Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Química e Ingeniería Química
Escuela Profesional de Química

Estudio de biosorción de plomo (II) por residuos de *Citrullus lanatus* en aguas para consumo humano

TESIS

Para optar el Título Profesional de Químico

AUTOR

Elion Vicente FUENTES RUIZ

ASESOR

Dra. Gloria Alejandrina COSCO SALGUERO

Lima, Perú

2024



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Fuentes, E. (2024). *Estudio de biosorción de plomo (II) por residuos de Citrullus lanatus en aguas para consumo humano*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Química e Ingeniería Química, Escuela Profesional de Química]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	ELION VICENTE FUENTES RUIZ
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	48377244
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0007-2598-9619
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	GLORIA ALEJANDRINA COSCO SALGUERO
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	10156613
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-7699-9023
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	ELIZABETH NORMA ESPINOSA DESCALZO
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	07940350
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	MARIA ANGELICA RODRIGUEZ BEST
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	07358712
Datos de investigación	
Línea de investigación	C.0.2.1. Remediación de agua, aire y suelo

Grupo de investigación	QUÍMICA ANALÍTICA APLICADA A MEDIO AMBIENTE Y ALIMENTOS (QAMALI)
Agencia de financiamiento	Perú. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Vicerrectorado de Investigación y Posgrado
Ubicación geográfica de la investigación	Edificio: Laboratorio 510 QAMALI. Facultad de Química e Ingeniería Química País: Perú Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: Breña Avenida: Av. Venezuela s/n, Lima 15081 Latitud: -12.06034 Longitud: -77.08370
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2024
URL de disciplinas OCDE	Química Analítica https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.04.07

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)
FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA
Central Telefónica: 619-7000

ESCUELA PROFESIONAL DE QUÍMICA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los suscritos miembros del Jurado Calificador nombrados por el señor Presidente del Comité Ejecutivo del "II Programa Ciclo Taller de Titulación Profesional por la Modalidad de Tesis y Trabajo de Suficiencia Profesional para la Facultad de Química e Ingeniería Química 2024-I", bajo la Presidencia de la **Mg. Elizabeth Norma Espinosa Descalzo; Quím. María Angelica Rodriguez Best (Miembro)** y la **Dra. Gloria Alejandrina Cosco Salguero (Asesora);** habiendo presentado para tal efecto la **TESIS** titulada **"Estudio de biosorción de plomo (II) por residuos de *Citrullus lanatus* en aguas para consumo humano"** después de **SUSTENTADA Y APROBADA** la tesis elaborado por el bachiller en Química: **FUENTES RUIZ, ELION VICENTE;** para optar el **TÍTULO PROFESIONAL** de **QUÍMICO,** acordaron calificarlo con la **NOTA** de:

Diecisiete 17

(LETRAS) (NÚMEROS)

Ciudad Universitaria, 17 de agosto del 2024.

Mg. ELIZABETH NORMA ESPINOSA DESCALZO
Presidenta

Quím. MARÍA ANGELICA RODRIGUEZ BEST
Miembro

Dra. GLORIA ALEJANDRINA COSCO SALGUERO
Asesor

Dr. JOSÉ LUIS PAZ ROJAS
Director de la E.P. de Química

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
ESCUELA PROFESIONAL DE QUÍMICA
Facultad de Química e Ingeniería Química

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE
SAN MARCOS
Universidad del Perú, Decana de América

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, Gloria Alejandrina Cosco Salguero en mi condición de asesora acreditada con la Resolución Decanal N° 000664-2024-D-FQIQ/UNMSM de la Tesis cuyo título es **"Estudio de biosorción de plomo (II) por residuos de *Citrullus lanatus* en aguas para consumo humano"**, presentado por el bachiller **ELION VICENTE FUENTES RUIZ,** para optar el título de **QUÍMICO**.

CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante la plataforma PIDS, el documento evaluado cuenta con el 16% de similitud, nivel **PERMITIDO** para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional.**

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los reqùisitos para la obtención del grado/ título/ especialidad correspondiente.

Lima, 10 de setiembre de 2024

Firma del Asesor

Nombres y Apellidos del asesor: GLORIA ALEJANDRINA COSCO SALGUERO.

DNI 10156613.

ÍNDICE

RESUMEN..... 3
I. INTRODUCCIÓN..... 5
I.2 Planteamiento del problema..... 6
- Determinación del problema..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Formulación del problema..... 6

I.3 Objetivos..... 7
I.3.1 Objetivo general..... 7
I.3.2 Objetivos específicos..... 7
I.4 Importancia y alcance de la investigación..... 7
I.5 Limitación de la investigación..... 7
II REVISION DE LITERATURA..... 8
II.1. Marco teórico..... 8
II.1.1 ADSORCIÓN..... 8
II.1.2 Adsorción Física..... 8
II.1.3 QUIMISORCIÓN..... 8
II.2.1 BIOSORCIÓN..... 9
II.2.2 BIOSORBENTES..... 9
II.2.3 MODELOS TEORICOS PARA DATOS EXPERIMENTALES DEL PROCESO DE BIOSORCIÓN..... 10
II.2.3.1 BIOSORCIÓN MAXIMA..... 10
II.2.3.2 La eficiencia de eliminación (R%)..... 10
II .2.3.3 PARAMETROS IMPLICADOS EN LA BIOSORCION..... 10
II.2.3.3.1 Factor pH..... 10
II.2.3.3.2 Tamaño de partícula..... 11
II.2.3.3.2 Naturaleza de adsorbato..... 11
II 2.3.3.3 Área Superficial del biosorbente..... 11
II.2.4 ISOTERMAS DE ADSORCIÓN..... 11
II.2.4.1 Isoterma de Langmuir..... 12
II.2.4.2 Isoterma de Freundlich..... 13
II.2.4.3 Pectina como biosorbente..... 14
II.2.4.3.1 Propiedades de absorción de la pectina en metales pesados..... 15
II.2. ANTECEDENTES..... 15
III HIPÓTESIS..... 19
IVMATERIALES Y MÉTODOS..... 19
IV.1 Lugar y tiempo..... 19
IV.2 Descripción del Material Experimental..... 19

IV.3 Reactivos 19
IV.4 Equipos menores 19
IV.2 Diseño experimental u observacional 20
IV.2.1 Preparación de la muestra 20
IV.2.2 Acondicionamiento de material vegetal con HCl 0.1N 21
IV.2.3 Lavado de material vegetal 21
IV .2.4 Estudio de biosorción de plomo (II) 22
IV.2.5 Estudio de la cinética de biosorción para identificar el tiempo de la constante de equilibrio: 22
IV.2.6 Proceso de biosorción de Pb (II) en material vegetal activado en función de las masas 22
V.1.Presentación y análisis de resultados 23
V.1.1 Estudio de la cinética de la biosorción 24
V.1.2 Proceso de adsorción de Pb (II) con material vegetal activado en función de cantidad de masa 25
V.1.3 Delimitación del efecto de concentración 26
V.1.4 Estudio de la biosorciòn de isotermas de Langmuir y Freundlich: 26
VI CONCLUSIONES 29
VII RECOMENDACIONES 30
VIII BIBLIOGRAFIA 31
IX APÉNDICE 35
X ANEXO 38

RESUMEN

El siguiente trabajo tiene como objetivo general el estudio de un biosorbente a base de cáscaras de sandía (*Citrullus lanatus*) para la remoción de plomo (II) en aguas para consumo humano. La activación del biosorbente se utilizó 0.1N de HCL ,se llevó a pH 4 en la solución. El proceso de activación se llevó a cabo con agitación constante por 20h. El biosorbente se secó a 60C° por 48 h. El pH óptimo se encontró entre 4.0 y 5.0. El equilibrio se obtuvo después de 4 horas de haber comenzado el proceso de absorción de plomo , donde se obtuvo un resultado de Pb(II) de 93.36% de plomo(II) removido. Con la ayuda de las ecuaciones de Langmuir y Freundlich se obtuvo la máxima absorción de plomo en residuo vegetal activado con un valor de 14.234mg/g

ABSTRACT

The following work has as general objective the study of a biosorbent based on watermelon peels (Citrullus lanatus) for the removal of lead (II) in water for human consumption. The activation of the biosorbent was done using 0.1 N HCL, which was brought to pH 4 in the solution. The activation process was carried out with constant agitation for 20h. The biosorbent was dried at 60 C° for 48 h. The optimum pH was found between 4.0 and 5.0. The equilibrium was obtained after 4 hours of having started the lead absorption process, where a Pb (II) result of 93.36% of lead removed was obtained. With the help of the Langmuir and Freundlich equations, the maximum absorption of lead in activated plant residue was obtained with a value of 14.234 mg / g.

I. INTRODUCCIÓN

La tendencia creciente de la industrialización y de la población mundial en las últimas décadas, ha dado como consecuencia la contaminación en los cuerpos de agua con compuestos inorgánicos, orgánicos y microbiológicos entre otros. Por tanto, el tratamiento de aguas para consumo humano ha sido una de las principales áreas de investigación científica que involucran muchos campos de la ciencia y la ingeniería.

Existen técnicas convencionales como el cribado, coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección que pueden ser usadas para el tratamiento de aguas para el consumo humano (Chulluncuy et al., 2011). Las regulaciones ambientales se convirtieron en una prioridad para los investigadores en todo el mundo. Este enfoque amigable con el medio ambiente de síntesis y separación condujo a una nueva área llamada química verde que trataba de intervenciones tecnológicas para el sostenimiento ambiental. De esta manera, el concepto de biosorción entró en escena para el tratamiento sostenible de aguas utilizando diversos tipos de biomasa. En las últimas dos décadas, la biosorción ha demostrado ser una solución eficaz para la eliminación de residuos y metales. Asimismo, el uso de biomasas muestra beneficios por su bajo costo y regeneración (Gupta et al., 2008)

El plomo (II) es un metal pesado que contamina el medio ambiente y se acumula en el cuerpo humano mediante adsorción, biodisponibilidad, bioconcentración y altera los sistemas neurológico, esquelético, reproductivo, hematopoyético y cardiovascular. Los síntomas agudos y crónicos del envenenamiento por plomo incluyen daño a los riñones, el cerebro, los órganos reproductivos (Collin et al., 2022).

La biosorción comprende procesos fisicoquímicos como los procesos de adsorción de moléculas o iones en diferentes tipos de matrices (frutas, algas).

Los diferentes tipos de materiales para aplicación de biosorbentes se encuentran en la naturaleza en grandes cantidades y su elaboración no es costoso (Gérente et al., 2000).

Perú es un país productor de sandía, *Citrullus lanatus*, sin embargo, sus residuos (cáscara) no se aprovechan, ni se reutilizan y la gran mayoría se desperdician.

Una solución es utilizar la cáscara de sandía como biosorbente por ello esta Tesis se enfoca en utilizar la cáscara de sandía como material vegetal para la remoción de Pb(II). Asimismo, se usara como biosorbente la cáscara de Citrullus Lanatus activada con HCl para corroborar que la pectina en la cáscara de sandía tiene aplicación como biosorbente para iones Pb(II).

I.2 Planteamiento del problema

- Determinación del problema

Los metales pesados están contaminando cada vez más el agua dulce en todo el mundo. (ONU, 2020). Los recursos hídricos en el mundo se han visto alterados negativamente en los últimos años por las actividades humanas, por lo que el mundo enfrenta actualmente problemas críticos de suministro de agua y calidad del agua potable. En muchas partes del mundo, se tiene valores altos de metales pesados en agua potable y son más altas que algunas normas internacionales (Fernández Luqueño et al., 2013). Existe un estudio que indican presencia de plomo en el agua para consumo humano de hasta 27.2% del total de centros poblados de Tumbes. Asimismo, existen 11 departamentos con presencia de plomo en agua para consumo humano (COSUDE, 2022). La contaminación del agua de consumo humano por plomo tiene diferentes causas ,las cuales son : características naturales ,desechos de las aguas residuales y residuos de las industrias . En los niños la contaminación con plomo se ha relacionado con problemas en el sistema nervioso central y periférico, problemas de aprendizaje, problemas de crecimiento y daños en la audición (Defensoría del Pueblo, 2021) y produce daño neurológico irreversible. Se consideró que el Pb fue responsable de 540.000 muertes en todo el mundo en 2016 causada por aguas de consumo humano contaminadas (Li et al., 2019).

- Formulación del problema

¿Es posible desarrollar a partir de residuos de Citrullus lanatus un bioabsorbente para la remoción de plomo (II) en agua de consumo?

I.3 Objetivos

I.3.1 Objetivo general

- Desarrollar un material vegetal activado a base de cáscara de sandía (*Citrullus lanatus)* para la remoción de plomo (II) en aguas para consumo humano.

I.3.2 Objetivos específicos

- Identificar las condiciones óptimas del material vegetal activado a base de cáscara de sandía (*Citrullus lanatus).*
- Caracterizar el material vegetal activado por SEM.
- Estudiar la cinética de bioadsorción de iones de plomo (II) con material vegetal activado obtenido a partir de cáscara de sandía (*Citrullus lanatus).*

I.4 Importancia y alcance de la investigación

Con esta metodología se espera tener un biosorbente eficiente, económico y ecoamigable, para la remoción de plomo (II) en agua de consumo humano. Los resultados de este trabajo de investigación significarán futuros ensayos con biosorbentes a base de cáscara de sandía, *Citrullus lanatus,* con otras modificaciones.

I.5 Limitación de la investigación

La presente investigación presenta dos limitaciones, en primer lugar, se requiere un periodo de tiempo solo para elegir el pH óptimo de adsorción del metal de interés. Por otro lado, no todos los metales presentan la actividad para ser removidos por materiales vegetales a partir de la cáscara de sandía activada.

II REVISION DE LITERATURA

II.1. Marco teórico

II.1.1 ADSORCIÓN

Es proceso que ocurre en la parte de la superficie del biosorbente donde hay un movimiento de las moléculas de la parte fluida a la parte sólida..Los poros que se origina crean una gran área superficial que posibilitan la adsorción de partículas (Ghaedi M ,2021)

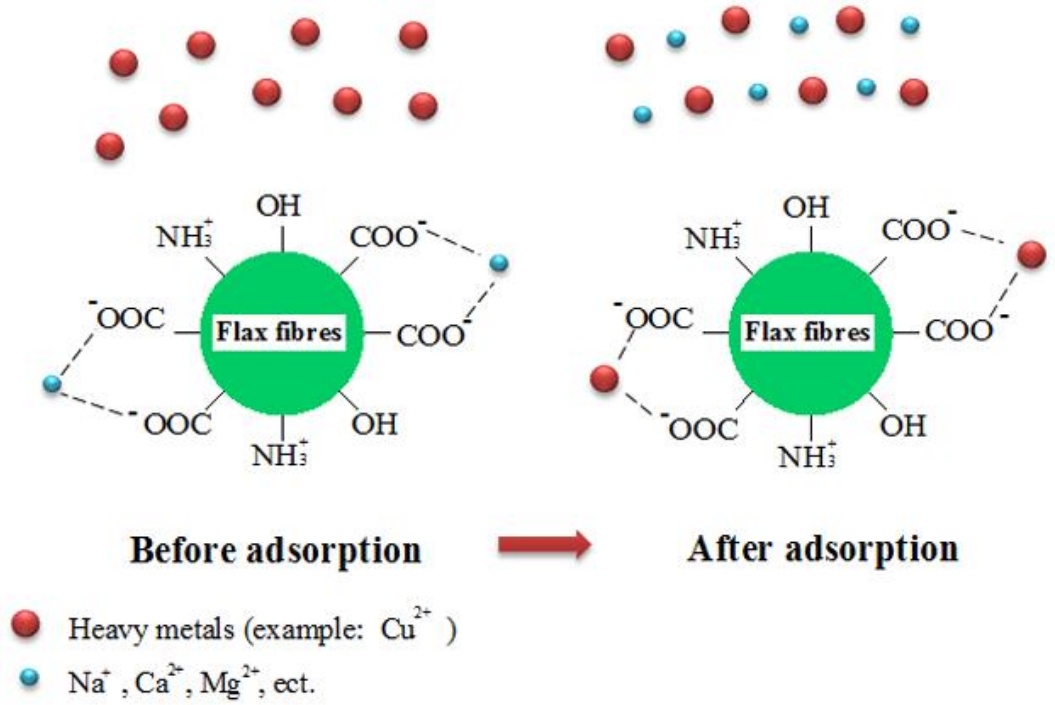


Figura 1. Absorción de metal de cobre (12).

II.1.2 Adsorción Física

Las moléculas de adsorbato se adhieren físicamente a la superficie del adsorbente. La absorción física origina varias capas del absorbato en la superficie del adsorbente y se caracteriza por una baja energía de activación (entalpía) de adsorción (Paso et al., 2022).

II.1.3 QUIMISORCIÓN

Los modelos de quimisorción termodinámica mecanicista pueden utilizar la densidad numérica volumétrica cuantificable de los sitios adsorbentes porque la unión química entre el adsorbato y el adsorbente es extremadamente específica del sitio. En la quimisorción, las moléculas de adsorbato se unen a grupos funcionales específicos de la superficie del adsorbente

II.2.1 BIOSORCIÓN

Proceso fisicoquímico que une iones metálicos (biosorbato) a la superficie de un biosorbente de origen natural . El uso de microorganismos, materiales derivados de plantas, desechos agrícolas o industriales, biopolímeros, etc. son ejemplos de eliminación biológica. Es un proceso rápido y reversible en el que los iones se unen a los grupos funcionales de la superficie del biosorbente .(Kanamarlapudi et al., 2018).

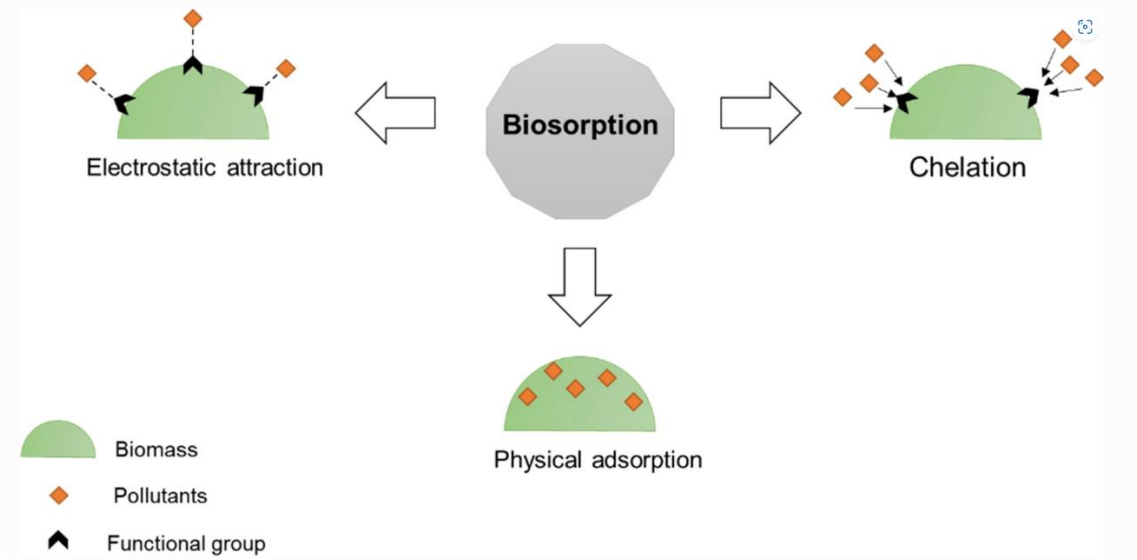


Figura 2 biosorción de metales pesados (16).

II.2.2 BIOSORBENTES

Los biosorbentes se unen a la mayoría de los metales pesados sin una prioridad específica, mientras que otros pueden ser específicos para ciertos tipos de metales.

El comportamiento de los iones metálicos en biosorbentes es una función de la composición química de las células microbianas que lo componen. Los mecanismos responsables de la biosorción, aunque se conocen de forma limitada, pueden ser una combinación de intercambio iónico, complejación, coordinación, adsorción, interacción electrostática, quelación y microprecipitación.

Los materiales bioabsorbentes fácilmente disponibles incluyen tres grupos: algas, hongos y bacterias, los dos primeros quizás brinden opciones más amplias. Asimismo, para su aplicación requieren ser pretratados previamente (Wang et al., 2009).

II.2.3 MODELOS TEORICOS PARA DATOS EXPERIMENTALES DEL PROCESO DE BIOSORCIÓN

II.2.3.1 BIOSORCIÓN MAXIMA

Cantidad de biosorbato por unidad de peso del biosorbente

$$qmáx = \frac{V\,(CO - Cf)}{w} \qquad \text{ecuación (1)}$$

Donde:

qmáx= cantidad máxima de iones metálicos adsorbidos (mg/g)

V. = Volumen en (L) de la solución

C0 = La concentración de iones metálicos en las soluciones inicial (mg/L)

Cf = La concentración de iones metálicos en las soluciones final (mg/L)

W= masa del biosorbente (g)

II.2.3.2 La eficiencia de eliminación (R%)

$$\%R = \frac{C_i - Ce}{C_i} * 100 \qquad \text{ecuación (2)}$$

Donde:

Ci = La concentración de iones metálicos en las soluciones inicial (mg/L)

Ce = La concentración de iones metálicos en la solución en equilibrio (mg/L)

II .2.3.3 PARAMETROS IMPLICADOS EN LA BIOSORCION

II.2.3.3.1 Factor pH

El pH influye en las características de la superficie debido a que interacciona con la superficie disgregando los sitios activos, de esta forma origina una especie de poros para que ocurran las interacciones con los iones metálicos y se fijen en la superficie (Liu et al., 2008).

II.2.3.3.2 Tamaño de partícula

Las partículas que presentan un tamaño de partículas < 250 µm por tener un área superficial grande (Çeçen et al., 2011).

II.2.3.3.2 Naturaleza de adsorbato

Debido a la formación de enlaces covalentes, los iones metálicos como Hg^{2+}, Pd^{2+}, Pt^{2+} y Cd^{2+} se atraen por los grupos funcionales presentes en superficies con nitrógeno, mientras que los metales duros como (Na^{+}, K^{+}, Mn^{2+}, Cr^{3+}) tienden a agruparse por medio de interacciones electrostáticas debido a la presencia de oxígeno en sus grupos .(Li et al., 2022).

II 2.3.3.3 Área Superficial del biosorbente

La zona superficial del adsorbente está directamente relacionada con la adsorción. Además, alterar la superficie con un ácido o base puede mejorar la eficacia de la adsorción. (Li et al., 2022).

II.2.4 ISOTERMAS DE ADSORCIÓN

La isoterma de adsorción es la curva de relación entre la concentración de moléculas de soluto en dos fases cuando la fuerza del proceso de adsorción, el estado de adsorción y es la síntesis macroscópica de estas características.Podemos determinar qué modelo sigue la isoterma de adsorción real al comparar el coeficiente de compresión lineal o el grado de proximidad entre los puntos experimentales y el modelo. (Xing et al.,2022)

qe (adsorción en el equilibrio)

Ce (concentración del adsorbato en el equilibrio en la fase liquida a cierta temperatura)”

$$qe = K * ce \qquad \text{a una temperatura T} \qquad \text{ecuación (3)}$$

Donde:

q : concentración de adsorbato adsorbido con el biosorbente utilizado (mg)

La constante de equilibrio es k.

La concentración en equilibrio del adsorbato en fase líquida (mg) se conoce como Ce .

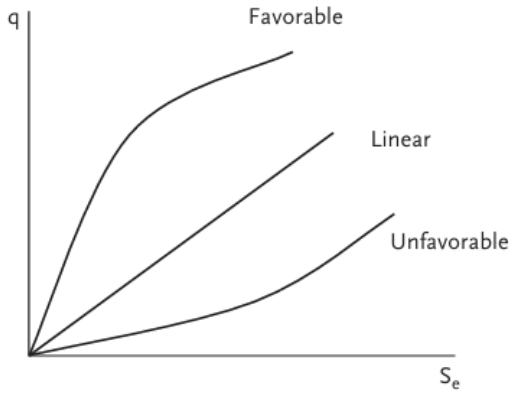


Figura 3 Isotermas de adsorción (19).

II.2.4.1 Isoterma de Langmuir

La biosorción ocurre en niveles específicos, activos y homogéneos del sorbente. Además, la energía de adsorción es constante y no hay migración de moléculas de adsorbato en el plano de superficie. Este modelo, se utiliza con éxito en muchos procesos de bioadsorción.

Esta isoterma replica la adsorción monocapa adsorbato sobre la superficie adsorbente homogénea (Moghadam,2013).

$$C_e = \frac{q_e(1+K_c*C_e)}{q_{max}*K_c} \qquad ecuación(4)$$

Se pueden determinar a partir de una forma linealizada obteniendo la siguiente ecuación:

$$\frac{ce}{q_e} = \frac{1}{q_{max} * K_c} + \frac{ce}{q_{max}} \qquad ecuación\ (5)$$

La isoterma de Langmuir se puede describir mediante la ecuación :

Ce : la cantidad de concentración de adsorbato en la fase líquida en equilibrio (mg/L)

q_e: cantidad de concentración de adsorbato en la fase sólida en el equilibrio (mg/g)

K_c: constante de Langmuir que describe afinidad (L/mg) (Thomas ,1998).

Este proceso de dos pasos comienza con la unión del metal a un punto discreto que luego actúa como un punto de nucleación La eficiencia de la biosorción está influenciada por muchos parámetros como las propiedades de los iones metálicos como son :el radio iónico, el estado de oxidación, el peso molecular, las propiedades del biosorbente.

Factor de separación RL en el modelo de isoterma de Langmuir

$$RL = \frac{1}{1 + kc * Co} \qquad ecuación(6)$$

Donde:

Co: concentración inicial del adsorbato (mg/L)

kc: constante de Langmuir (L/mg)

R L = 0: Esto ocurre si k es muy grande, lo que significa que la adsorción es demasiado fuerte. Por eso, R L = 0 se denomina irreversible .

0 < R L < 1: Este es el caso estándar en el que la adsorción se produce normalmente en nuestras condiciones. A esto lo llamamos adsorción favorable .

R L = 1: Esto solo puede ocurrir si k = 0. Esto significa que la isoterma de adsorción. Por lo tanto, se trata de una adsorción lineal .

R L > 1: Esto no es imposible, como dijiste. A esto lo llamamos desorción

II.2.4.2 Isoterma de Freundlich

El modelo de la isoterma de Freundlich se basa en distribución energética heterogénea de sitios activo acompañado de interacciones entre las moléculas adsorbidas. Este modelo se expresa de la siguiente manera (Moghadam,2013).

$$q_e = K_f * (C_e)^{\frac{1}{nf}}$$

La ecuación anterior puede ser linealizada

$$\log q_e = \frac{1}{n}(logc_e) + logk_f \qquad ecuación\ (8)$$

C_e: concentración de equilibrio del soluto en la solución (mg/L)

q_e: cantidad de soluto adsorbido por unidad de peso de adsorbente (mg/g)

K_f: constante de Freundlich, que es una medida comparativa de la capacidad de adsorción del adsorbente.

n: constante empírica relacionada con la heterogeneidad de la superficie del adsorbente.

II.2.4.3 Pectina como biosorbente

Se ha demostrado que la pectina y los desechos ricos en pectina tienen una fuerte afinidad por los iones metálicos y se han considerado biosorbentes prometedores en muchos estudios (Wang et al., 2019)

"La pectina es una conjunto de polisacáridos que conforma aproximadamente un tercio de la pared celular de las plantas superiores. En las paredes celulares de las gramíneas se encuentran proporciones mucho menores de estas sustancias. Altas concentraciones de pectina se encuentran en la pared celular, con una disminución gradual a medida que se pasa a través de la pared primaria hacia la membrana plasmática. Consiste principalmente en unidades de ácido D-galacturónico (GalA)" (Mukhiddinov et al.,2000), unidos en cadenas mediante un enlace glicosídico á-(1-4). Estos ácidos urónicos tienen grupos carboxilo, algunos de los cuales están presentes naturalmente como ésteres metílicos.

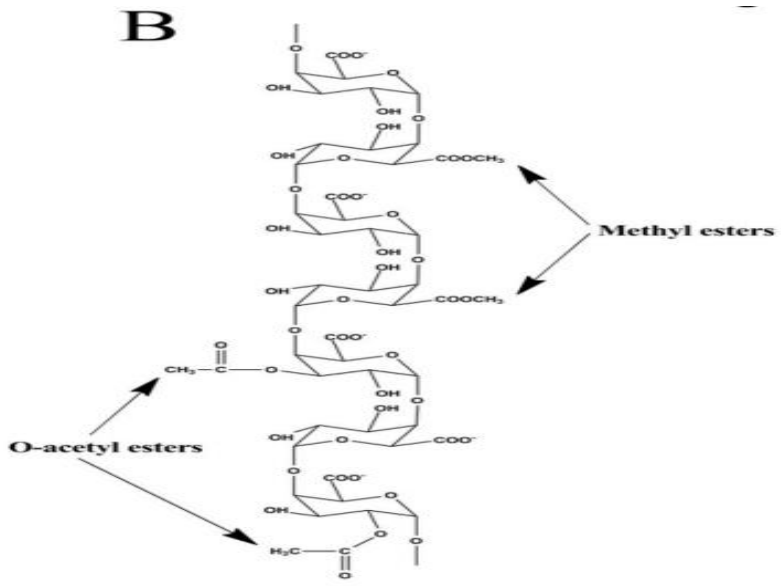


Figura 4. Estructura de la pectina (25)

Las pectinas requieren la presencia de cationes divalentes (generalmente calcio). El mecanismo de la pectina se basa principalmente en el conocido modelo de "caja de huevos" El mecanismo involucra zonas de unión creadas por asociaciones ordenadas y lado a lado de galacturonanos, mediante la formación de secuencias específicas del monómero GalA en cadenas paralelas o adyacentes. La afinidad de la pectina por los metales pesados se debió principalmente a la mayor electronegatividad de como es el caso de Ca^{2+}

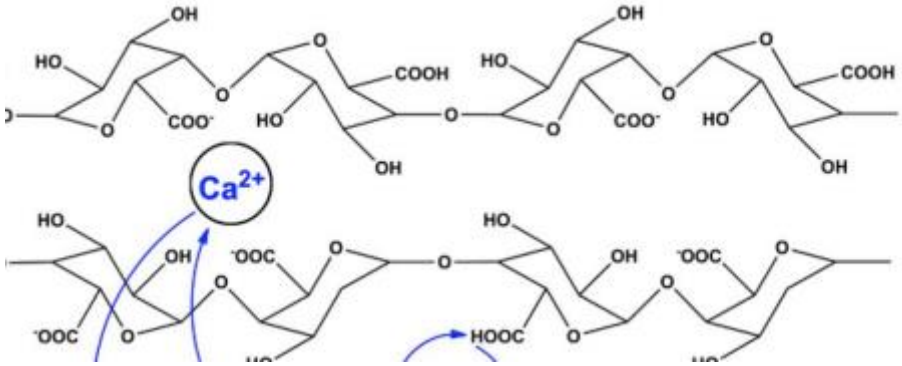


Figura 5. Fijación de los iones Ca^{2+} en la pectina (25)

II.2.4.3.1 Propiedades de absorción de la pectina en metales pesados

La afinidad de la pectina por los metales pesados también dependía del catión debido que los iones Zn2+ se unían con mayor fuerza a la pectina en comparación con los iones Ca^{2+} y Mg^{2+}, lo que se debió principalmente a la mayor electronegatividad de Zn^{2+} (Wang et al., 2019)

II.2. ANTECEDENTES

La biosorción de cobre (Cu), zinc (Zn) y plomo (Pb) en la cáscara de sandía mosteo que el pH mostró una influencia significativa en la biosorción. Se identifico que el pH óptimo para la biosorción de Cu, Zn y Pb era 5.0, 6.8 y 6.8 respectivamente. A partir del estudio de caracterización, se estimó que el intercambio iónico y la microprecipitación eran los principales mecanismos. Los datos de equilibrio se ajustaron bien a la isoterma de adsorción de Langmuir y debido a su alta capacidad de adsorción de metal, reutilización y recuperación de metal, la cáscara de sandía puede considerarse como un biosorbente ecológico y económico para remover Pb del agua y las aguas residuales (Liu et al.,2012).

El presente trabajo investiga la aplicación de biosorbente activado a base de cáscara de sandía para la remoción de cobre de una solución acuosa. Se evaluó el efecto de activación utilizando hidróxido de calcio y ácido cítrico asi como temperatura, pH, concentración inicial y potencia ultrasónica en el alcance de la eliminación. Los experimentos realizados en presencia de ultrasonido para investigar el grado de intensificación en comparación con

el tratamiento convencional basado en agitación revelaron que la tasa de adsorción aumenta significativamente en presencia de ultrasonidos (Gupa et al.,2016).

La corteza de sandía protonada químicamente (PWR) se evaluó como un producto eficiente y de bajo costo como adsorbente para la eliminación de iones Pb^{2+} y Cu^{2+} de soluciones acuosas. La activación de cáscara de sandía se llevó a cabo con HCl 0,1 M como agente protonante. Se encontró que la capacidad de carga máxima de PWR era 116.2 y 39.2 $mg*g^{-1}$ para los iones Pb^{2+} y Cu^{2+}, respectivamente. FTIR y rayos X de energía dispersiva (Lakshmipathy et al.,2016).

Se utilizó varios disolventes químicos que se utilizaron para pretratar la cáscara de sandía para mejorar su rendimiento de adsorción de iones Zn^{2+} con mejora de las propiedades físicas y químicas de la sandía tratada químicamente. Se descubrió que la solución de NaOH era el mejor disolvente de pretratamiento en comparación con $Ca(OH)_2$, H_2SO_4 y $C_6H_8O_7$, con el mayor porcentaje de eliminación de Zn^{2+} alcanzado hasta el 90.2 % utilizando NaOH en la corteza de sandía tratada (Kiew et al.).

Se utilizo residuos agrícolas de Citrullus lanatus como precursor para la eliminación de iones de níquel. Para eliminar el níquel de la solución sintética, se realizaron estudios de adsorción. La caracterización se realizó mediante TGA, SEM y FT-IR. Se realizaron diversos parámetros sobre la capacidad de adsorción del adsorbente, estudios isotérmicos y cinéticos. Se encontró que la capacidad de carga máxima de $Ni^{2}+$ era 38.98 mg/g del modelo Langmuir (Mathangi et al.,2019).

Se analizo bajo varias condiciones de pH y masa de bioabsorbente. Las concentraciones finales de metales se probaron mediante espectrometría de absorción atómica (AAS). Los resultados revelaron la remoción de plomo y zinc fue de 77.3% y 90.30%.

El pH óptimo para el plomo fue 6.0 mientras que el zinc fue 7.0 respectivamente. Ambos metales han mostrado la misma dosis óptima de bioabsorbente de 0.02 g en 30 minutos de tiempos de contacto. Mientras tanto la concentración inicial óptima de metal para plomo y zinc fue de 5 ppm y 1 ppm. Sin embargo, solo se logró una remoción del 77.3% en aguas residuales (Azizul-Rahman et al.,2013).

El presente estudio investiga cuatro adsorbentes preparados a partir de cáscara de sandía como material lignocelulósico para desarrollar adsorbentes óptimos para la remoción de cadmio de soluciones acuosas y muestras ambientales reales. La cáscara de sandía fue suspendida en agua desionizada y soluciones de H_2O_2 y NaOH, luego fueron irradiadas por microondas. Los experimentos de adsorción fueron realizados en modo discontinuo para estudiar los efectos de los tratamientos físicos y químicos sobre las propiedades de adsorción de cadmio del polvo. El análisis de isoterma reveló que el modelo de Langmuir podía describir los datos de adsorción y se encontró que las capacidades máximas de adsorción eran las más altas cuando la sandía se irradiaba en agua desionizada (Husein et al.,2017).

Se utilizaron cáscaras de sandía desechadas para preparar biocarbón poroso, que actúa como adsorbentes para la remoción de Tl tanto sintético como real. Se encontró que el biocarbón primario preparado bajo una temperatura de 500°C y era más eficiente para la eliminación de Tl(I). El biocarbón primario tuvo la mejor eficacia de eliminación de TI(I) en un amplio rango de pH (4-12), seguido del biocarbón modificado con KOH y modificado con HCl. La capacidad máxima de adsorción de TI(I) alcanzó 178.4 mg/g, superior a la de otros biocarbón. El biocarbón derivado de la cáscara de sandía exhibe un rendimiento de eliminación de TI(I) y una fuerte regenerabilidad, y es un adsorbente prometedor para la eliminación de TI(I) con excelentes perspectivas de aplicación (Li et al., 2019).

En este estudio, se sintetizó y utilizó un biocarbón a base de magnetita derivado de cáscaras de sandía como adsorbente y catalizador sostenible para la oxidación del hipoclorito y la eliminación de Tl (I) de las aguas residuales. La adición de hipoclorito mejoró sustancialmente la eliminación de Tl (I) bajo el rango de pH normal (6 – 9). Se alcanzó una capacidad máxima de adsorción de Tl de 1123mg/g, que es 12.3% mayor que el valor más alto reportado anteriormente. El biocarbón magnético se puede regenerar utilizando 0.1 mol/L de solución de HNO_3 para elución en sólo 5 min, con una eficiencia de desorción de Tl del 78.9%. (Li et al., 2020).

Se evaluó la remoción de arseniato (As(V)) y arsenito (As (III)) en corteza de sandía natural (WMR), WMR xantatado y WMR modificado con ácido cítrico en soluciones acuosas, y se determinó el potencial del sorbente más potente. Para la remoción de As en aguas subterráneas. La WMR xantada indico una remoción de As(V) y As (III) relativamente

mayor que la WMR modificada con ácido cítrico (CA-WMR) y RMC natural. La remoción máxima de As(III) con 99% y As(V) con 98% se obtuvo a pH 8.2 y 4.6 (Shakoor et al., 2018).

III HIPÓTESIS

El bioadsorbente a partir de cáscara de sandía permitirá la remoción de plomo en aguas para consumo humano

IVMATERIALES Y MÉTODOS

IV.1 Lugar y tiempo

Laboratorio 510 del departamento de química analítica e instrumental (Grupo de investigación (QAMALI) por un periodo de 4 meses.

IV.2 Descripción del Material Experimental

- Microscopía Electrónica de Barrido
- Espectroscopía de absorción atómica con llama

IV.3 Reactivos

- HCl grado analítico
-NaOH grado ACS, 99,5%
-Agua desionizada
-Nitrato de plomo grado ACS, 99,5%

IV.4 Equipos menores

-Balanza analítica
-Equipo de centrifuga
-Equipo de ultrasonido
-Equipo Vortex
-Medidor de pH
-Agitador orbital (Barnstead/Lab-line, MaxQ 4000

IV.2 Diseño experimental u observacional

IV.2.1 Preparación de la muestra

Se pesó aproximadamente 5 kg de cáscara de sandía, después se procedió a picar la cáscara de sandía en cuadros pequeños y seguidamente se extendió todo el material vegetal en bandejas cubiertas con papel absorbente para permitir un primer secado natural.
En una segunda etapa, el material se colocó en una estufa a 80C° durante 48 horas para asegurar la eliminación de todo el contenido de humedad.
Finalmente, el material vegetal pasó por un tratamiento de molienda y tamizado con malla N.º 40.



Figura 6. Cáscara de sandía secada naturalmente y molida.



Figura 7. Material vegetal a base de cáscara de sandía tamizada y secada.

IV.2.2 Acondicionamiento de material vegetal con HCl 0.1N

En un vaso de 600 ml se agregó un volumen de 30 mL de HCl 0.1N y 50g de material vegetal activado previamente secada, molida y tamizada. La mezcla permaneció bajo agitación constante por dos días.



Figura 8. Material vegetal en proceso de acondicionamiento con HCl 0.1N.

IV.2.3 Lavado de material vegetal

Se lavó el material vegetal activado con abundante agua desionizada hasta su neutralidad, se usó un medidor de pH para verificar la eliminación del ácido.



Figura 9. Material vegetal activado y seco.

IV .2.4 Estudio de biosorción de plomo (II)

Se utilizó un material vegetal hecho de cáscaras de Citrullus lanatus que habían sido tratadas y activadas previamente. Los ensayos se duplicaron en un frasco Erlenmeyer de 100 mL y las soluciones de plomo (II) filtradas se analizaron utilizando AAS.

IV.2.5 Estudio de la cinética de biosorción y constante de equilibrio

- Se pesó 0.2 g de material vegetal activado para cada uno de los 08 matraces.
- Se agregaron 30 ml de solución de plomo (II) a una concentración de 500 ug/L a cada matraz y se comenzó a agitar para todos a 100 rpm.
- Los matraces se fueron retirando uno a uno del agitador cada 30 minutos hasta completar el tiempo total de 1200 minutos.
- El contenido de cada matraz fue filtrado con Whatman Nº1 y analizado por absorción atómica
- Luego se realizaron los gráficos correspondientes.

IV.2.6 biosorción de Pb (II) en material vegetal activado con diferentes pesos de biosorbente

- Para la biosorción de los iones Pb(II) por material vegetal activado ,se tomaron 30mL de solución de plomo (II) y se colocaron en 4 matraces.
- A cada matraz se agregó 200, 150, 100 y 50 mg de material vegetal activado.
- Se agitaron las muestras durante 20 horas a 100 rpm y 24C°.
- El pH inicial (pH = 4.0) se mantuvo constante con una solución de HCl 0.1M y se agitaba constantemente durante todo el proceso.
- Después de filtrar las muestras, se utilizó el filtrado para determinar el plomo mediante la técnica de absorción atómica.

V RESULTADOS Y DISCUSION

V.1.Presentación y análisis de resultados

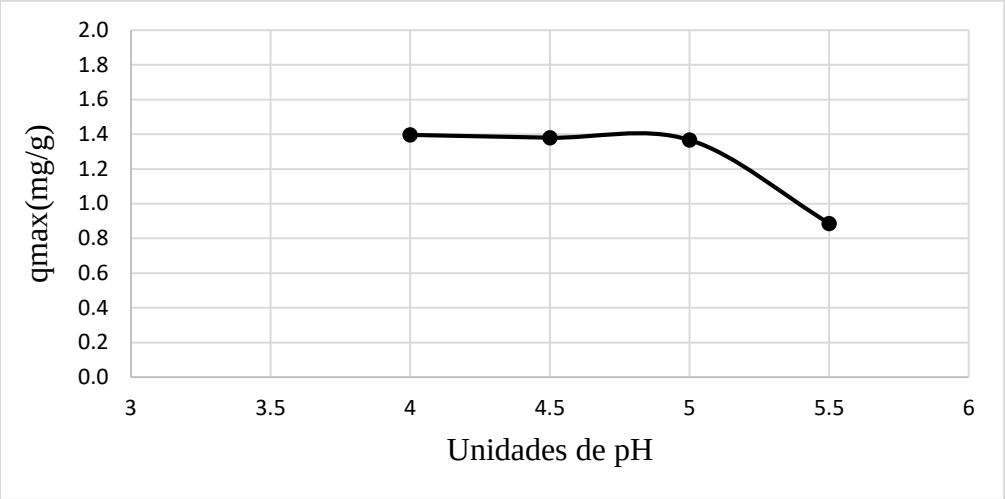


Figura 10. Capacidad máxima de adsorción en función del pH. Condiciones: 200 mg de material vegetal activado en soluciones iniciales de 10 mg/L de plomo (II)

En la prueba se ha demostrado que el pH tiene influencia en la capacidad de biosorción del plomo (II) con respecto al material vegetal activado propuesto en esta tesis, en la figura 10 se aprecia que la capacidad máxima de absorción se mantiene entre el pH 4.0 y 5.0, sin embargo, a partir de 5.0 decrece significativamente.

La capacidad máxima de biosorción (qmax=1,39695mg/g) se descubrió experimentalmente a un pH entre 4,0 y 5,0.

El pH de la solución es el principal factor que afecta la biosorción y los metales pesados. (Santos et al., 2018). Afecta directamente la carga en los sitios de sorción y también influye en gran medida en la absorción de iones metálicos (Calderón et al., 2020). Los cambios en la química de los metales, como la hidrólisis y la precipitación, los complejos con ligandos, las reacciones redox dependen en gran medida de las variaciones de pH. El material vegetal activado es rico en grupos funcionales como el hidroxilo (celulosa) y el carboxilo (pectina) (Quek et al., 2007). Un cambio en el pH de la solución trae cambios en el comportamiento de estos grupos funcionales. El pH a valores bajos favorece la biosorción.

V.1.1 Estudio de la cinética de la biosorción

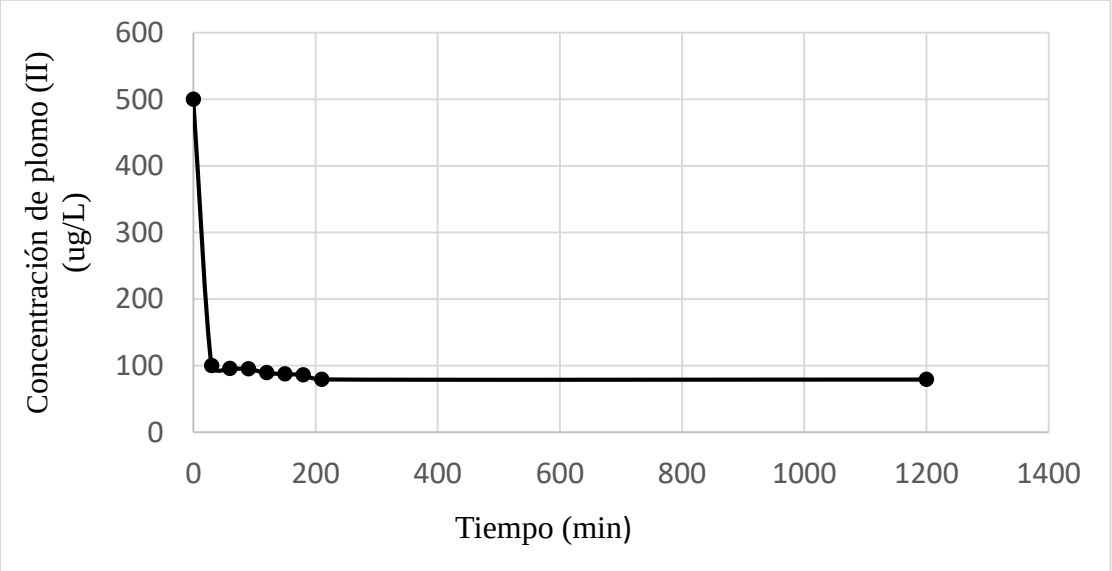


Figura 11. Concentración del plomo (II) en función al tiempo. Condiciones: 200 mg de material vegetal activado, pH = 4.0 +/- 0.2, tiempo máximo 20 horas, concentración inicial de plomo (II) 500 ug/L.

El estudio cinético de la biosorción de plomo (II) con material vegetal activado se inició con una concentración inicial de 500 ug/L y un pH inicial de 4 en agitación por 20 horas a 100 rpm a temperatura ambiente. Se analizó la concentración de la solución de plomo (II) en función del tiempo (min). Se tomarán cada 30 minutos desde el minuto cero hasta el tiempo de equilibrio, y se observará que la concentración de plomo disminuya con el tiempo. El equilibrio se alcanzó dentro de 210-1200 minutos donde no se observan diferencias significativas.

V.1.2 Proceso de adsorción de Pb (II) con material vegetal activado en función de cantidad de masa

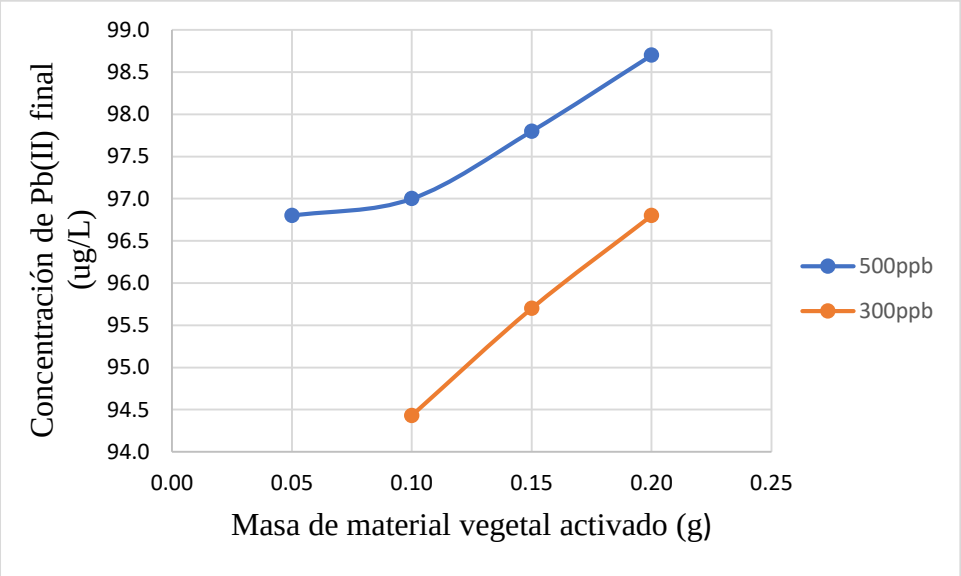


Figura. 12. Isoterma de adsorción de Pb (II) en material vegetal activado con diferentes cantidades de masa a pH = 4.0

Debido a que los iones plomo están en libre movimiento y el pH 4 es ideal para la adsorción debido que los grupos carboxílicos e hidroxilo son los causante de la adsorción, este método se mantiene a pH 4.

La biosorción de Pb(II) aumenta con el peso del bioadsorbente, como se muestra en la misma Figura 12.La eliminación máxima ocurre cuando el peso del biosorbente es de 0,2g.

V.1.3 Delimitación del efecto de concentración

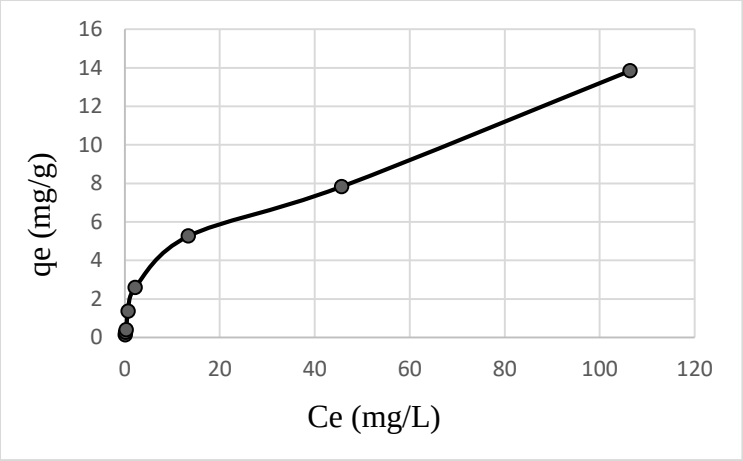


Figura 13. Gráfica del efecto de concentración en el plomo

V.1.4 Estudio de la biosorciòn de isotermas de Langmuir y Freundlich:

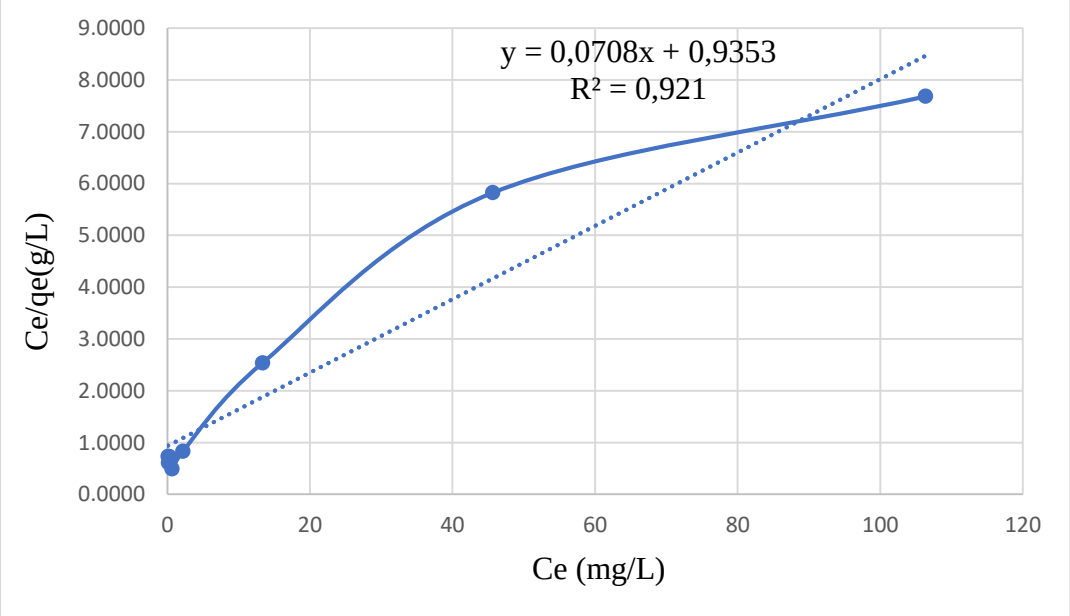


Figura 14. Forma lineal de la ecuación de Langmuir

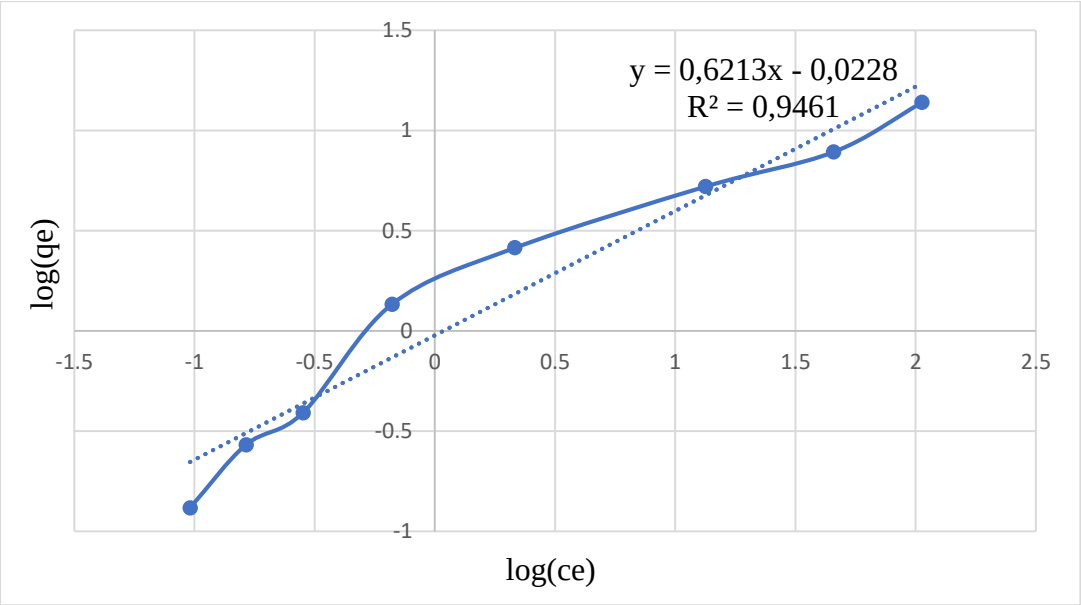


Figura 15. Forma lineal de la ecuación de Freundlich

Solo se fijará una molécula sobre cada sitio de fijación. En la cual cada molécula absorbida no interactuara entre estas moléculas fijadas y debido a la activación se tendrá sitios activos para esa fijación de las moléculas en la Isoterma de Langmuir.La isoterma de freundlich es para superficies heterogéneas donde también se utiliza para concentraciones bajas

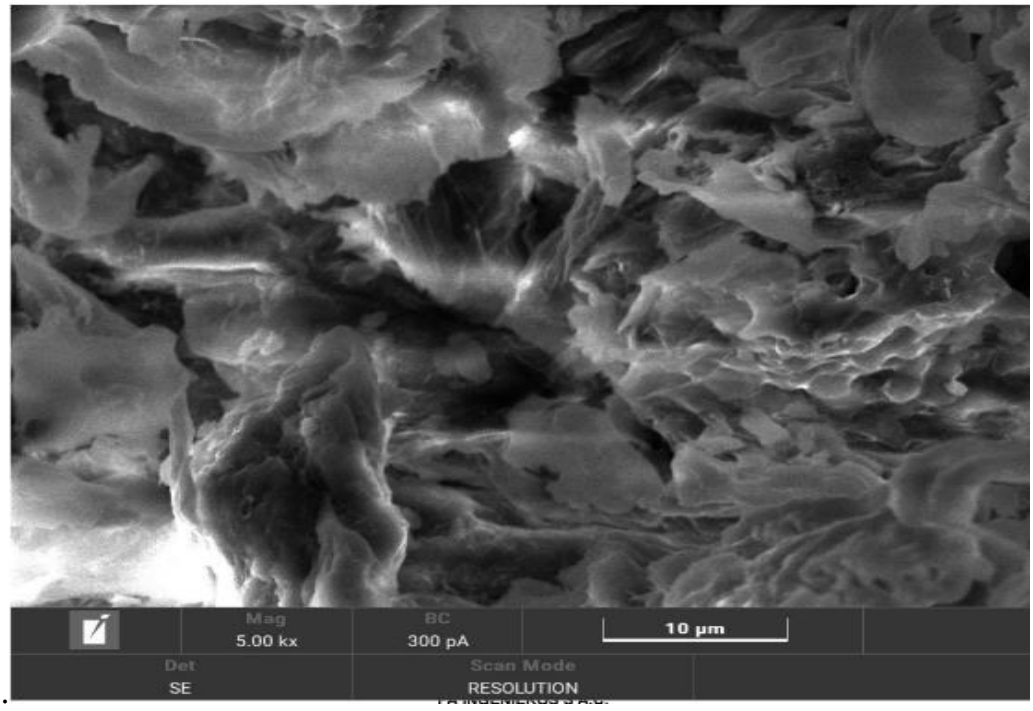


Figura 16. Biosorbente antes de activación con HCl

Se observó el biosorbente antes del proceso de biosorción. El resultado del SEM indica que presenta textura áspera. El área blanca contiene un elemento inorgánico de sílice, mientras que el área oscura está compuesta de proteína orgánica que es rica en carbono y oxígeno

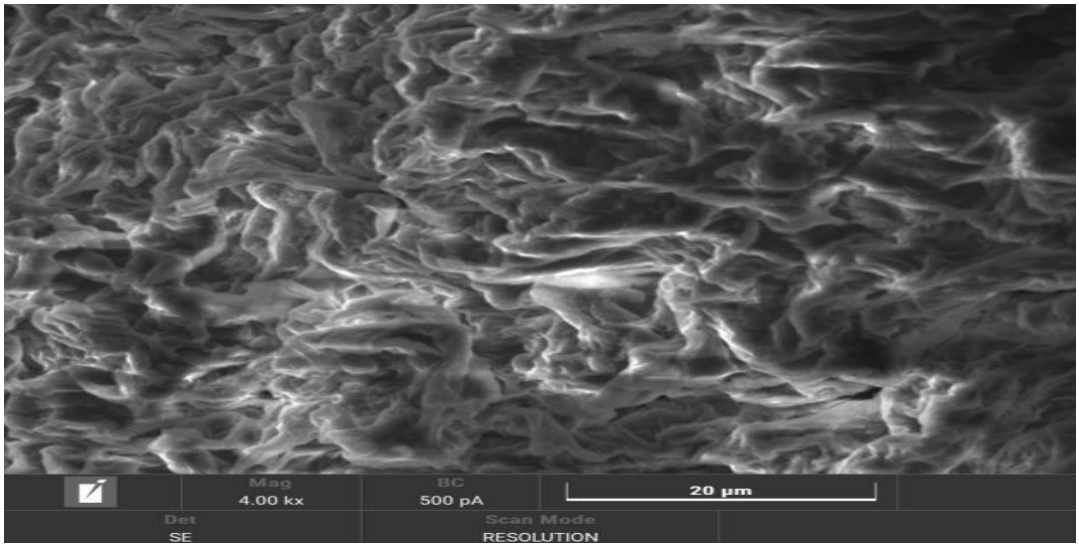


Figura 17. Biosorbente después del contacto con plomo.

Se observó en la superficie del biosorbente que las partículas metálicas se adherían y a medida que se adherían los poros en el área de la superficie se volvían mucho más pequeños.

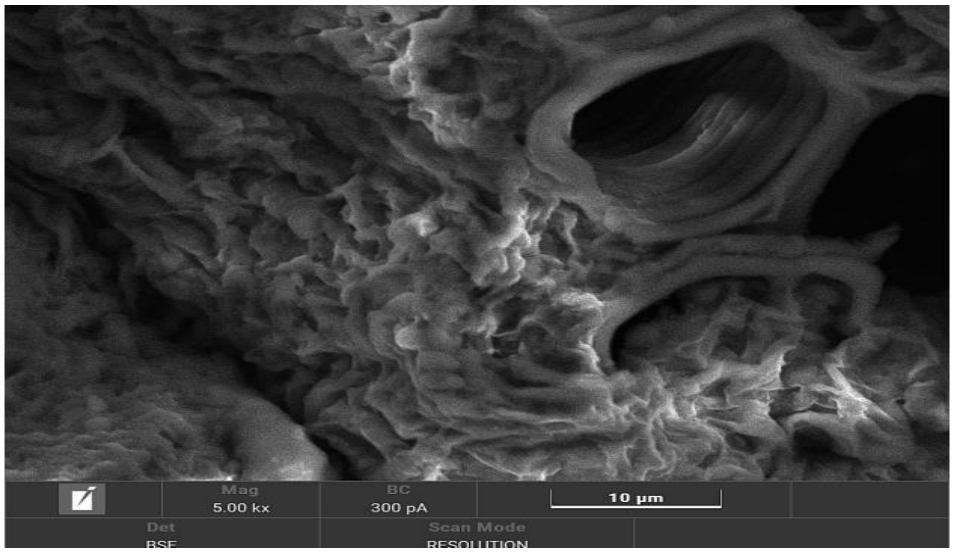


Figura16. Biosorbente después de activación con HCl

Se observó en la superficie los poros, que indicaría que ahí se alojarían iones metálicos como el plomo para el proceso de biosorcion después que se hizo la activación con HCl.

VI CONCLUSIONES

- La adsorción ideal está entre pH 4.0 y 5.0, como se muestra en la Figura 10, según las gráficas.
- Se obtuvo un tamaño partícula menor de 425 μm.
- Se evidencia un nivel de remoción de plomo (II) de 93.36%, lo cual indica la eficacia del material vegetal activado, por tanto, se puede utilizar como un biosorbente eficiente.
- Se utilizó una masa de biosorbente de 200 mg con un pH de 4.0 a 5.0 mientras se mantuvo en agitación constante y a temperatura ambiente para obtener la mayor cantidad de plomo (II) adsorbida.
- La capacidad máxima de 14,1243 mg/g y una constante de equilibrio de 0,0757 de los datos experimentales en el modelo de Langmuir .
- El proceso de biosorción logra el equilibrio en 3,5 horas.

VII RECOMENDACIONES

- Los desechos de cáscara de sandia son de gran cantidad y se pueden usar como biosorbentes.
- Se recomienda utilizar métodos fisicoquímicos para activar y alterar las propiedades de los biosorbentes y aumentar su capacidad de biosorción.
- Para comparar los resultados, busque otras fuentes biológicas de pectina, como (limón, tumbo, etc)

VIII BIBLIOGRAFIA

1. Lakshmipathy, R., & Sarada, N. C. (2016). Metal ion free watermelon (Citrullus lanatus) rind as adsorbent for the removal of lead and copper ions from aqueous solution. Desalination and Water Treatment, 57(33), 15362–15372. https://doi.org/10.1080/19443994.2015.1072064
2. Chulluncuy-Camacho, N. C. (2011). Tratamiento de agua para consumo humano.IngenieríAIndustrial,0(029),153.https://doi.org/10.26439/ing.ind2011.n029.23
3. Gupta, V. K., & Rastogi, A. (2008). Biosorption of lead(II) from aqueous solutions by non-living algal biomass Oedogonium sp. and Nostoc sp.A comparative study. Colloids and Surfaces. B, Biointerfaces, 64(2), 170–178. https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2008.01.019
4. Collin, M.Tovar, G. I., Senatov, F., Koppala, S., & Swamiappan, S. (2022). Bioaccumulation of lead (Pb) and its effects on human: A review. Journal of Hazardous Materials Advances, 7(100094), 100094. https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2022.100094
5. Gérente, C. (2000). Removal of metal ions from aqueous solution on low cost natural polysaccharides. Reactive & Functional Polymers, 46(2), 135–144. https://doi.org/10.1016/s1381-5148(00)00047-x
6. UNESCO, ONU-Agua, 2020: Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2020: Agua y Cambio Climático, París, UNESCO.
7. Fernández-Luqueño, F., López-Valdez, F., Gamero-Melo, P., Luna-Suárez, S., Aguilera-González, E.N., Martínez, A.I., García-Guillermo, M.d.S., Hernández-Martínez, G., Herrera-Mendoza, R., Álvarez-Garza, M.A., Pérez-Velázquez, I. R., 2013. Heavy metal pollution in drinking water - a global risk for human health: A review. Afr. J. Environ. Sci. Technol. 7: 567-584
8. COSUDE. 2022. Justificación Técnica Sustentatorio para la Elaboración de los Expedientes Técnicos y Sustento Técnico Legal de los Filtros de Tipo Doméstico y Comunal para la Remoción de Arsénico y otros Metales Pesados del Agua Potable para Consumo Humano. Página 15 y 16
9. Defensoría del Pueblo. 2021. En defensa de las personas expuestas a metales pasados, metaloides y otras sustancias químicas: Los impactos de la contaminación ambiental. Serie Informes de Adjuntía. Informe de Adjuntía N° 19-2021-DP/AMASPPI.

10. Us Epa OW. Basic information about lead in drinking water. 2016 [citado el 18 de junio de 2024]; Disponible en: https://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/basic-information-about-lead-drinking-water
11. Ghaedi M. Adsorption: Fundamental Processes and Applications [Internet]. Mehrorang G, editor. Vol. 33, Adsorption: Fundamental Processes and Applications 2021.2-213p from : https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818805-7.00001
12. Abbar, B., Alem, A., Marcotte, S., Pantet, A., Ahfir, N.-D., Bizet, L., & Duriatti, D. (2017). Experimental investigation on removal of heavy metals (Cu2+, Pb2+, and Zn2+) from aqueous solution by flax fibres. Process Safety and Environmental Protection : Transactions of the Institution of Chemical Engineers, Part B, 109, 639–647. doi:10.1016/j.psep.2017.05.012
13. Toth, J. (2002) Adsorption: Theory, Modeling, and Analysis (Surfactant Science Series, Volume 107), Marcel Dekker, New York.
14. Paso, K. G. (2022). Constructing thermodynamic models of toxic metal biosorption. En Microbial Biodegradation and Bioremediation (pp. 109–143). Elsevier.
15. Kanamarlapudi, S. L. R. K., Chintalpudi, V. K., & Muddada, S. (2018). Application of biosorption for removal of heavy metals from wastewater. En Biosorption. InTech.
16. Vahabisani, A., & An, C. (2021). Use of biomass-derived adsorbents for the removal of petroleum pollutants from water: a mini-review. Environmental Systems Research, 10(1). doi:10.1186/s40068-021-00229-1
17. Wang, J., & Chen, C. (2009). Biosorbents for heavy metals removal and their future. Biotechnology Advances, 27(2), 195–226. doi:10.1016/j.biotechadv.2008.11.002
18. Liu, Y., & Liu, Y.-J. (2008). Biosorption isotherms, kinetics and thermodynamics. Separation and Purification Technology, 61(3), 229–242. https://doi.org/10.1016/j.seppur.2007.10.002
19. Çeçen, F., & Aktaş, Ö. (2011). Activated carbon for water and wastewater treatment: Integration of adsorption and biological treatment. Wiley.
20. Li, C., Yu, Y., Fang, A., Feng, D., Du, M., Tang, A., Chen, S., & Li, A. (2022). Insight into biosorption of heavy metals by extracellular polymer substances and the improvement of the efficacy: a review. Letters in Applied Microbiology, 75(5), 1064–1073. https://doi.org/10.1111/lam.13563
21. Xing, X., Alharbi, N. S., Ren, X., & Chen, C. (2022). A comprehensive review on emerging natural and tailored materials for chromium-contaminated water treatment and

environmental remediation. Journal of Environmental Chemical Engineering, 10(2), 107325. doi:10.1016/j.jece.2022.107325

22. Çeçen, F., & Aktaş, Ö. (2011). Activated carbon for water and wastewater treatment: Integration of adsorption and biological treatment. Wiley.
23. Moghadam, M. R., Nasirizadeh, N., Dashti, Z., & Babanezhad, E. (2013). Removal of Fe(II) from aqueous solution using pomegranate peel carbon: equilibrium and kinetic studies. International Journal of Industrial Chemistry, 4(1), 19. https://doi.org/10.1186/2228-5547-4-19
24. Thomas, W. J., & Crittenden, B. (1998). Fundamentals of adsorption equilibria. En Adsorption Technology & Design (pp. 31–65). Elsevier.
25. Wang, R., Liang, R., Dai, T., Chen, J., Shuai, X., & Liu, C. (2019). Pectin-based adsorbents for heavy metal ions: A review. Trends in Food Science & Technology, 91, 319–329. doi:10.1016/j.tifs.2019.07.033
26. Mukhiddinov, Z.K., et al. (2000). Isolation and structural characterization of a pectin homo and ramnogalacturonan. Talanta, 53, pp. 171-176.
27. Liu, C., Ngo, H. H., & Guo, W. (2012). Watermelon rind: Agro-waste or superior biosorbent? Applied Biochemistry and Biotechnology, 167(6), 1699–1715. doi:10.1007/s12010-011-9521
28. Gupta, H., & Gogate, P. R. (2016). Intensified removal of copper from waste water using activated watermelon based biosorbent in the presence of ultrasound. Ultrasonics Sonochemistry, 30, 113–122. doi:10.1016/j.ultsonch.2015.11.016
29. Lakshmipathy, R., & Sarada, N. C. (2016). Metal ion free watermelon (Citrullus lanatus) rind as adsorbent for the removal of lead and copper ions from aqueous solution. Desalination and Water Treatment, 57(33), 15362–15372. doi:10.1080/19443994.2015.1072064
30. Kiew, P. L., & Toong, J. F. (2018). Screening of significant parameters affecting Zn (II) adsorption by chemically treated watermelon rind. Progress in Energy and Environment, 19–32. Recuperado https://www.akademiabaru.com/submit/index.php/progee/article/view/1048
31. Mathangi, J. B., & Helen Kalavathy, M. (2019). Study of mathematical models for the removal of Ni2+ from aqueous solutions using Citrullus lanatus rind, an agro-based waste. Water and Environment Journal: The Journal, 33(2), 276–291. doi:10.1111/wej.12408

32. Azizul-Rahman, M. F. H., Mohd-Suhaimi, A. A., & Othman, N. (2013). Biosorption of Pb(II) and Zn(II) in synthetic waste water by watermelon rind (Citrullus lanatus). Applied mechanics and materials, 465–466, 906–910. doi:10.4028/www.scientific.net/amm.465-466.906
33. Husein, D. Z., Aazam, E., & Battia, M. (2017). Adsorption of cadmium(II) onto watermelon rind under microwave radiation and application into surface water from Jeddah, Saudi Arabia. Arabian Journal for Science and Engineering, 42(6), 2403–2415. doi:10.1007/s13369-016-2381-2
34. Li, H., Xiong, J., Xiao, T., Long, J., Wang, Q., Li, K., … Zhang, H. (2019). Biochar derived from watermelon rinds as regenerable adsorbent for efficient removal of thallium(I) from wastewater. Process Safety and Environmental Protection : Transactions of the Institution of Chemical Engineers, Part B, 127, 257–266. doi:10.1016/j.psep.2019.04.031
35. Li, H., Xiong, J., Zhang, G., Liang, A., Long, J., Xiao, T., … Zhang, H. (2020). Enhanced thallium(I) removal from wastewater using hypochlorite oxidation coupled with magnetite-based biochar adsorption. The Science of the Total Environment, 698(134166), 134166. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.134166
36. Shakoor, M. B., Niazi, N. K., Bibi, I., Shahid, M., Sharif, F., Bashir, S., Rinklebe, J. (2018). Arsenic removal by natural and chemically modified water melon rind in aqueous solutions and groundwater. The Science of the Total Environment, 645, 1444–1455. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.07.218
37. Santos, S. C. R., Ungureanu, G., Volf, I., Boaventura, R. A. R., & Botelho, C. M. S. (2018). Macroalgae biomass as sorbent for metal ions. En Biomass as Renewable Raw Material to Obtain Bioproducts of High-Tech Value (pp. 69–112). Elsevier.
38. Ramírez Calderón, O. A., Abdeldayem, O. M., Pugazhendhi, A., & Rene, E. R. (2020). Current updates and perspectives of biosorption technology: An alternative for the removal of heavy metals from wastewater. Current Pollution Reports, 6(1), 8–27. https://doi.org/10.1007/s40726-020-00135-7.
39. Quek, S. Y., Chok, N. K., & Swedlund, P. (2007). The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. *Genie Des Procedes [Chemical Engineering and Processing]*, *46*(5), 386–392. https://doi.org/10.1016/j.cep.2006.06.020.

IX APÉNDICE

TABLA 1 Curva de calibración de plomo (II) (mg/L)

Concentración Pb (mg/L)	Absorbancia
0.5	0.0136
1.0	0.0305
3.0	0.0931
5.0	0.1480
10.0	0.2851

TABLA 2 Curva de calibración de plomo (II) (ug/L)

Concentración Pb (ug/L)	Absorbancia
4.0	0.0054
12.0	0.0105
20.0	0.0159

TABLA 3. Estudio de la cinética de Pb (II) con una masa de 0.2g de material vegetal activado

Tiempo (min)	Concentración Residual(ug/L)
0	500.0
30	100.0
60	96.0
90	95.4
120	89.44
150	87.6
180	86.4
210	79.7
1200	79.5

TABLA 4 Efecto del pH

Valores de pH	Concentración inicial Pb (II) (ppm)	Concentración final Pb (II) (ppm)	qmax(mg/g)
4.0	10	0.687	1.39695
4.5	10	0.795	1.38075
5.0	10	0.885	1.36725
5.5	10	4.095	0.88575

Volumen 30mL, masa biosorbente = 200 mg

TABLA 5. Remoción de Pb (II) en 30 mL de solución en diferentes cantidades de peso de material vegetal activado.

Concentración inicial Pb(II) (ug/L)	Masa (g)	Concentración de final Pb(II) (ug/L)
500	0.20	98.7
	0.15	97.8
	0.10	97.0
	0.05	96.8
300	0.20	96.8
	0.15	95.7
	0.10	94.43

TABLA 6 Datos obtenidos de los modelos de isotermas lagmuir y freundlich

				LAGMUIR		FREUNDLICH	
Masa de biosorbente	Ci (mg/L)	Cf (mg/L)	qe (mg/g)	Ce (mg/L)	Ce/qe	Log (Ce)	Log qe
0.208	1	0.0934	0.13076	0.096	0.7342	-1.01772877	-0.88352637
0.204	2	0.1643	0.26996	0.164	0.6075	-0.78515615	-0.5687072
0.209	3	0.2843	0.38981	0.283	0.7260	-0.54821356	-0.40914324
0.206	10	0.6643	1.35957	0.664	0.4884	-0.17783192	0.13340092
0.206	20	2.1543	2.59889	2.153	0.8284	0.33304403	0.41478762
0.209	50	13.3553	5.26000	13.35	2.5380	1.12548127	0.72098614
0.208	100	45.675	7.83534	45.63	5.8236	1.65925047	0.89405765
0.203	200	106.3423	13.84104	106.35	7.6837	2.02673749	1.14116871

Volumen de muestra 30 mL

TABLA 7 Datos obtenido para el %remoción

Masa Esperada (g)	Cc Inicial Pb (II) (ppm)	Cc Final Pb (II) (ppm)	% Remoción
0.2	1	0.0934	90.66
0.2	2	0.1643	91.79
0.2	3	0.2843	90.52
0.2	10	0.6643	93.36
0.2	20	2.1543	89.23
0.2	50	13.3553	73.29
0.2	100	45.675	54.33
0.2	200	106.3423	46.83

TABLA 8. Valores de constante de Isoterma de Langmuir para la adsorción de Pb(II) en material vegetal activado a partir de cáscara de sandía

ecuación de la recta de Langmuir

Ce/qe	1/(qmáx.Kc)	1/qmáx	Ce
y	0.9353	0.0708	x

q máx.	14,1243
Kc	0.0757

TABLA 9. Valores de constante de la Isoterma de Freundlich para la remocion de Pb(II) en residuo vegetal de sandía activada con HCl

De las gráficas se obtuvieron los siguientes datos:

Log qe	Log Kf	1/n	Log Ce
y	0.0228	0.6213	x

Kf	1.053
n	1.609

X ANEXO

INFORME DE LABORATORIO

ANÁLISIS MINERALÓGICO POR MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO DE DOS MUESTRAS

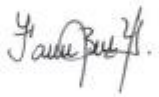
PARA:

ELION VICENTE FUENTES RUIZ

IL-OTSM-155-2023_Rev.0

CSM-249-2023_Rev.0

Julio, 2024



Ing. Fanny Blas Rodríguez
CIP N° 84066
Gerente General

Informe de ensayo No: IL-OTSM-155-2024 CSM-249-2024_Rev.0			
REV.	**EDICIÓN**	**EMITIDO PARA**	**FECHA**
0	Primera	Información	19 – Julio - 2024
Descargo de responsabilidad: Los resultados de los ensayos pertenecen solo a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas del producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.			
Los ensayos se han realizado en el Laboratorio de FA INGENIEROS ubicado en Av. Angélica Gamarra 1385 Urb. Santa Rosa Mz "M" Lote 03. Lima 39 – Perú, si el servicio considera la(s) contramuestra(s) del producto, estas serán conservadas por un período de tiempo declarado y/o acordado con el cliente, luego del cual se eliminarán según nuestros procedimientos internos.			

INFORME DE ENSAYO Nº 019-2024

Cliente	ELION VICENTE FUENTES RUIZ
Dirección del cliente	FQIQ-UNMSM
Referencia USAQ	019
Denominación de la muestra	SOLUCIONES LÍQUIDAS
Fecha de recepción	23/07/2024
Fecha de análisis	24/07/2024
Fecha de emisión de informe	26/07/2024
Características de muestra.	Soluciones transparentes

Referencia USAQ	*Determinación o Parámetro*	*Especificación de la muestra*	*Resultado*	*Unidad*
019-01	Plomo	m1 ci = 1	0.0934	mg/L
019-02	Plomo	m2 ci = 2	0.1643	mg/L
019-03	Plomo	m3 ci = 3	0.2843	mg/L
019-04	Plomo	m4 ci = 10	0.6643	mg/L
019-05	Plomo	m5 ci = 20	2.1543	mg/L
019-06	Plomo	m6 = 50	13.3553	mg/L
019-07	Plomo	m7 ci = 100	45.6750	mg/L
019-08	Plomo	m8 ci = 200	106.3423	mg/L
019-09	Plomo	m11 pH = 4	0.6870	mg/L
019-10	Plomo	m12 pH = 4.5	0.7950	mg/L
019-11	Plomo	m13 pH = 5	0.8850	mg/L
019-12	Plomo	m14 pH = 5.5	4.0950	mg/L
019-13	Plomo	Pb = 300 ppb; w= 0.2	96.8	µg/L
019-14	Plomo	Pb = 300 ppb; w= 0.15	95.7	µg/L
019-15	Plomo	Pb = 300 ppb; w= 0.1	94.43	µg/L

Limites de detección y Métodos

Determinación o parámetro	*Limite de detección*	*Método Instrumental*
Plomo	No aplica	USAQ-ME-2024 AAS

PERCY YAQUE LOPEZ MARILUZ
QUÍMICO
CQP. 876
RESPONSABLE DE LABORATORIO

INFORME DE ENSAYO Nº 015-2024

Cliente	ELION VICENTE FUENTES RUIZ
Dirección del cliente	FQIQ-UNMSM
Referencia USAQ	015
Denominación de la muestra	SOLUCIONES LÍQUIDAS
Fecha de recepción	3/07/2024
Fecha de análisis	5/07/2024
Fecha de emisión de informe	6/07/2024
Características de muestra.	Soluciones transparentes

Referencia USAQ	*Determinación o Parámetro*	*Especificación de la muestra*	*Resultado*	*Unidad*
015-01	Plomo	STD 0	500	µg/L
015-02	Plomo	STD 30	100	µg/L
015-03	Plomo	STD 60	96	µg/L
015-04	Plomo	STD 90	95.4	µg/L
015-05	Plomo	STD 120	89.44	µg/L
015-06	Plomo	STD 150	87.6	µg/L
015-07	Plomo	STD 180	86.4	µg/L
015-08	Plomo	STD 210	79.7	µg/L
015-09	Plomo	STD 1200	79.5	µg/L
015-10	Plomo	STD 0.2 g	98.7	µg/L
015-11	Plomo	STD 0.15 g	97.8	µg/L
015-12	Plomo	STD 0.1 g	97	µg/L
015-13	Plomo	STD 0.05 g	96.8	µg/L

Limites de detección y Métodos

Determinación o parámetro	*Limite de detección*	*Método Instrumental*
Plomo	No aplica	USAQ-ME-2024 AAS

PERCY YAQUE LOPEZ MARILUZ
QUÍMICO
CQP. 876

RESPONSABLE DE LABORATORIO