre Operador: Lab. Investigación

Fecha Informe: 27/10/2022 08:52:45

Fichero Result.: C:\SOLAARM\DATA\PLOMO\ALEX PROCEL-27-10-2022.SLR

Registro de trazabilidad Análisis

27/10/2022 08:40:27 Lab. Investigación: DESKTOP-0SSLSK6

Registro creado

27/10/2022 08:52:32 Lab. Investigación: DESKTOP-0SSLSK6

Error MD147 - Actividad abortada manualmente por el usuario.

Resumen Resultados Test OQ

Advertencia: Resultados OQ no disponibles.

Parámetros Espectróm. - Pb

Elemento: Pb
Long. onda: 217.0nm
Corrección Fondo: D2
Tipo Señal: Continuo
Tiempo Medida: 4.0sg
Usar Test RSD : No

Modo Medida: Absorbancia
Rendija: 0.5nm
Alta Resolución: Apagado
Re-muestras: Rápido
Modo Rechazo Datos: No
Corriente lámp.: 75%
Optimizar Parámetros Espectróm.: No
Nº de Re-muestras: 2

Parámetros Llama - Pb

Tipo Llama: Aire-C2H2
Toma del Nebuliz.: 4sg
Altura Mechero: 7.0mm

Flujo Combust.: 1.1L/min
Estabiliz. Mechero: 0mins
Optimiz. Altura Mechero: No
Oxidante Auxiliar: Apagado
Optimiz. Flujo Combust.: No

Parámetros muestreo - Pb

Muestreo: Ninguna

Parámetros Calibrac. - Pb

Modo Calibrac.: Normal
Unidades Concentrac.: mg/L
Ajuste Aceptable: 0.990
Estándar Maestro: 7.0000
Estándar1 0.5000
Estándar2 1.0000

Ajuste Lineal: Linear
Unidades Escala: mg/L
Re-escalar Límite: 10.0%
Usar Calibr. Almacenada: No
Factor Escala: 1.0000
Acción Fallida : Señalizar y continuar

Estándar3 2.5000
Estándar4 5.0000

Registro de trazabilidad Elemento - Pb

No cambios registr. para este elemento

Result. Disolución - Pb

ID Muestra	Señal Abs	Rsd %	Conc. mg/L	Conc. Corregida mg/L
Pb Blanco	0.001	37.9	0.0000	
Pb Estándar 1	0.008	6.1	0.5000	
Pb Estándar 2	0.016	3.3	1.0000	
Pb Estándar 3	0.038	0.9	2.5000	
Pb Estándar 4	0.074	1.0	5.0000	
Pb 5ppm-sodio	0.046	0.3	3.0642	3.0642
Pb 5ppm-acido	0.043	0.5	2.8321	2.8321
Pb 5ppm-sln-madre	0.070	0.9	4.6740	4.6740
Pb 10ppm-sodio	0.049	0.1	3.2325	6.4649
Pb 10ppm-acido	0.065	0.0	4.3390	8.6781
Pb 10ppm-sln-madre	0.071	1.3	4.7850	9.5700

ANEXO J: Curva de calibración plomo (II) olote de maíz tratado químicamente

Thermo
SCIENTIFIC

Nombre Operador: Lab. Investigación

Fichero Result.: C:\SOLAAR\DATA\PLOMO\ALEX PROCEL-27-10-2022.SLR

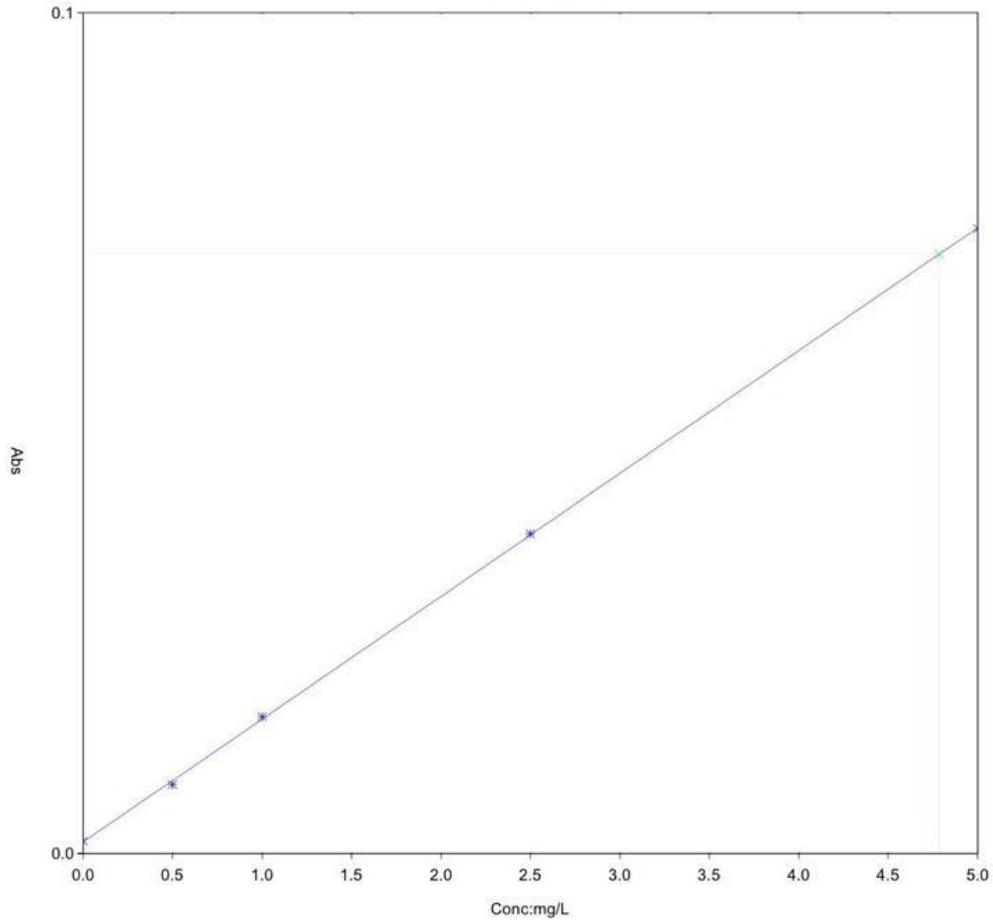
Nombre Análisis: Análisis 1 08:40:27 27/10/2022



Fecha Informe: 27/10/2022 08:53:11

Calibración - Pb

Normal: Ajuste linear



Detalles calibrac.

Conc	Señal
0.0000	0.001
0.5000	0.008
1.0000	0.016
2.5000	0.038
5.0000	0.074

Conc Característica: 0.3011

$Y = 0.01461x + 0.0013$
Ajuste: 0.9999

ANEXO K: Material orgánico tratado químicamente con hidróxido de sodio y ácido sulfúrico



Realizado por: PROCEL, Alex 2022



Realizado por: PROCEL, Alex 2022

ANEXO L

Interpretación: el coeficiente r de Pearson puede variar de -1.00 a $+1.00$

Nivel de medición de las variables: intervalos o razón. Interpretación: el coeficiente r de Pearson puede variar de -1.00 a $+1.00$, donde:

-1.00 = correlación negativa perfecta. (“A mayor X, menor Y”, de manera proporcional. Es decir, cada vez que X aumenta una unidad, Y disminuye siempre una cantidad constante). Esto también se aplica “a menor X, mayor Y”.

-0.90 = Correlación negativa muy fuerte.

-0.75 = Correlación negativa considerable.

-0.50 = Correlación negativa media.

-0.25 = Correlación negativa débil.

-0.10 = Correlación negativa muy débil.

1.0 = No existe correlación alguna entre las variables.

$+0.10$ = Correlación positiva muy débil.

$+0.25$ = Correlación positiva débil.

$+0.50$ = Correlación positiva media.

$+0.75$ = Correlación positiva considerable.

$+0.90$ = Correlación positiva muy fuerte.

$+1.00$ = Correlación positiva perfecta (“A mayor X, mayor Y” o “a menor X, menor Y”, de manera proporcional. Cada vez que X aumenta, Y aumenta siempre una cantidad constante).

Fuente: (Hernández, y otros, 2016)



epoch

**Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje**

**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL**

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 11/ 05 / 2023

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Alex Mauricio Procel Moreno
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería en Biotecnología Ambiental
Título a optar: Ingeniero Biotecnólogo Ambiental
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo


0737-DBRA-UTP-2023
