Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América

Dirección General de Estudios de Posgrado
Facultad de Farmacia y Bioquímica
Unidad de Posgrado

Evaluación de la capacidad biosorbente de la biomasa de la vaina de la *Caesalpinia spinosa* "tara" frente al plomo

TESIS

Para optar el Grado Académico de Magíster en Productos Naturales y Biocomercio

AUTOR

Jimmy LIMAYMANTA GONZALES

ASESOR

Mg. Mónica Guadalupe RETUERTO FIGUEROA

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

Limaymanta J. Evaluación de la capacidad biosorbente de la biomasa de la vaina de la Caesalpinia spinosa “tara” frente al plomo [Tesis de maestría]. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Farmacia y Bioquímica, Unidad de Posgrado; 2024.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Jimmy Limaymanta Gonzales
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	74250480
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-1194-8927
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Mónica Guadalupe Retuerto Figueroa
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	09481617
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-8706-2789
Datos de coasesor	
Nombres y apellidos	Jose Alfonso Apesteguia Infantes
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	09359857
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-6546-2298
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Jorge Leonardo Jave Nakayo
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	01066653
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Manuel Alberto Torres Roca

Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	07257329
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Amadeo Collado Pacheco
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	07535726
Miembro del jurado 3	
Nombres y apellidos	Mónica Guadalupe Retuerto Figueroa
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	09481617
Datos de investigación	
Línea de investigación	Recursos y productos naturales con potencial farmacéutico, alimentario, cosmético y terapéutico.
Grupo de investigación	Farmacognosia y Medicina Tradicional.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	Edificio: Facultad de Farmacia y Bioquímica, Laboratorio de Farmacognosia y Medicina Tradicional País: Perú Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: Cercado de Lima Calle: Jr. Puno N°1002 Latitud: -12.05572 Longitud: -77.02324
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Julio 2020 – Marzo 2021
URL de disciplinas OCDE	Toxicología https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#3.01.07

Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Farmacia y Bioquímica
Unidad de Posgrado

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE MAGÍSTER EN PRODUCTOS NATURALES Y BIOCOMERCIO

Siendo las **12:30 hrs. del 19 de diciembre del 2024** se reunieron en el auditorio de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Farmacia y Bioquímica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, el Jurado de tesis, presidido por el Dr. Jorge Leonardo Jave Nakayo e integrado por los siguientes miembros: Mg. Mónica Guadalupe Retuerto Figueroa (asesora), Mg. Manuel Alberto Torres Roca y el Mg. Amadeo Collado Pacheco; para la sustentación oral y pública de la tesis intitulada: **EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD BIOSORBENTE DE LA BIOMASA DE LA VAINA DE LA *Caesalpinia spinosa* "tara" FRENTE AL PLOMO,** presentado por el Bachiller en Farmacia y Bioquímica **Jimmy Limaymanta Gonzales.**

Acto seguido se procedió a la exposición de la tesis, con el fin de optar al Grado Académico de **Magíster en Productos Naturales y Biocomercio.** Formuladas las preguntas, éstas fueron absueltas por el graduando.

A continuación el Jurado de la tesis procedió a la calificación, la que dio como resultado el siguiente calificativo:

..... **16 - Dieciséis (Bueno)** .....

Luego el Presidente del Jurado recomienda que la Facultad proponga que se le otorgue al Bachiller en Farmacia y Bioquímica **Jimmy Limaymanta Gonzales**, el Grado Académico de **Magíster en Productos Naturales y Biocomercio.**

Siendo las **13:40** hrs. se levanta la sesión.

Se extiende el acta en Lima, a las **13:45** hrs. del 19 de diciembre de 2024

Dr. Jorge Leonardo Jave Nakayo P. Asoc. T. C.) Presidente	Mg. Mónica Guadalupe Retuerto Figueroa (P.Asoc. D.E.) Miembro - Asesora
Mg. Manuel Alberto Torres Roca (P. Asoc, T.P.) Miembro	Mg. Amadeo Collado Pacheco (P. Asoc, T.P.) Miembro

Observaciones:

.....

.....

Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Farmacia y Bioquímica
Unidad de Posgrado

EL DIRECTOR DE LA UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE FARMACIA Y BIOQUÍMICA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS QUE SUSCRIBE DEJA,

CONSTANCIA

00062-FFB-UPG-2021

Que, mediante procedimiento de la evaluación de originalidad según Resolución Rectoral N° 043005-R-18, de la tesis intitulada: **Evaluación de la capacidad biosorbente de la biomasa de la vaina de la *Caesalpinia spinosa* "tara" frente al plomo,** presentado por **Jimmy Limaymanta Gonzales,** con fecha de recepción 25/08/2021, con fecha de aplicación al programa de similitud el 16/11/2021 con el software utilizado el TURNITIN, con la configuración de exclusión de textos entrecomillas, bibliografías y cadenas menores a 40 palabras, mediante el procedimiento de la evaluación de originalidad, el porcentaje de similitud según programa detector es **9%**, por lo que, cumple los criterios de originalidad sin observación, según informe adjunto.

Se expide la presente constancia para el trámite de expedito, según lo establecido en el Reglamento General de Estudios de Posgrado 2018, aprobado con RR. 04790-R-18.

Lima, 16 de noviembre de 2021

UNMSM
Firmado digitalmente por JAVE NAKAYO Jorge Leonardo FAU 20148092282 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 16.11.2021 12:55:51 -05:00

DR. JORGE LEONARDO JAVE NAKAYO
DIRECTOR

JLJN/ecj

DEDICATORIA

A Dios quien bendice mi profesión y mi hogar, gracias por estar con nosotros todos estos años.

Con mucha gratitud, respeto y amor a mi madre Liliana Linda Gonzales Urcuhuaranga y mi padre Fredy Limaymanta Surichaqui, quienes hicieron el enorme sacrifico para poder darle un estudio profesional a su amado hijo y por apoyarme en todos los momentos de mi vida.

AGRADECIMIENTO

A mi asesora Mg Mónica Guadalupe Retuerto Figueroa y a mi asesor Dr. José Alfonso Apesteguía Infantes por su apoyo incondicional en estos meses, demostrando ser unos grandes profesionales.

A mi jurado examinador y calificador: Dr. Jorge Leonardo Jave Nakayo, Mg. Manuel Alberto Torres Roca y Mg. Amadeo Collado Pacheco por haber despertado de cierta manera mi espíritu de investigador.

A mi hermano Jhery, quien por medio de sus consejos y apoyo me ayudo a conocer y elegir esta noble profesión y por el apoyo mutuo durante los años de estudio.

ÍNDICE

RESUMEN iii
ABSTRACT iv
I. INTRODUCCIÓN 1
1.1. Objetivo general 2
1.2. Objetivos específicos 2
II. MARCO TEÓRICO 3
2.1. Antecedentes 3
2.2. Aspectos teóricos 4
2.2.1. Contaminación del agua 4
2.3. Contaminación ambiental por metales pesados 5
2.3.1. Plomo 6
2.3.2. Fuentes de contaminación del plomo 6
2.3.3. Efectos en la salud 7
2.4. Biosorción 7
2.4.1. Biosorbente 8
2.4.2. Principales factores que afectan el proceso de biosorción 9
2.4.3. *Caesalpinia spinosa* 10
III. METODOLOGÍA 14
3.1. Flujograma del trabajo experimental 14
3.2. Materiales 15
3.3. Metodología 15
3.3.1. Tipo de investigación: 15
3.3.2. Lugar de desarrollo de la investigación 15
3.3.3. Colección e identificación del material botánico 15
3.3.4. Obtención de la biomasa 16
3.3.5. Estudio fitoquímico 16
3.3.6. Determinación de polifenoles 16
3.3.7. Acondicionamiento de las soluciones del metal 16
3.3.8. Acondicionamiento del material biosorbente 17
3.3.9. Método experimental y condiciones de operación 17
3.3.10. Factores, niveles y combinaciones de los tratamientos en estudio 17
3.3.11. Análisis preliminares 18

3.3.12. Cuantificación de plomo no retenido 18
3.3.13. Diseño experimental 19
3.3.14. Análisis estadístico de los datos 19
IV. RESULTADOS 22
4.1. Obtención y descripción de la biomasa. 22
4.2. Screening fitoquímico 22
4.2.1. Determinación de polifenoles. 23
4.3. Determinación de la actividad biosorbente 24
4.3.1. Análisis preliminar. 24
4.3.2. Determinación de plomo por absorción atómica 25
4.3.3. Determinación de la capacidad de biosorción y el porcentaje de remoción 26
4.3.4. Análisis estadístico. 26
V. DISCUSIÓN 33
VI. CONCLUSIONES 35
VII. RECOMENDACIONES 36
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 37
IX. ANEXOS……...46
9.1. Certificación de identificación botánica 46
9.2. Fotos del material biológico 47
9.3. Screening fitoquímico 48
9.4. Determinación de polifenoles por el método de Folin-Ciocalteu 49
9.5. Determinación de la actividad biosorbente 49
9.6. Análisis preliminares 50

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar la capacidad biosorbente de la biomasa de la vaina de la *Caesalpinia spinosa* "tara" frente al plomo, caracterizando la biomasa de la vaina y determinando la interacción de los factores masa, tiempo de contacto y concentración de plomo en la capacidad biosorbente de la biomasa de la vaina de la tara frente al plomo. La especie vegetal se recolectó en la provincia de San Miguel, departamento de Cajamarca. El trabajo se realizó en 2 etapas: se obtuvo y caracterizó la biomasa empleando el screening fitoquímico; se cuantificó los polifenoles por el método de Folin-Ciocalteu y se determinó la capacidad biosorbente de la biomasa frente al plomo para el cual se realizó un diseño factorial 2^3 por duplicado empleando Minitab 19.1.1.0 siendo cuantificado empleando la técnica de espectroscopia de absorción atómica. En el extracto se evidenció la presencia principal de taninos y compuesto fenólicos libres, además se determinó una concentración de polifenoles de 36,6%. Los resultados indicaron que la mayor biosorción se logró con una masa de 40 g, 120 minutos de tiempo de contacto a una concentración de plomo de 141,295 ppm. El modelo cinético que describió mejor el proceso de biosorción tuvo un coeficiente de correlación de R^2=0,996; asimismo se determinó que la capacidad máxima de biosorción fue de 0,537, demostrando que el factor tiempo y concentración plomo afecta de manera significativa en la respuesta. Mientras que el mayor porcentaje de remoción se logró con una masa de 80 g del material adsorbente, 120 minutos de tiempo de contacto a una concentración de plomo de 141,295 ppm. El modelo cinético que describió mejor el proceso de biosorción tuvo un coeficiente de correlación de R^2=0,997; asimismo se determinó que el porcentaje máximo de remoción fue de 35,197, demostrando que el factor masa, tiempo y concentración plomo afectan de manera significativa en la respuesta. La interacción de los tres factores es significativa en la capacidad de biosorción y en el porcentaje de remoción.

Palabras clave: *Caesalpinia spinosa*, plomo, biosorción y absorción atómica.

ABSTRACT

The objective of this research work was to evaluate the biosorbent capacity of the biomass of the *Caesalpinia spinosa* "tara" pod against lead, characterizing the biomass of the pod and determining the interaction of the factors mass, contact time and concentration of lead in the biosorbent capacity of the tare sheath biomass against lead. The plant species was collected in the province of San Miguel, department of Cajamarca. The work was carried out in 2 stages: the biomass was obtained and characterized using phytochemical screening; The polyphenols were quantified by the Folin-Ciocalteu method and the biosorbent capacity of the biomass against lead was determined, for which a factorial design 2^3 was performed in duplicate using Minitab 19.1.1.0, being quantified using the atomic absorption spectroscopy technique. In the extract the main presence of tannins and free phenolic compounds was evidenced, in addition a polyphenol concentration of 36,6% was determined. The results indicated that the highest biosorption was achieved with a mass of 40 g, 120 minutes of contact time at a lead concentration of 141,295 ppm. The kinetic model that best described the biosorption process had a correlation coefficient of R^2 = 0,996; Likewise, it was determined that the maximum biosorption capacity was 0,537, showing that the time factor and lead concentration significantly affect the response. While the highest percentage of removal was achieved with a mass of 80 g of adsorbent material, 120 minutes of contact time at a lead concentration of 141,295 ppm. The kinetic model that best described the biosorption process had a correlation coefficient of R^2 = 0,997; Likewise, it was determined that the maximum removal percentage was 35,197, showing that the mass factor, time and lead concentration significantly affect the response. The interaction of the three factors is significant in the biosorption capacity and in the removal percentage.

Keywords: *Caesalpinia spinosa*, lead, biosorption and atomic absorption.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Factores y niveles a evaluar en los tratamientos en estudio. 17
Tabla 2. Combinaciones de los factores para los tratamientos en estudio. 18
Tabla 3. Determinación cualitativa del plomo. 18
Tabla 4. Características organolépticas de las pepas, valvas y biomasa seca de *Caesalpinia spinosa*. 22
Tabla 5. Screening fitoquímico de la *Caesalpinia spinosa* 22
Tabla 6. Contenido de ácido gálico para la determinación de fenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu 23
Tabla 7. Absorbancia de la muestra problema. 24
Tabla 8. Concentración (µg/mL) de ácido gálico en cada prueba. 24
Tabla 9. Conversión a µg de ácido por gramo de tara 24
Tabla 10. Determinación cualitativa de plomo usando una solución KI 5 % en los 8 tratamientos. 25
Tabla 11. Determinación cuantitativa de plomo por medio de absorción atómica. 25
Tabla 12. Determinación de la capacidad de biosorción y el porcentaje de remoción. .. 26
Tabla 13. Análisis de los modelos para capacidad de biosorción. 26
Tabla 14. Análisis de varianza de los 3 factores para capacidad de biosorción. 27
Tabla 15. Coeficientes de regresión para capacidad de biosorción. 28
Tabla 16. Análisis de los modelos para porcentaje de remoción. 29
Tabla 17. Análisis de varianza de los 3 factores para porcentaje de remoción. 30
Tabla 18. Coeficientes de regresión para porcentaje de remoción. 31

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura química del plomo (inorgánico y orgánico) 6
Figura 2. Ecuación de van't Hoff 10
Figura 3. Árbol de la tara 11
Figura 4. Vaina, semilla, goma en split y goma en polvo 12
Figura 5. Tanino de la *Caesalpinia spinosa* 13
Figura 6. Diagrama de flujo de la parte experimental de la determinación de la capacidad biosorbente de la *Caesalpinia spinosa* 14
Figura 7. Curva de calibración del ácido gálico para la determinación de fenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu. 23
Figura 8. Diagrama de Pareto de los factores y sus interacciones para capacidad de biosorción 27
Figura 9. Grafica de cubos (medias ajustadas) para capacidad de biosorción. 28
Figura 10. Valores observados Vs predichos para capacidad de biosorción. 29
Figura 11. Diagrama de Pareto de los factores y sus interacciones para porcentaje de remoción. 30
Figura 12. Grafica de cubos (medias ajustadas) de porcentaje de remoción. 31
Figura 13. Valores observados Vs predichos para porcentaje de remoción. 32
Figura 14. Clasificación botánica de la *Caesalpinia spinosa* 46
Figura 15. Vainas de *Caesalpinia spinosa* 47
Figura 16. Biomasa de *Caesalpinia spinosa* 47
Figura 17. Semillas de *Caesalpinia spinosa* 47
Figura 18. Screening fitoquímico de *Caesalpinia spinosa* 48
Figura 19. Prueba de Folin-Ciocalteu del extracto acuoso de *Caesalpinia spinosa.* 49
Figura 20. Bolsitas con 10 gramos de biomasa de *Caesalpinia spinosa* 49
Figura 21. 4 bolsitas con 10 gramos de biomasa de *Caesalpinia spinosa* 49
Figura 22. Pruebas con 4 bolsitas con 10 gramos de biomasa de *Caesalpinia spinosa*. 50
Figura 23. Pruebas con 8 bolsitas con 10 gramos de biomasa de *Caesalpinia spinosa*. 50
Figura 24. Identificación de plomo con KI 5% en los tratamientos 1 al 8 frente a un control negativo y positivo. 50
Figura 25. Reacción de precipitación de yoduro de plomo. 51

I. INTRODUCCIÓN

Uno de los principales problemas que afecta a la sociedad del siglo XXI es sin duda la preocupación por la creciente emisión de residuos generados por las industrias y la actividad humana, las cuales por diversos mecanismos se acumulan en el suelo, aire y agua que a su vez se bioacumulan en animales, vegetales y el ser humano.

En el Perú la minería es una de las principales actividades que genera mayor contaminación del suelo, aire y agua con metales pesados y diversos residuos tóxicos haciendo que el ambiente ya no sea adecuado para actividades como la agricultura y la ganadería. La calidad de agua de las zonas aledañas se ve alterada negativamente debido a que no se está efectuando un control correcto en el saneamiento, higiene y la gestión de los recursos hídricos. La contaminación del agua produce consecuencias negativas sobre el desarrollo económico y social en las comunidades, por lo que es necesario buscar soluciones.

Uno de los principales contaminantes del agua son los metales pesados y dentro de estos encontramos al plomo (Pb) que es un metal gris azulino que se presenta de forma natural en la corteza terrestre, que ingresa al medioambiente de distintas maneras como: producto de la extracción minera, resultado del uso de pinturas y gasolina, entre otras. La fisiopatología asociada al plomo es básicamente sobre el sistema hematopoyético, el sistema nervioso (central y periférico), el sistema renal, cardiovascular, digestivo, reproductor, endocrino, etc. El plomo al no ser un elemento biodegradable se convierte en una amenaza para el ambiente y la salud.

Este problema se busca solucionar con métodos químicos que precipitan estos metales y así poder eliminarlo; sin embargo, estos traen efectos colaterales. Actualmente se buscan diversas técnicas para reducir la cantidad de contaminantes como el plomo en el agua. Una de las técnicas es la biorremediación con el uso de plantas, que es un proceso de bajo costo, práctico, sostenible y que no causa daños al medio ambiente.

La *Caesalpinia spinosa* "tara", es una especie forestal distribuida por todo el territorio costeño de Perú, así como en los valles interandinos, estando disponible entre los meses de mayo a agosto. El uso de las vainas por los pobladores de las distintas provincias es de forma experimental; razón que nos llevó a optar por esta investigación con la finalidad de poder determinar taninos y polifenoles asociándolo a su uso medicinal, industrial y

ambiental, pero ahora nos centraremos en su propiedad de biosorción, principalmente frente al plomo, para lograr este propósito, se plantea los siguientes objetivos:

1.1. Objetivo general

Evaluar la capacidad biosorbente de la biomasa de la vaina de la *Caesalpinia spinosa* "tara" frente al plomo.

1.2. Objetivos específicos

- Caracterizar la biomasa de la vaina de la *Caesalpinia spinosa* "tara".
- Determinar la interacción de los factores masa, tiempo y concentración de plomo en la capacidad biosorbente de la biomasa de la vaina de la *Caesalpinia spinosa* "tara" frente al plomo.
- Determinar la interacción de los factores masa, tiempo y concentración de plomo en el porcentaje de remoción de la biomasa de la vaina de la *Caesalpinia spinosa* "tara" frente al plomo.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

La *Caesalpinia spinosa* "tara" es una especie vegetal tipo árbol originario de Perú y distribuido por todo los andes sudamericanos, siendo esta la de mejor calidad frente a la de otros países, es aprovechado en las industrias del curtido por su alto contenido de taninos (industria química) y gomas (aditivo hidrocoloide)[1]. El Perú, es el principal productor de tara con más del 75% de la producción mundial, su producción es principalmente de bosques naturales, las principales regiones productoras en el Perú son Ayacucho y Cajamarca[2].

Un inconveniente en el aprovechamiento de los metabolitos de la tara para la industria es cuando se debe hacer la cosecha para poder obtener mayor rendimiento de taninos y gomas; por ello en un estudio se determinó la concentración de los taninos de la tara en dos zonas geográficas con dos condiciones distintas (cultivada y silvestre) en cuatro niveles distintos de madurez, en el cual se concluyó que el mejor momento es entre segundo y el quinto mes después de la floración, no evidencia diferencia significativa en las zonas geográficas y las condiciones[3].

En las empresas de curtiembres de Perú la tara viene usándose con bastante éxito en forma directa, para cueros claros. En Francia se desarrolla un tipo de curtiente a base de la tara, se pronostica que va a sustituir a los curtientes tradicionales[4]. Sus vainas son usadas para obtener taninos y gomas (de alta importancia industrial), mientras que sus órganos aéreos se utilizan como combustible especialmente en hornos, la madera se usa para la construcción de chozas y en los últimos años como cerco de los canales de riego[5].

En el Perú, la tara se ha usado tradicionalmente para curtir pieles, sin embargo, para medicina natural tiene diversos usos; como por ejemplo en Ancash utilizan el polvo de los frutos secos para tratar la escabiosis en la piel de humanos y animales, se usa la cocción de las vainas para el lavado íntimo de la mujer (contra las infecciones), etc[6].

La tara es un remedio natural de amplio uso desde la época incaica[7]. Sigue siendo usada por sus propiedades medicinales como antiinflamatorio, contra infecciones bronquiales se emplea mediante gárgaras, sinusitis; alivia la inflamación ocular, infecciones vaginales

y micóticas, reduce la caries dental; alivia los problemas digestivos, reumatismo y depurativo del colesterol[8].

La tara es la más fundamental fuente de materia prima para la obtención de moléculas pirogálicas; se ha aumentado su uso en la industria farmacéutica debido a la producción de la trimetoprima, trimetoxiacetofenona, trimetoxibenzoato de metilo, antioxidantes, curtientes, etc[9].

La tara es objeto de estudio por su capacidad fitorremediadora para el tratamiento de efluentes industriales debido a su alta presencia de taninos en las valvas y gomas en las semillas[6]. Estos componentes participan de manera conjugada en la interacción de mucilagos, taninos, gomas y metales en el agua, de esta manera genera la desestabilización coloidal así con la presencia de difenoles le da la capacidad de formar quelatos tanino-metal[10].

Revelo *et al*. propuso el uso de la tara en el tratamiento de aguas residuales para lo cual se enfrentaron con muestras tomadas en Tungurahua, Ecuador frente a diversas concentraciones del coagulante. Se realizó un diseño experimental, en el cual se usaron 3 factores: velocidades de agitación (40 y 200 rpm) tiempo de agitación (3, 5, 15 y 20 minutos) y concentración del coagulante (9,0, 5,7, 23,3, 18,0, 11,4 y 45,0 g/L). Se determinó que la efectividad de la tara en relación a la remoción de turbidez obtuvo un resultado entre 24 - 52 %, con una dosis de 45,0 g/L, considerada como además se concluye que un factor muy importante es el tiempo de agitación[11].

El cultivo de tara posee diversos beneficios ambientales, debido a que apoya a recuperar zonas contaminadas, purifica el aire (capturando los gases de efecto invernadero), provee de polen y néctar a los insectos polinizadores, brinda guarida y alimentos a la fauna local, en sus raíces viven las bacterias que capturan nitrógeno del suelo y lo brinda a las plantas para que crezcan vigorosas[12].

2.2. Aspectos teóricos

2.2.1. Contaminación del agua

El agua potable se encuentra amenazada por la contaminación antropogénica y por el agotamiento de los recursos hídricos como resultado del calentamiento global[13].

Los contaminantes del agua fresca son principalmente de 2 tipos, por un lado, bacterias, virus, hongos y parásitos y, por el otro, sustancias químicas[14]. Dentro de este segundo grupo los que más daño pueden causar a la salud son los metales pesados, los fertilizantes, los derivados del petróleo, entre otras[15].

Los agentes contaminantes tienen su origen principalmente en las actividades humanas en las pequeñas y grandes áreas urbanas; sin embargo, las zonas rurales también se ven afectadas debido a la actividad humana, como las aguas servidas contaminadas con residuos humanos e industriales[16].

El problema con el agua está llegando a niveles críticos, principalmente en países en vías de desarrollo donde sus principales ciudades no tienen plantas de tratamiento de agua y de esta forma la población se ve afectada por los ríos contaminados. En la mayoría de países desarrollados se evita la contaminación de los recursos hídricos canalizando las aguas residuales, así como estableciendo plantas de tratamiento de agua, las cuales limitan el nivel de los contaminantes[17].

2.3. Contaminación ambiental por metales pesados

La contaminación ambiental por metales pesados se considera un problema global, generado principalmente por actividades humanas como la industrialización, urbanización, actividades agrícolas, tecnológicas, mineras, entre otras. Siendo la principal fuente de contaminación las actividades de procesamiento de minerales[18].

Los metales pesados y su bioacumulación generan un riesgo para la salud humana. Algunos metales en trazas son importantes para el metabolismo normal en los humanos como el magnesio, zinc, entre otros. Sin embargo, otros metales como el arsénico, cromo y cadmio son considerados como elementos cancerígenos, el mercurio puede generar problemas en el habla, visión y audición en adultos y niños. Mientras que el plomo es posiblemente cancerígeno[19].

Los metales pesados están presentes en el suelo donde habitan las plantas: debido a que estos se dirigen a la profundidad y de esta forma tiene contacto con las raíces. Por lo tanto, la calidad del suelo para las actividades agrícolas debe ser supervisada con el objetivo de generar líneas base para detectar futuros cambios en la calidad de los suelos[18].

2.3.1. Plomo

El plomo (del latín *plumbum*) es un metal pesado cuyo símbolo es Pb, de color gris azulado natural, estable, resistente a la corrosión, maleable que se encuentra en pequeñas cantidades en la corteza terrestre. Gran parte proviene de actividades humanas, incluida la quema de combustibles fósiles, la minería, etc [21].

Este metal puede perder electrones en la oxidación formando el catión divalente del plomo (forma inorgánica), mientras que en la emisión de los carros se elimina al ambiente en forma de tetraetilplomo **(Figura 1)** que es utilizado como antidetonante de los combustibles[22].

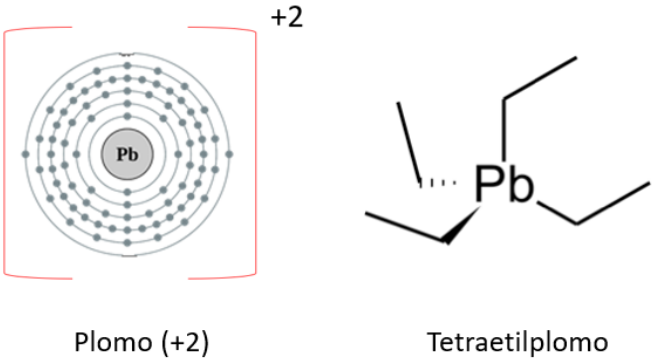


Figura 1. Estructura química del plomo (inorgánico y orgánico)[22].

Debido a que el plomo no es un buen conductor de la electricidad y posee una baja temperatura de fusión, hace que se le utilice como fusible en algunas zonas de las conexiones eléctricas; cuando la carga eléctrica excede un nivel predeterminado, se funde e interrumpe la transmisión eléctrica[22].

2.3.2. Fuentes de contaminación del plomo

Este metal existe de dos formas en el ambiente. La forma inorgánica suele encontrarse en las pinturas, tierra, polvo y en otros productos usados en la manufactura, mientras que la forma orgánica se encuentra en los gases productos de la combustión de los derivados del petróleo, a los que se le han adicionado tetraetilplomo como antidetonante; esta resulta ser más tóxica que la forma inorgánica debido a que nuestro cuerpo lo absorbe más fácilmente[22].

El plomo se puede encontrar en fuentes exógenas como el suelo (tierras de cultivo y polvo inorgánico), agua (océanos, lagos y ríos) y aire (emisiones producidas por la adición en

gasolina). Incluso, se ha encontrado en residuos industriales, fuentes domésticas y en la alimentación[23].

El plomo también se puede encontrar en alimentos procesados, debido a que se usa la hojalata en su conservación también en la fabricación de utensilios de cocina donde se usa plomo[24]. La industria puede adicionar plomo en los alimentos procesados en las distintas fases de su elaboración; sin embargo, la mayor posibilidad se da durante el almacenamiento en los envases de hojalata. Es importante controlar el pH de los alimentos, ya que si el producto tiene ligera acidez puede favorecer el desprendimiento de plomo del envase[25].

Actualmente existe un aumento en el interés por estudiar la contaminación de metales pesados en productos para consumo humano. Hay reportes que indican que el agua con el que se riega es una de las principales causas de la contaminación en hortalizas de consumo en fresco, debido a que se contamina por la eliminación de los desechos industriales, mineros o residuos de fertilizantes[22].

2.3.3. Efectos en la salud

La exposición al plomo puede afectar a diversos sistemas del cuerpo[26]. La absorción depende del estado de salud, nutrición y edad de la persona; principalmente por medio de los sistemas respiratorio y gastrointestinal; el efecto es mayor cuando hay hipocalcemia e hipoferremia, en dietas ricas en grasas y según edad siendo 40 a 50 % durante la infancia, mientras que en la edad adulta es de 10 %[27].

Diversos pacientes refieren dolor abdominal, astenia, irritabilidad y estreñimiento; además se puede evidenciar el ribete de Burton en algunos casos. En situaciones de alta exposición, puede ocurrir polineuropatía periférica que afecta a los miembros superiores[28,29].

Este metal puede ingresar al sistema respiratorio y el tracto gastrointestinal, el daño puede variar dependiendo del tiempo de exposición y de la cantidad a la que se está expuesta[30].

2.4. Biosorción

El proceso de biosorción consiste en la extracción de sustancias orgánicas e inorgánicas en sus formas solubles e insolubles presentes en una solución haciendo uso de materiales biológicos[31]. También se puede definir como la quelación de metales haciendo uso de una

biomasa muerta de origen celulósico o microbiano por diversos mecanismos como son la adsorción o el intercambio iónico, este proceso consta de 2 fases: una fase solida (biomasa) y una fase liquida (la solución que tiene las especies disueltas que se desea sean adsorbidas por la fase solida). La alta efectividad de este proceso incluso a baja concentración de metales, la similitud con el proceso de tratamiento de intercambio iónico, lo hace una alternativa más barata y ecológica a las técnicas convencionales, lo que ha dado como resultado una tecnología de biosorción madura[32].

El mecanismo de biosorción se da por dos métodos de captación como son: la quimisorción que se realiza por formación de complejos o quelatos, además de la adsorción física o microprecipitación, estos mecanismos pueden actuar de manera simultánea, dependiendo del material biosorbente, así como las características del metal en solución. Este fenómeno se explica en la retención del metal por medio de una interacción física con los ligandos que se encuentran en la pared de la célula que poseen ciertos grupos funcionales como son: carbonilo, amino, hidroxilo, fosfato, sulfhídrico, etc[33].

De lo expuesto podemos definir que la biosorción es un sistema donde un sorbato que se encuentra en la fase liquida (átomo, molécula o ion) es retenido por un biosorbente, donde se forma el complejo sorbato-biosorbente, lo que origina una eliminación mayoritaria del sorbato[34].

2.4.1. Biosorbente

Los diversos biosorbentes han presentado buena eficacia para la eliminación de metales en diversos estudios; entre ellos encontramos bacterias, hongos, levaduras, algas, derivados de la industria agrícola como cáscara de arroz, salvado de trigo, bagazo de azúcar de caña, así como otros residuos que presentan polisacáridos. Estos presentan en su estructura química diversos grupos funcionales, los que serían los responsables de la quelación[35].

La consideración económica y la eficiencia de la tecnología de biosorción depende de la eficacia de los biosorbentes, la fácil disponibilidad de sus precursores y la rentabilidad de todo el proceso. La fácil disponibilidad de las fuentes biológicas, junto con un procesamiento rentable, han dado como resultado el establecimiento de una prevalencia madura y amplia de la tecnología de biosorción[35].

El proceso de biosorción es típicamente un fenómeno de superficie en el que los componentes de la pared celular de la biomasa tienen una participación directa, como se discutió anteriormente. El uso de biosorbente en su forma nativa ha demostrado varias deficiencias debido a su baja capacidad de biosorción, así como a su estabilidad física y química variable. Varios investigadores han tratado modificar la superficie de la biomasa a través de diversos productos químicos para lograr tanto la durabilidad estructural como una capacidad de biosorción eficiente de iones de metales pesados. Los resultados con respecto a la capacidad máxima de biosorción han sido prometedores no solo con la biomasa basada en plantas sino también con la biomasa microbiana[36].

2.4.2. Principales factores que afectan el proceso de biosorción

2.4.2.1. Tipo de biosorbente

Los diversos mecanismos de adsorción de los adsorbatos dependen de la composición y presencia de los grupos funcionales en la superficie del biosorbente[37]. La presencia de los grupos con oxígeno, como hidroxilo, carbonilo y carboxilo favorece la interacción frente a los que presentan nitrógeno o azufre[38].

2.4.2.2. Tamaño de partícula

El tamaño de partícula afecta la presencia de un mayor número de centros activos disponibles para la reacción, así como una menor limitación a la difusión en el interior de los poros, son las causas del aumento de la capacidad de retención con la disminución del tamaño de partícula[39].

Un estudio realizado por Pinzón y Cardona determino que en el rango de 0,300 – 0,600 mm no varía la cantidad de metal adsorbido, pero si se aprecia cuando el tamaño es por debajo de 0,3 mm[40].

2.4.2.3. pH de la disolución

En el proceso de biosorción, el parámetro más importante es el pH, debido a que afecta la química de los adsorbatos en solución, así como la actividad de los grupos funcionales y la afinidad de estos a los adsorbatos[41].

Para activar la superficie se necesita protonizar o desprotonizar los grupos funcionales, para poder generar cargas positivas o negativas en la pared celular y así facilitar el acceso de estos. Particularmente el plomo presenta una mejor interacción a un pH en el intervalo

de 4,5 - 5, notándose que a un pH menor a 4 hay una competencia entre los iones H^+ y los iones Pb^{+2} por el sitio de unión[42].

2.4.2.4. Tiempo de contacto

Otro factor importante en la bioadsorción es el tiempo de contacto, demostrándose que, a mayor tiempo, mayor será la cantidad adsorbida. En un estudio realizado por Feng y Guo demostraron la eficacia en un intervalo de tiempo, siendo 2 horas el tiempo donde se puede asegurar que se alcanzó el equilibrio[43].

2.4.2.5. Temperatura

La temperatura influye tanto en la velocidad de bioadsorción como en el grado en que la bioadsorción se produce **(Figura 2)**[44].

$$\text{Ln } K_C = \frac{\Delta S^0}{R} - \frac{\Delta H^0}{R\,T}$$

Figura 2. Ecuación de van't Hoff**.**

Donde:

ΔS^o: cambio de entropía (J/mol x ^oC)

ΔH^o: cambio de entalpía (J/mol)

T: temperatura (^oC)

R: constante universal de los gases ideales (J/molx°C).

A temperatura ambiente (20 - 35^oC) no se evidencia un cambio significativo en la eficacia en el proceso de biosorción[44].

2.4.3. *Caesalpinia spinosa*

2.4.3.1. Clasificación taxonómica[45]

Reino: Plantae

División: Fanerógamas

Clase: Dicotiledoneas

Subclase: Arquidomideas

Orden: Rosales

Familia: Fabaceae

Género: *Caesalpinia*

Especie: *Caesalpinia spinosa*.

Nombres comunes: Tara o taya (Perú y Bolivia); guarango, vainillo o campeche (Ecuador); dividi (Colombia), etc[45].

2.4.3.2. El árbol de la tara

Descripción: Es un árbol pequeño que tiene una altura de 4 a 8 metros, pero puede llegar hasta 12 metros si se encuentra en condiciones óptimas, considerándose madura a partir de los diez años y dará frutos por 30 años. Tiene una raíz principal que va de manera vertical de la que salen raíces laterales abundantes, tiene una copa irregular y poco densa. Sus flores se disponen en racimos y sus frutos son vainas aplanadas de un color que varía desde verde hasta rojo – anaranjado dependiendo el grado de madurez, de hasta 10 centímetros de largo y 2 centímetros de ancho **(Figura 3)**[5].



Figura 3. Árbol de la tara[5]

Cada vaina contiene entre 5 a 6 semillas redondeadas de 0,6 a 0,7 centímetros de diámetro, de un color desde verde hasta marrón cuando está madura, que se alcanza al sexto mes después de la floración[3].

Distribución geográfica: Es una especie originaria del Perú, que crece entre los 500 – 3200 msnm a una temperatura de promedio entre 12 y 24° C, sin embargo, a condiciones reguladas de agua y nutrientes, se puede favorecer su desarrollo desde los 50 metros de altitud[1].

La tara es oriunda de los Andes, se extiende desde Venezuela hasta el norte de Chile. En el Perú crece en Áncash, Cajamarca, Huánuco, Huancavelica, Apurímac y Ayacucho; siendo estos últimos los que presentan un mayor grado de producción en cantidad y calidad[2].

La tara peruana es considerada de mejor calidad frente a otros países en la región respecto a su nivel de taninos. La mayor producción de tara se da en los departamentos de Cajamarca (39,5 %), Ayacucho (16,4 %), La Libertad (12,5 %), Huánuco (8,4 %), Ancash (6,2 %) y otros (5,8 %).

Usos de la especie: Su uso tradicional más notable de sus vainas es para curtir cueros, cerámicas, aplicaciones alimenticias, maderables, combustibles y medicinales[5].

Para este fruto hay un mercado interno que conecta toda la cadena de producción desde los productores hasta el mercado externo[46].

La harina o polvo de tara, es un aserrín fino de coloración amarilla clara, con un aproximado del 50 % de taninos[46].

La goma que se extrae de las semillas actúa como un agente espesante y estabilizante, por lo que mejora y mantiene la textura de los alimentos[46]. Además, se la utiliza en la industria farmacéutica, cosmética, papelera y textil[46].

Composición:

El fruto de la tara posee tres partes bien diferenciadas como son la semilla la cual corresponde entre el 30 - 40 % en peso, las valvas molidas 40 - 50 % y los restos de la fibra los cuales están entre los 15 - 25 % en peso **(Figura 4)**[3].



Figura 4. Vaina, semilla, goma en split y goma en polvo[3].

Estudios en la composición química de la tara, demuestra que el contenido de taninos en el fruto es de 62 % en la cascara, en otras partes no existe o es minúsculo el contenido de taninos, la semilla resalta por su contenido de gomas e hidrocoloides[47], siendo que el principal tanino de la tara se basa en la estructura del ácido gálico

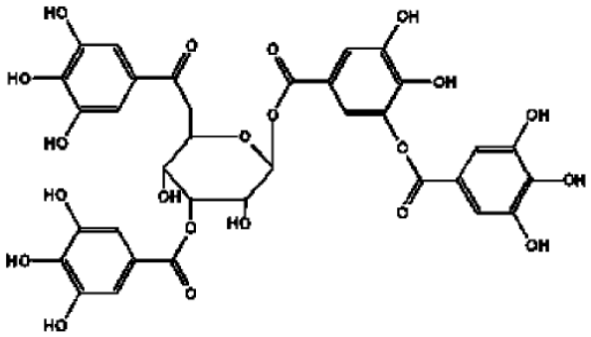


Figura 5. Tanino de la *Caesalpinia spinosa*[46]**.**

III. METODOLOGÍA

Se definió una metodología para la obtención de la biomasa, la composición cualitativa, la cuantificación de los polifenoles y la capacidad biosorbente del mismo. En la figura 6 se muestra un flujograma general del trabajo experimental.

3.1. Flujograma del trabajo experimental

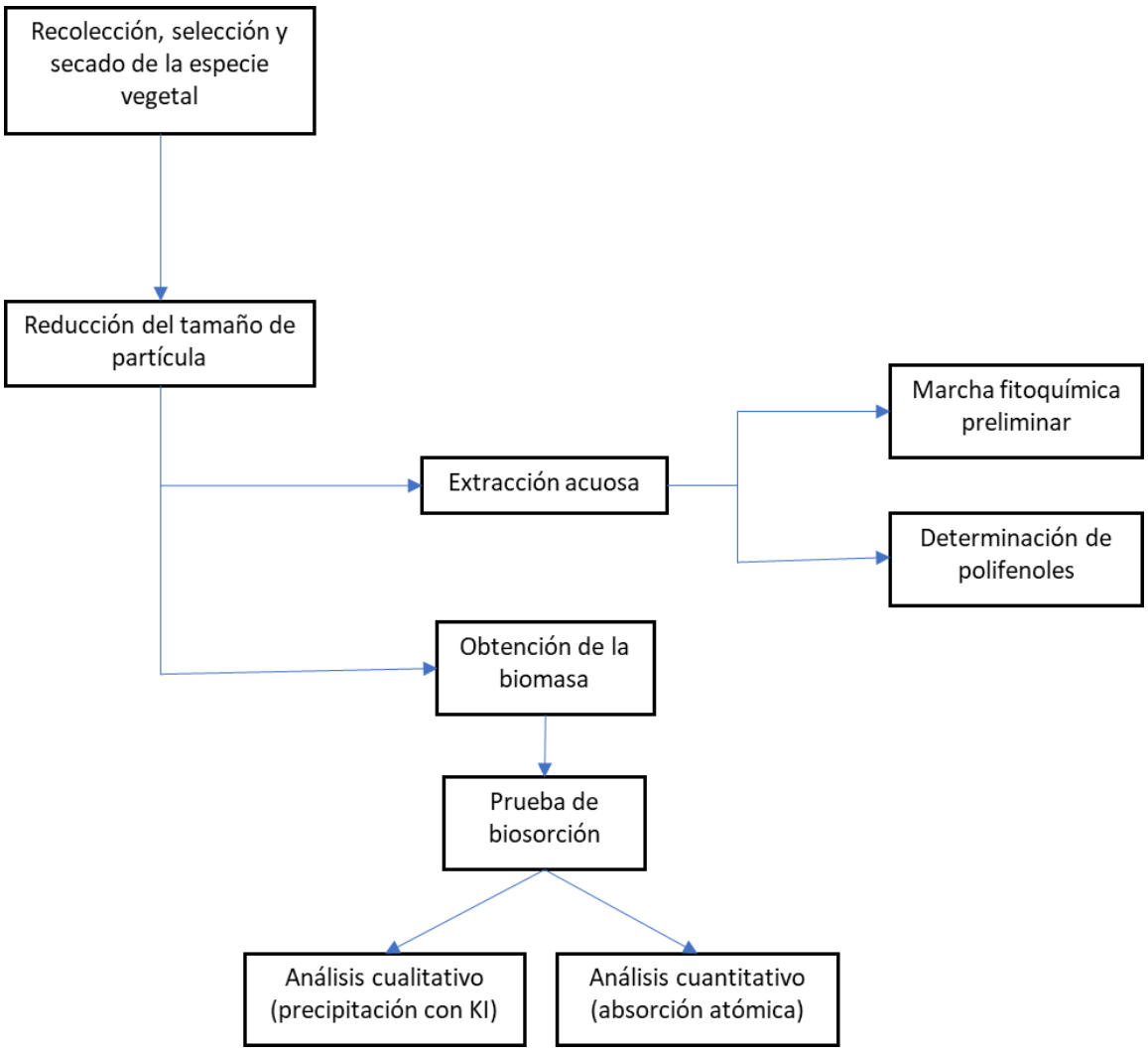


Figura 6. Diagrama de flujo de la parte experimental de la determinación de la capacidad biosorbente de la *Caesalpinia spinosa*.

Fuente: Elaboración propia.

3.2. Materiales

Material vegetal

- *Caesalpinia spinosa*

Equipos

- Balanza analítica (Ohaus Pioneer), estufa (Memmert), molino manual (Corona), tamices, pHmetro (pH-Checker), baño maria (Memmert), espectrofotómetro UV (Merck) y equipo de absorción atómica (Thermo Scientific).

Reactivos

- Agua destilada, acetato de plomo (Merck, Alemania), hidróxido de sodio (Merck, Alemania), ácido clorhídrico (Merck, Alemania), carbonato de sodio (Merck, Alemania) y reactivo de Foling-Ciocalteu (Sigma-Aldrich, USA).

3.3. Metodología

3.3.1. Tipo de investigación:

El presente trabajo fue de carácter experimental, comparativo e *in vitro*.

3.3.2. Lugar de desarrollo de la investigación

El presente análisis de la actividad biosorbente se llevó a cabo en el Laboratorio de Farmacognosia y Medicina Tradicional - "Q.F. Bertha Jurado Teixeira" de la Facultad de Farmacia y Bioquímica de la UNMSM. La cuantificación del plomo por absorción atómica se efectuó en las instalaciones de Service LAB Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C.

3.3.3. Colección e identificación del material botánico

Se recolectaron las vainas de *Caesalpinia spinosa* en la localidad de Calquis del distrito de Calquis, provincia de San Miguel perteneciente al departamento de Cajamarca, en el mes de julio. De las vainas recolectadas, se seleccionaron sólo las que estaban en su "estado galleta" es decir se deshacen con facilidad y se eliminaron aquellas que se encontraban deterioradas o con hongos. La clasificación taxonómica y certificación botánica se realizó a cargo del biólogo colegiado José Campos De la Cruz de la UNMSM, este se reporta en el anexo N°1.

3.3.4. Obtención de la biomasa

A un promedio de 5 kg de vainas de *Caesalpinia spinosa*, se le elimino las semillas, luego se secó a temperatura ambiente por 24 horas, se llevó a una estufa a 40 °C por 24 horas, luego se procedió a reducir el tamaño de partícula con un molino manual finalmente se tamizo a un tamaño de partícula mayor a 400 μm y menor a 630 μm.

3.3.5. Estudio fitoquímico

Se realizo la extracción acuosa usando 25 g de material seco en polvo con 100 mL de agua, se calentó a baño maría a 65 ^{0}C por 30 minutos, se filtró lo obtenido con papel de filtro Whatman Nº 40. Se llevo a baño maría hasta la completa evaporación. Se preparó una solución acuosa al 5 % a partir del extracto seco, se procedió a realizar un screening fitoquímico según la técnica descrita por Lock de Ugaz[48].

3.3.6. Determinación de polifenoles

Se utilizó el método de Folin-Ciocalteu descrito por Singleton[49]. Se preparó una curva de calibración de ácido gálico cuyo rango de concentración fue de 10 - 80 μg/mL. Se preparó un extracto acuoso usando 1 g de la muestra en 100 mL de agua destilada, se calentó en baño maría a 65 ^{0}C por 30 minutos, se filtró y a este se le realizó una dilución 1 en 100, de esta nueva dilución se tomó 0,5 mL, se le añadió 2,5 mL de la solución de Folin-Ciocalteu se agitó por 1 minuto y se dejó reposar durante cinco minutos, luego se adicionó 2 mL de Na_2CO_3 7,5 %, se agitó vigorosamente y se llevó a baño maría a 45 ^{0}C por 15 minutos, se cubrió de la luz y se dejó enfriar a temperatura ambiente por 15 minutos. Las absorbancias respectivas fueron medidas a 760 nm en espectrofotómetro. Las muestras fueron analizadas por triplicado y el contenido de compuestos fenólicos totales fue expresado en mg de ácido gálico/g de tara.

3.3.7. Acondicionamiento de las soluciones del metal

Se preparó una solución de acetato de plomo $Pb(CH_3COO)_2$, para simular agua contaminada , equivalente a una concentración de 150 ppm de Pb^{+2}, utilizando agua destilada como solvente. El pH se llevó a un valor de 4,5 usando alícuotas de HCl 0,1 N o NaOH 0,1 N para regular el pH.

3.3.8. Acondicionamiento del material biosorbente

Se empaquetaron 10 g de biomasa seca molida en bolsitas de algodón en tamaños de 8 cm de longitud y 5,5 cm de ancho.

3.3.9. Método experimental y condiciones de operación

Los experimentos de biosorción fueron realizados mediante el método de pozos[50]. Se usó un beaker de 1 L de capacidad, al cual se le adicionó 600 mL de solución a evaluar.

Se tomaron en cuenta las siguientes condiciones constantes: pH (4,5), tamaño de partículas de biomasa (fracción entre 400 µm - 630 µm) y temperatura ambiente. Así como los siguientes factores a evaluar: cantidad de biomasa (40 y 80 g), concentración de plomo (0 y 150 mg/L) y tiempo de contacto (60 y 120 minutos). Cada prueba se realizó por duplicado.

3.3.10. Factores, niveles y combinaciones de los tratamientos en estudio

Tabla 1. Factores y niveles a evaluar en los tratamientos en estudio.

FACTOR	Variables Independientes	Niveles	
		-	+
A: Cantidad de biomasa (g)	X1	40	80
B: Tiempo de contacto (min)	X2	60	120
C: Concentración Pb^{+2} (ppm)	X3	0	150

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. Combinaciones de los factores para los tratamientos en estudio.

N°	Variables independientes					
$2^3 = 8$	A	B	C	A	B	C
1	-	-	-	40	60	0
2	+	-	-	80	60	0
3	-	+	-	40	120	0
4	+	+	-	80	120	0
5	-	-	+	40	60	150
6	+	-	+	80	60	150
7	-	+	+	40	120	150
8	+	+	+	80	120	150

Fuente: Elaboración propia.

3.3.11. Análisis preliminares

a) Análisis cualitativo directo (presencia de plomo[51])

Se realizó la determinación cualitativa de plomo usando una solución KI 5 % en los 8 tratamientos. Se uso un blanco y control positivo.

Tabla 3. Determinación cualitativa del plomo.

	Tubos									
	B	Control +	1	2	3	4	5	6	7	8
Agua destilada	1 mL	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Plomo 150 ppm	-	1 mL	-	-	-	-	-	-	-	-
TX	-	-	1 mL	1 mL	1 mL	1 mL	1 mL	1 mL	1 mL	1 mL
KI 5 %	1 mL	1 mL	1 mL	1 mL	1 mL	1 mL	1 mL	1 mL	1 mL	1 mL

Fuente: Elaboración propia.

3.3.12. Cuantificación de plomo no retenido

Se tomaron muestras de 100 mL de las soluciones según recomendaciones técnicas del laboratorio de Service LAB Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. donde se realizó la cuantificación del plomo por absorción atómica. Adicionalmente se llevó a cuantificar la solución inicial de 150 ppm de Pb^{+2}.

3.3.13. Diseño experimental

Se realizó un diseño factorial 2^3 con dos repeticiones por cada combinación de tratamiento.

Evaluaciones realizadas

En cuanto a las respuestas se seleccionaron la capacidad de biosorción de plomo (mg de plomo/g de tara) y el porcentaje retenido de plomo (% R).

Capacidad de biosorción: La capacidad de biosorción se determinó a través de la siguiente fórmula:

$$q_e = \frac{\text{qtotal}}{W}$$

Dónde:

q_e: capacidad de biosorción (mg de metal sorbido/g de sorbente).

qtotal: masa de plomo retenido (mg).

W: masa de biosorbente (g).

Porcentaje de remoción: El porcentaje de eliminación (% R) se define como la relación de diferencia en la concentración de metales antes y después de la adsorción.

$$\% R = \frac{Ci - Cf}{Ci} \times 100$$

Dónde:

Ci: Concentración inicial.

Cf: Concentración final.

% R: Porcentaje de metal retenido.

3.3.14. Análisis estadístico de los datos

El análisis estadístico se realizó con el programa Minitab 19.1.1.0. Los datos obtenidos fueron sometidos a un Análisis de Varianza (ANOVA) de acuerdo al procedimiento establecido para el diseño factorial 2^3 con un nivel de significación de 0,05 para verificar el modelo estadístico que más se ajusta.

Posteriormente, se apreció su grado de significancia cuando comparamos el valor alfa con el valor p. Si el valor p es menor que el valor alfa (0.05) es significativo y se rechaza Ho y se concluye que existen efectos significativos.

a) Para la capacidad biosorbente.

- **Frente al factor masa.**

  H_{01}: No hay efecto significativo de la masa frente a su capacidad biosorbente.

  H_{11}: Si hay efecto significativo de la masa frente a su capacidad biosorbente.

- **Frente al factor tiempo de contacto.**

  H_{02}: No hay efecto significativo del tiempo de contacto frente a su capacidad biosorbente de plomo.

  H_{12}: Si hay efecto significativo del tiempo de contacto frente a su capacidad biosorbente de plomo.

- **Frente al factor concentración de plomo.**

  H_{03}: No hay efecto significativo de la concentración de plomo frente a su capacidad biosorbente de plomo.

  H_{13}: Si hay efecto significativo de la concentración de plomo frente a su capacidad biosorbente de plomo.

- **Frente a la interacción de los tres factores.**

  H_{04}: No hay efecto significativo en la interacción de los factores (masa, tiempo de contacto y concentración de plomo) frente a su capacidad biosorbente de plomo.

  H_{14}: Si hay efecto significativo en la interacción de los factores (masa, tiempo de contacto y concentración de plomo) frente a su capacidad biosorbente de plomo.

b) Para el porcentaje de remoción.

- **Frente al factor masa.**

  H_{05}: No hay efecto significativo de la masa frente a el porcentaje de remoción.

  H_{15}: Si hay efecto significativo de la masa frente a el porcentaje de remoción.

- **Frente al factor tiempo de contacto.**

  H_{06}: No hay efecto significativo del tiempo de contacto frente a el porcentaje de remoción.

  H_{16}: Si hay efecto significativo del tiempo de contacto frente a el porcentaje de remoción.

- **Frente al factor concentración de plomo.**

H_{07}: No hay efecto significativo de la concentración de plomo frente a el porcentaje de remoción.

H_{17}: Si hay efecto significativo de la concentración de plomo frente a el porcentaje de remoción.

- **Frente a la interacción de los tres factores.**

  H_{08}: No hay efecto significativo en la interacción de los factores (masa, tiempo de contacto y concentración de plomo) frente a el porcentaje de remoción.

  H_{18}: Si hay efecto significativo en la interacción de los factores (masa, tiempo de contacto y concentración de plomo) frente a el porcentaje de remoción.

La forma general para calcular los efectos de una matriz de experimentos es ajustar un modelo de regresión multivariante por el método de mínimos cuadrados. Para un diseño 2^3 se ajusta el modelo:

$$y = a + bX_1 + cX_2 + dX_3 + eX_1X_2 + fX_1X_3 + gX_2X_3 + hX_1X_2X_3$$

IV. RESULTADOS

4.1. Obtención y descripción de la biomasa.

Después de obtener la biomasa seca de la tara (separando las pepas de las valvas) se describió las características organolépticas.

Tabla 4. Características organolépticas de las pepas, valvas y biomasa seca de *Caesalpinia spinosa*.

Características organolépticas	Pepas	Valvas	Biomasa seca
Aspecto	Ovoide	Oblonga	Pulverulento
Color	Marrón oscuro	Amarillo rojizo	Pajizo o crema
Olor	Característico	Característico	Característico
Sabor	Característico	Característico	Característico

Fuente: Elaboración propia.

4.2. Screening fitoquímico

Se determinó la presencia de los principales metabolitos en el extracto seco de la biomasa de la tara.

Tabla 5. Screening fitoquímico de la *Caesalpinia spinosa*.

Constituyente químico	Reactivo	Resultado
Carbohidratos	Molish	+
Compuestos fenólicos libres	$FeCl_3$	+
Flavonoides	Shinoda	+
Catequinas y leucoantocianidinas	Rosenheim	+
Antraquinonas	Borntrager	+
Taninos	Gelatina al 5%	+
Esteroides y triterpenos	Lieberman-Burchard	+
Grupos aminos primarios y secundarios	Ninhidrina	+
Alcaloides	Reactivo de Dragendorff	-
Grupos carbonilos	Hidroxilamina	-
Saponinas	Espuma	+
Glicósidos	Vainillin-ácido sulfúrico	+

Leyenda: (+) presencia y (-) ausencia.

Fuente: Elaboración propia.

4.2.1. Determinación de polifenoles.

Se realizó una extracción acuosa según la metodología de Folin-Ciocalteu y se realizó la cuantificación de polifenoles en un espectrofotómetro UV a 760 nm.

Tabla 6. Contenido de ácido gálico para la determinación de fenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu.

	Concentración de cada dilución (µg/mL)	Concentración final (en tubo) de cada dilución (µg/mL)	Abs
A	79,2	7,92	0,88
B	59,4	5,94	0,68
C	39,6	3,96	0,47
D	19,8	1,98	0,21
E	9,9	0,99	0,11

Fuente: Elaboración propia.

Figura 7. Curva de calibración del ácido gálico para la determinación de fenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7. Absorbancia de la muestra problema.

Pruebas	Absorbancia
1	0,413
2	0,411
3	0,413
Promedio	0,412

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8. Concentración (µg/mL) de ácido gálico en cada prueba.

µg ácido gálico/mL (tubo)	tubos		
	1	2	3
Extracto en baño maría	3,663401603	3,645592164	3,6634016

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9. Conversión a µg de ácido gálico por gramo de tara

µg de ácido gálico que equivalen en 1 g de MP			
Tubo	1	2	3
Tara en extracción baño maría	366340,1603	364559,2164	366340,16

Fuente: Elaboración propia.

Hallando porcentaje:

Masa de tara = 1g Masa de ácido gálico = 366340,1603 ug = 0,366 g

$$\% \text{ de ácido gálico} = \frac{\text{masa de acido galico (g)}}{\text{masa de MP (g)}} \text{ x } 100$$

$$\% \text{ de ácido gálico} = \frac{0,366}{1} \text{ x } 100 = 36,6 \%$$

4.3. Determinación de la actividad biosorbente

4.3.1. Análisis preliminar.

Luego de realizar los ocho tratamientos se realizaron pruebas preliminares, haciendo uso de KI 5 % para ver la presencia del plomo residual.

Análisis cualitativo directo (presencia de plomo)

Tabla 10. Determinación cualitativa de plomo usando una solución KI 5 % en los 8 tratamientos.

Se uso un blanco (agua) y control positivo (plomo 150 ppm).

	Tubos									
	B	Control +	1	2	3	4	5	6	7	8
RESULTADOS (coloración amarillo dorado)	-	+	-	-	-	-	+	+	+	+

Leyenda: (+) presencia y (-) ausencia.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.2. Determinación de plomo por absorción atómica

Se llevaron los 8 tratamientos por duplicado al laboratorio de Service LAB Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. donde se realizó la cuantificación del plomo por absorción atómica. Adicionalmente se cuantifico la concentración inicial de la solución a tratar por duplicado y son: 139,717 y 142,872 cuyo promedio es 141,295 ppm.

Tabla 11. Determinación cuantitativa de plomo por medio de absorción atómica.

Tratamiento	C_f (ppm)	
T1	0	0
T2	0	0
T3	0	0
T4	0	0
T5	129,756	130,522
T6	100,433	96,986
T7	107,625	103,410
T8	89,645	93,484

Fuente: Elaboración propia.

4.3.3. Determinación de la capacidad de biosorción y el porcentaje de remoción

Se realizo el cálculo matemático para obtener la capacidad de biosorción y el porcentaje de remoción, en las unidades de mg de plomo/g de biomasa y porcentaje (%) respectivamente.

Tabla 12. Determinación de la capacidad de biosorción y el porcentaje de remoción.

Tratamiento	Cf (ppm)		Ci-Cf (ppm)		Plomo retenido (mg)		mg de plomo/g de biomasa		Porcentaje de remoción	
T1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T5	129,756	130,522	11,540	10,774	6,924	6,464	0,173	0,162	8,167	7,625
T6	100,433	96,986	40,862	44,309	24,517	26,585	0,306	0,332	28,920	31,359
T7	107,625	103,410	33,671	37,886	20,202	22,731	0,505	0,568	23,830	26,813
T8	89,645	93,484	51,651	47,812	30,990	28,687	0,387	0,359	36,555	33,838

Fuente: Elaboración propia.

4.3.4. Análisis estadístico.

Para la capacidad de biosorción y el porcentaje de remoción se evaluaron los 3 tipos de modelos matemáticos buscando el R^2 más cercano a 1 y la suma de cuadrados del error más cercano a 0. Cuando se obtuvo estos datos se realizó el análisis de varianza para verificar si los factores son significativos, asimismo se realizó el diagrama de Pareto, los coeficientes de regresión, la gráfica de cubo para el punto máximo y la recta de valores observados Vs valores predichos.

a) Capacidad de biosorción.

Tabla 13. Análisis de los modelos para capacidad de biosorción.

	Modelos		
	1	2	3
R^2	0,845	0,956	0,996
Suma de cuadrados del error	0,097	0,028	0,003

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14. Análisis de varianza de los 3 factores para capacidad de biosorción.

Factor	SS	df	MS	F	p
Masa (1)	0,000034	1	0,00034	0,096	0,764152
Tiempo de contacto (2)	0,044714	1	0,044714	127,146	0,000003
Concentración de plomo (3)	0,487477	1	0,487477	1386,163	0,000000
(1) x (2)	0,024922	1	0,024922	70,866	0,000030
(1) x (3)	0,000034	1	0,000034	0,096	0,764152
(2) x (3)	0,044714	1	0,044714	127,146	0,000003
(1) x (2) x (3)	0,024922	1	0,024922	70,866	0,000030
Error	0,002813	8	0,000352		
Total SS	0,629629	15			

Fuente: Elaboración propia.

Se rechaza H_{11}, H_{02}, H_{03} y H_{04} por lo que se acepta H_{01}, H_{12}, H_{13} y H_{14}. Lo que nos indica que no existe efecto significativo frente al factor masa, pero si frente al factor tiempo de contacto, concentración de plomo y con la interacción de los 3 factores.

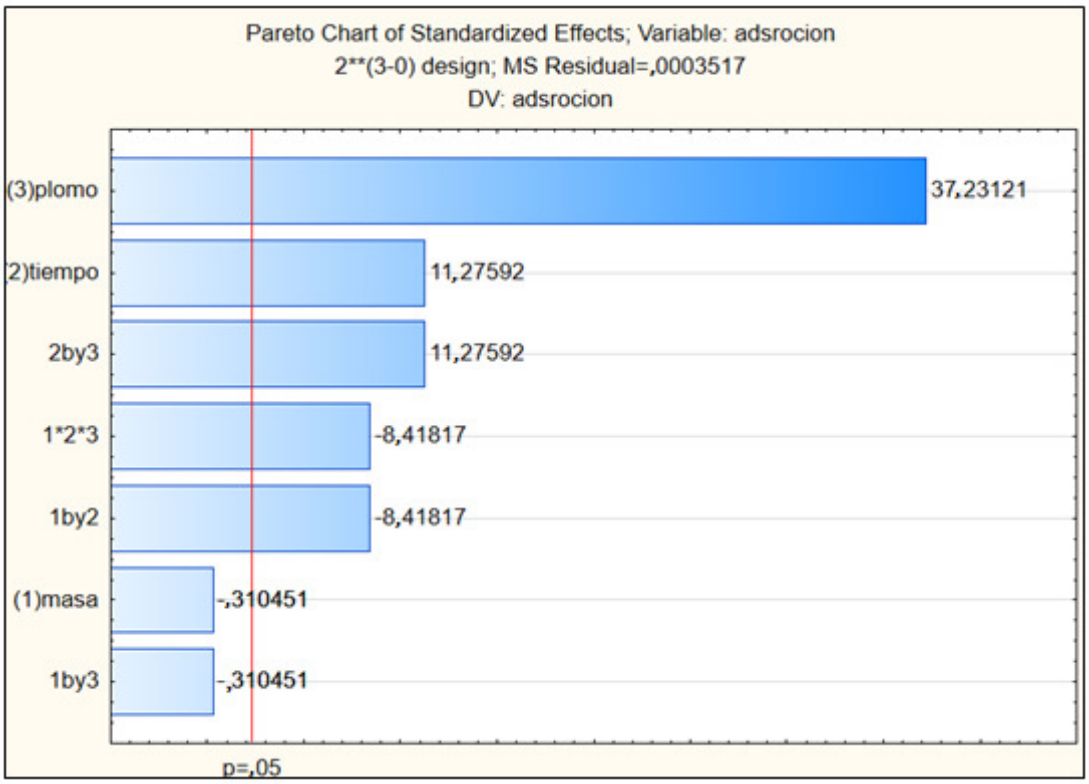


Figura 8. Diagrama de Pareto de los factores y sus interacciones para capacidad de biosorción

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15. Coeficientes de regresión para capacidad de biosorción.

Factor	Coeficientes de regresión	Error estándar	t(8)	p	-95 % Cnf. Limt	+95 % Cnf. Limt
Mean/interc.	0,000000	0,066302	0,000000	1,000000	- 0,152892	0,152892
Masa (1)	- 0,000000	0,001048	- 0,000000	1,000000	- 0,002417	0,002417
Tiempo de contacto (2)	- 0,000000	0,000699	- 0,000000	1,000000	- 0,001612	0,001612
Concentración de plomo (3)	- 0,004740	0,000664	- 7,14287	0,000098	- 0,006270	- 0,003210
(1) x (2)	0,000000	0,000011	0,000000	1,000000	- 0,000025	0,000025
(1) x (3)	0,000083	0,000010	7,88800	0,000048	0,000059	0,000107
(2) x (3)	0,000081	0,000007	11,55193	0,000003	0,000065	0,000097
(1) x (2) x (3)	- 0,000081	0,000000	- 8,41817	0,000030	- 0,000001	- 0,000001

$$Y = 0{,}0000 - 0{,}00000\ X_1 - 0{,}000000\ X_2 - 0{,}004740\ X_3 + 0{,}000000\ X_1X_2 + 0{,}000083\ X_1X_3 + 0{,}000081\ X_2X_3 - 0{,}000001\ X_1X_2X_3$$

Fuente: Elaboración propia.

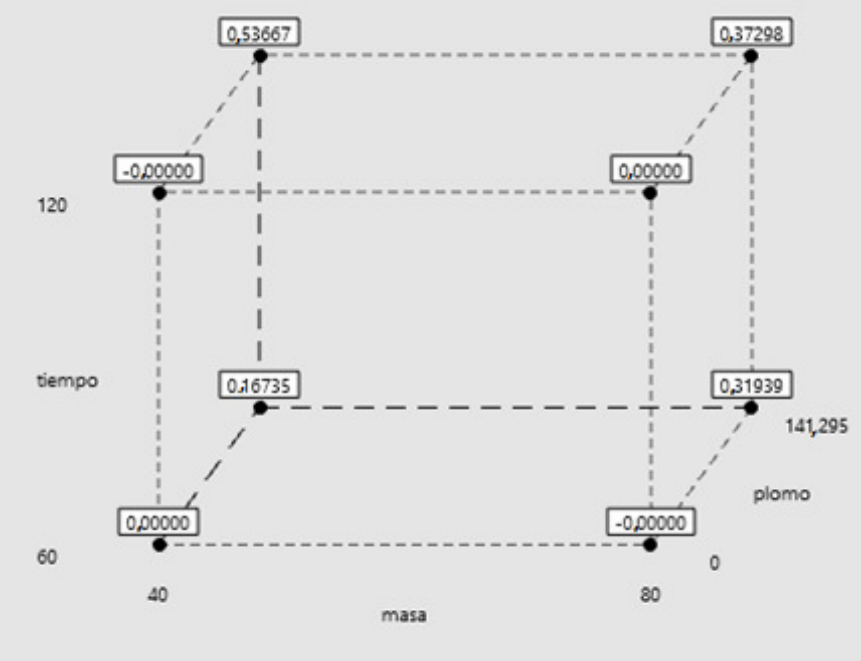


Figura 9. Grafica de cubos (medias ajustadas) para capacidad de biosorción.

Fuente: Elaboración propia.

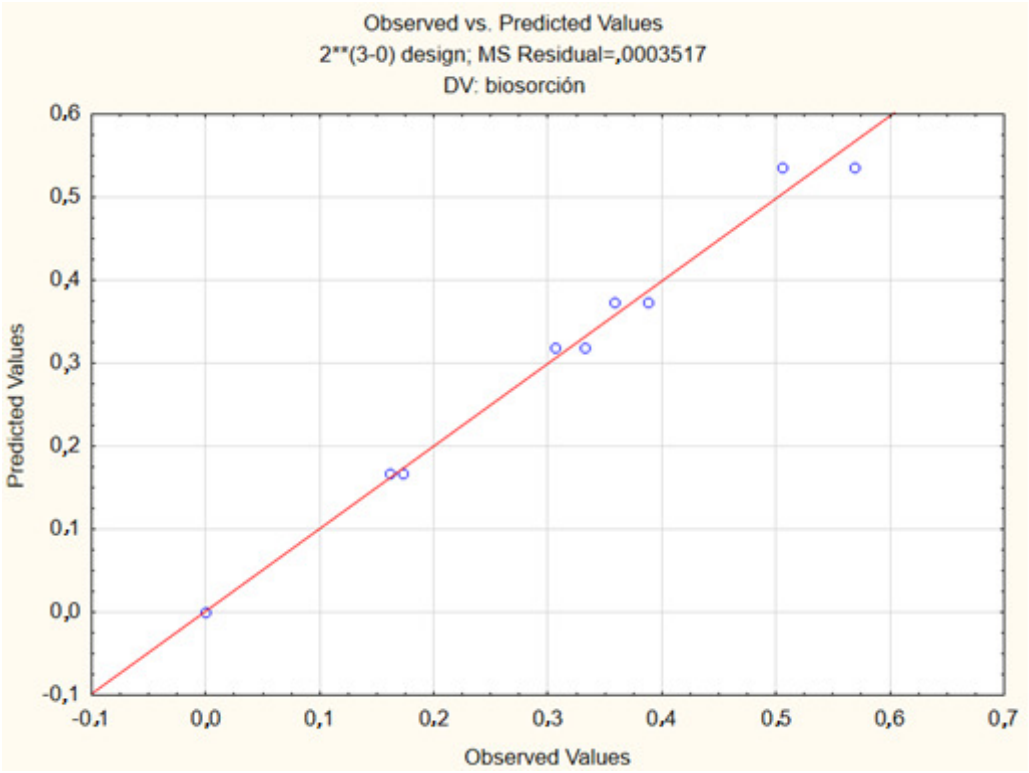


Figura 10. Valores observados Vs predichos para capacidad de biosorción.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16. Análisis de los modelos para porcentaje de remoción.

	Modelos		
	1	2	3
R^2	0,856	0,985	0,997
Suma de cuadrados del error	472,022	49,508	11,263

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17. Análisis de varianza de los 3 factores para porcentaje de remoción.

Factor	SS	df	MS	F	p
Masa (1)	257,901	1	257,901	183,180	0,000001
Tiempo de contacto (2)	126,368	1	126,368	89,756	0,000013
Concentración de plomo (3)	2428,192	1	2428,192	1724,676	0,000000
(1) x (2)	38,245	1	38,245	27,164	0,000811
(1) x (3)	257,901	1	257,901	183,180	0,000001
(2) x (3)	126,368	1	126,368	89,756	0,000013
(1) x (2) x (3)	38,245	1	38,245	27,164	0,000811
Error	11,263	8			
Total SS	3284,485	15			

Fuente: Elaboración propia.

Se rechaza H_{05}, H_{06}, H_{07} y H_{08} por lo que se acepta H_{15}, H_{16}, H_{17} y H_{18}. Lo que nos indica que, si existe efecto significativo frente al factor masa, factor tiempo de contacto, concentración de plomo y con la interacción de los 3 factores.

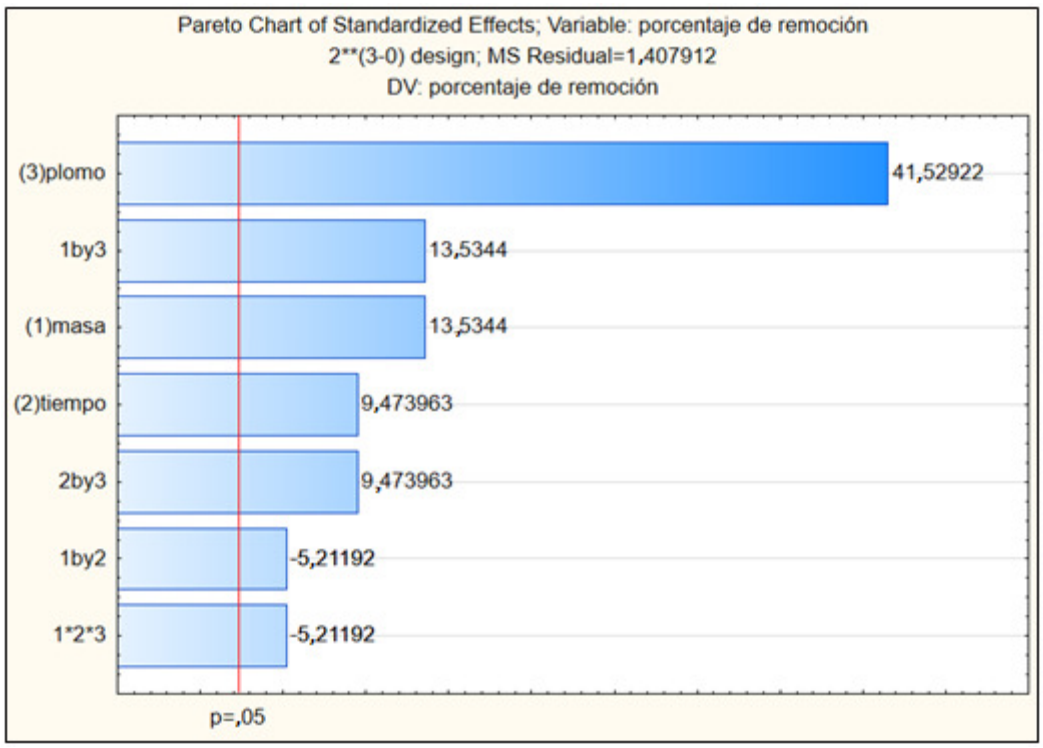


Figura 11. Diagrama de Pareto de los factores y sus interacciones para porcentaje de remoción.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18. Coeficientes de regresión para porcentaje de remoción.

Factor	Coeficientes de regresión	Error estándar	t(8)	p	-95 % Cnf. Limt	+95 % Cnf. Limt
Mean/interc.	0,000000	4,195104	0,000000	1,000000	- 9,67393	9,673928
Masa (1)	- 0,000000	0,066330	- 0,000000	1,000000	- 0,15296	0,152958
Tiempo de contacto (2)	- 0,000000	0,044220	- 0,000000	1,000000	- 0,10197	0,101972
Concentración de plomo (3)	- 0,312408	0,041989	- 7,44031	0,000073	- 0,40923	- 0,215582
(1) x (2)	0,000000	0,000699	0,000000	1,000000	- 0,00161	0,001612
(1) x (3)	0,006124	0,000664	9,22441	0,000015	0,00459	0,007655
(2) x (3)	0,003514	0,000443	7,94039	0,000046	0,00249	0,004535
(1) x (2) x (3)	- 0,000036	0,000007	- 5,21192	0,000811	- 0,00005	- 0,000020

$$Y = 0{,}0000 - 0{,}00000\ X_1 - 0{,}000000\ X_2 - 0{,}312408\ X_3 + 0{,}000000\ X_1X_2 + 0{,}006124\ X_1X_3 + 0{,}003514\ X_2X_3 - 0{,}000036\ X_1X_2X_3$$

Fuente: Elaboración propia.

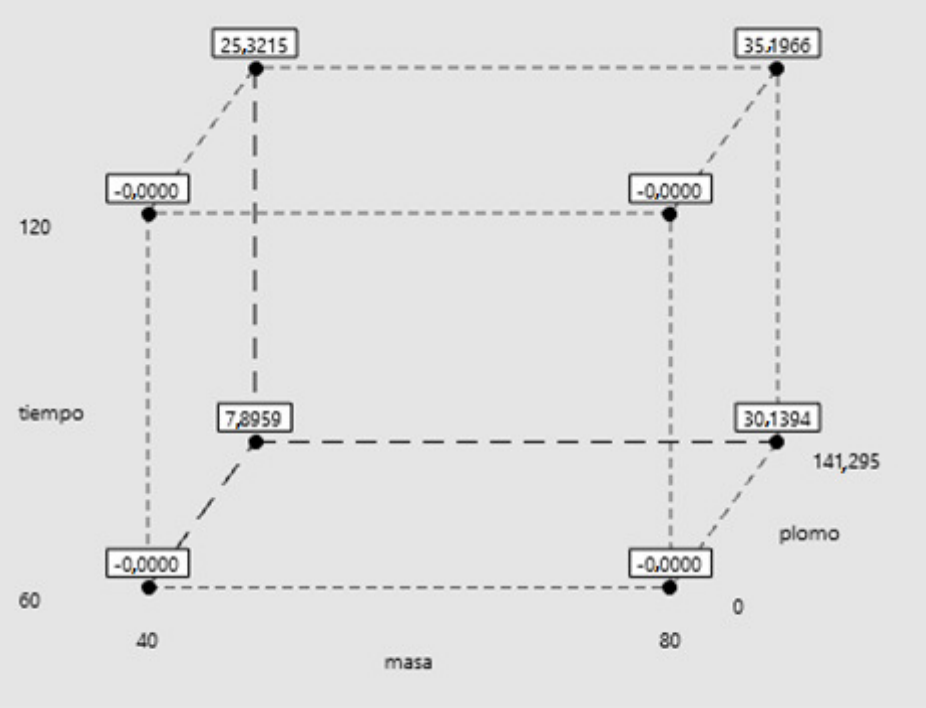


Figura 12. Grafica de cubos (medias ajustadas) de porcentaje de remoción.

Fuente: Elaboración propia.

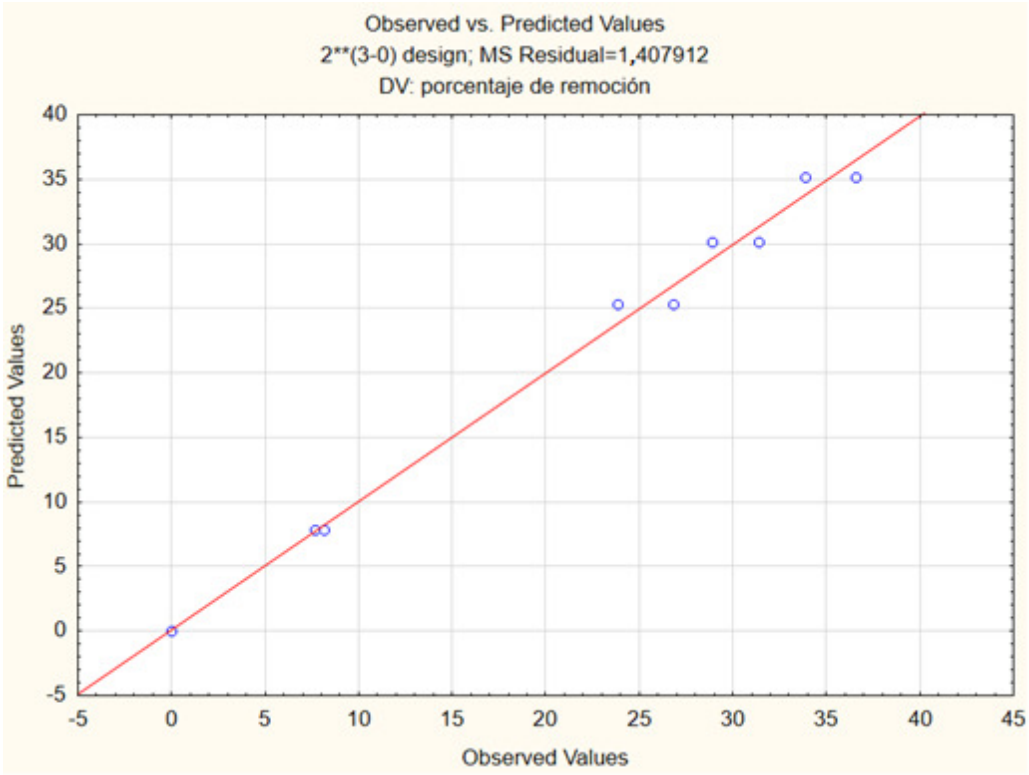


Figura 13. Valores observados Vs predichos para porcentaje de remoción.

Fuente : Elaboración propia.

V. DISCUSIÓN

En la **tabla 7** se muestra el estudio fitoquímico que se realizó a la biomasa de la tara y se encontró carbohidratos, compuestos fenólicos libres, flavonoides, catequinas, antraquinonas, taninos, triterpenos, grupos amino y saponinas; evidenciando similares resultados a lo obtenido por Callohuari, *et al*. que encontraron principalmente taninos, compuestos fenólicos y flavonoides[52], de manera similar fue lo encontrado por Aviles[53]. Además, se señala que la capacidad biosorbente de esta planta se debe principalmente a la presencia de taninos, compuestos fenólicos, etc. Es decir, a la sinergia de los metabolitos presentes en la planta[54].

Los grupos fenólicos aportan protones al medio lo que aumenta la densidad del átomo de oxígeno, de la misma manera esta electronegatividad presente en el oxígeno atrae a los iones metálicos[55].

En la **tabla 10** se muestra la cuantificación de polifenoles mediante el método de Folin-Ciocalteau expresándolo en ácido gálico como 0,366 g por gramo de muestra resultados similares a lo obtenido por Cespedes y Muñoz[56].

Los metales pesados presentan gran afinidad por ciertos grupos funcionales como grupos sulfidrilo, radicales amino, fosfato, carboxilo e hidroxilo presentes en los metabolitos secundarios de la planta, por lo que la tara al poseer estos se le atribuye la propiedad de atrapar a los metales pesados[38]. Los ligandos que utiliza son básicamente aminoácidos, ácidos orgánicos y más específicamente, dos clases de péptidos: fitoquelatinas y metalotioneinas[57,58].

Las diferencias pueden deberse al método de extracción utilizado, considerándose como factores el solvente, pH, tiempo de extracción, temperatura, masa, etc[59]. Este se ve favorecido cuando el agua se combina con otros solventes orgánicos pues contribuye a la creación de un medio moderadamente polar que asegura la extracción de polifenoles de mejor manera[60].

En la **tabla 11** se muestra que la quelación de plomo en los tubos 5 al 8 se incrementa en referencia al tiempo y a la masa, el plomo residual se identifica con reactivo de KI 5 % debido a que el ion yoduro forma un precipitado amarillo con el plomo[51].

En la **tabla 13** se muestra la capacidad de biosorción y el porcentaje de remoción, se puede observar que tanto el tiempo como la cantidad de masa influyen, ya que estos aumentan con el tiempo de contacto y con la masa. Similar al trabajo realizado por Ali, que además de esos factores también considera el tipo de solvente y la temperatura[4].

En la **tabla 15** se muestra que los factores tiempo de contacto y concentración de plomo afectan de manera significativa la capacidad biosorbente, así como la interacción de los 3 factores. Obteniéndose la respuesta óptima de 0,537 mg de plomo/g de biomasa a 40 gramos de masa, 120 minutos de tiempo de contacto y 141,295 ppm de plomo. El resultado es similar a lo realizado por Pinzon y Cardona que encontraron una respuesta mínima de 0,433 y un máximo de 1,422 mg de plomo/g de biomasa, pero estos fueron realizados a distintas concentraciones de plomo (50 y 150 ppm respectivamente), una masa de 60 g y por el método de columna de lecho fijo[40].

En la **tabla 18** se muestra que los factores masa, tiempo de contacto y concentración de plomo afectan de manera significativa el porcentaje de remoción, así como la interacción de los 3 factores. Obteniéndose la respuesta óptima de 35,197% a 80 gramos de masa, 120 minutos de tiempo de contacto y 141,295 ppm de plomo. El resultado es similar a lo realizado por Pinzon y Cardona que encontraron una respuesta mínima de 86,507 % y un máximo de 94,789 %, pero estos fueron realizados a distintas concentraciones de plomo (50 y 150 ppm respectivamente), una masa de 60 g y por el método de columna de lecho fijo[40].

La velocidad de agitación es un factor que influye de manera muy importante en tanto en la capacidad de biosorción como en el porcentaje de remoción ya que, en el trabajo realizado por Soto, se usa una masa de 0,7 g de tara a 120 minutos, se obtiene 3,813 mg de plomo/g de biomasa y 88,97 % a una velocidad de agitación de 400 rpm[61].

VI. CONCLUSIONES

1. La biomasa de la vaina de la *Caesalpinia spinosa* "tara" demostró capacidad biosorbente frente al plomo.
2. El extracto de la biomasa se caracterizó, evidenciando principalmente presencia de taninos y compuesto fenólicos libres.
3. Los factores tiempo de contacto, la concentración plomo y la interacción de los 3 factores afectan de manera significativa en la capacidad biosorbente.
4. Los factores masa, tiempo de contacto, la concentración plomo y la interacción de los 3 factores afectan de manera significativa en el porcentaje de remoción.

VII. RECOMENDACIONES

1. Evaluar la capacidad biosorbente de la biomasa de la vaina de la *Caesalpinia spinosa* "tara" tomando en cuenta diferentes estados del desarrollo, de este modo determinar la correcta fecha de recolección.
2. Determinar que otros factores que pueden influenciar en el proceso de biosorción de la tara en condiciones *in situ* referente a un cuerpo de agua (rio, laguna, etc.).
3. Realizar comparaciones de estudio frente a otros metales pesados, así como realizando modificaciones en las condiciones de estudio.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Silva L. Estudio de pre factibilidad para una empresa dedicada a la exportación de polvo de tara, goma de tara y la producción de una gama de productos naturales medicinales derivados de la tara. [Tesis de pregrado]. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencia e Ingeniería; 2016. [Citado 02 marzo 2021]. Disponible en: http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/6656
2. Bonilla H, López A, Carbajal Y, Siles M. Análisis de variables morfométricas de frutos de "tara" provenientes de Yauyos y Ayacucho para identificar caracteres agromorfológicos de interés. Sci Agropecu. [Internet]. 2016; 7(3): 157–64. [Citado 02 marzo 2021]. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/pdf/agro/v7nspe/a01v7nspe.pdf
3. Melo M, Glorio P, Tarazona G. Efecto de la madurez en los componentes de valor comercial (taninos y goma) de tara *Caesalpinia spinosa* (molina) kuntze. Rev Soc Quím Perú [Internet]. 2013; 79(3): 2018-28. [Citado 02 marzo 2021]. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v79n3/a04v79n3.pdf
4. Ali D. Extracción de taninos (Ácido gálico) a partir del polvo de vaina de tara (*Caesalpinia spinosa*). [Tesis de pregrado]. Puno: Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ciencias Agrarias; 2012. [Citado 02 marzo 2021]. Disponible en: http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/3404
5. De La Torre L. La Tara, beneficios ambientales y recomendaciones para su manejo sostenible en relictos de bosque y sistemas agroforestales. Quito: CODESAN; 2018. [Citado 02 marzo 2021]. Disponible en: https://condesan.org/wp-content/uploads/2018/10/Libro-Tara-Condesan-2.pdf
6. Rivera-Delgado ML, Llaque-Sánchez MRP, Polo-Gamboa JA. Efecto antimicrobiano del extracto etanólico de *Caesalpinia spinosa* "tara" sobre *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 comparado con eritromicina. Rev Med Vallejiana [Internet]. 2020; 9(1): 52–5. [Citado 02 marzo 2021]. Disponible en: https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/46098
7. López A, Oré R, Miranda C, Trabucco J, Orihuela D, Linares J, Villafani Y, Ríos S, Siles M. Capacidad antioxidante de poblaciones silvestres de "tara" (*Caesalpinia spinosa*) de las localidades de Picoy y Santa Fe (Provincia de

Tarma, departamento de Junín). Sci. Agropecu. [Internet]. 2013; 2(1): 25-9. [Citado 02 marzo 2021]. Disponible en: https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop/article/view/34

8. Martorell O. Efecto antibacteriano del extracto acuoso y etanólico de la *Caesalpinia spinosa* (tara) sobre el *Streptococcus mutans* ATCC 25175 - estudio *in vitro*. [Tesis de pregrado]. Puno: Universidad Privada de Tacna, Facultad de Ciencias de la Salud; 2020. [Citado 02 marzo 2021]. Disponible en: http://repositorio.upt.edu.pe/handle/UPT/1634
9. Verastegui, J. Estudio Taxonómico, Ecológico, Fitogenético y Manejo Agronómico de la Tara (*Caesalpinia spinosa)*. Lima: Asociación Tecnológica y Desarrollo; 1994.
10. Nieto CR, Orellana VP. Aplicación del quitosano como promotor de floculación para disminuir la carga contaminante. [Tesis de pregrado]. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales; 2011. [Citado 02 marzo 2021]. Disponible en: https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/1510
11. Revelo A, Proaño D, Banchón C. Biocoagulación de aguas residuales de industria textilera mediante extractos de *Caesalpinia spinosa*. Enfoque UTE [Internet]. 2015; 6(1): 1–12. [Citado 02 marzo 2021]. Disponible en: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=572260846003
12. Ballena T, Diaz A. Reforestación de tara para evitar la desertificación del suelo del caserío Tempón Bajo distrito de Salas – provincia de Lambayeque 2019. [Tesis de pregrado]. Chiclayo: Universidad de Lambayeque, Facultad de Ciencias de Ingeniera; 2020. [Citado 02 marzo 2021]. Disponible en: https://repositorio.udl.edu.pe/handle/UDL/350
13. Burstein-Roda T. Reflexiones sobre la gestión de los recursos hídricos y la salud pública en el Perú. Rev. perú. med. exp. salud publica [Internet]. 2018; 35(2): 297-303. [Citado 02 marzo 2021]. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/pdf/rins/v35n2/a18v35n2.pdf
14. World Health Organization. Drinking-water. Fact sheet. New York: WHO; 2018. [Citado 02 marzo 2021]. Disponible en: https://goo.gl/gRc2bV.
15. González-Cardona MZ, Morales-Pinzón T. Unidad didáctica y lúdica para explicar el fenómeno de contaminación del agua. Zona Próxima. [Internet].

2020; 32: 75–104. [Citado 02 marzo 2021]. Disponible en: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7459687

16. Rickert B, Chrus I, Schmoll O. Protecting surface water for health Identifying, assessing and managing drinking water quality risks in surface-water catchments. WHO; 2016 [Citado 02 marzo 2021]. Disponible en: https://goo.gl/QnQrpU.
17. Gómez-Duarte OG. Contaminación del agua en países de bajos y medianos recursos, un problema de salud pública. Rev Fac Med. [Internet]. 2018; 66(1): 7–8. [Citado 02 marzo 2021]. Disponible en: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7260988
18. Díaz O, Recabarren E, Ward J, Villalobos J. Metales pesados: aspectos ecológicos y tecnológico-alimentarios. Contribuciones [Internet]. 1989; 84: 5–10. [Citado 02 marzo 2021]. Disponible en: http://www.revistas.usach.cl/ojs/index.php/contribuciones/article/view/4138
19. Choque A. Efectos tóxicos de los metales pesados sobre la flora, fauna y la salud humana en el Perú. [Tesis de pregrado]. Puno: Universidad Nacional Del Altiplano, Facultad De Ingeniería De Minas; 2019. [Citado 02 marzo 2021]. Disponible en: http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/12986
20. Osores F, Rojas J, Lara C. Minería informal e ilegal y contaminación con mercurio en Madre de Dios: un problema de salud pública. Acta Med Per. [Internet]. 2012; 29(1): 38–42. [Citado 02 marzo 2021]. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/pdf/amp/v29n1/a12v29n1.pdf
21. Agency of Toxic Substances and Disease Registry. Case studies in environmental medicine. Lead toxicity. US Department of Health and Human Services, Public Health Service. Atlanta, GA: The Agency; 2007. [Citado 02 marzo 2021]. Disponible en: https://www.atsdr.cdc.gov/csem/csem.html
22. Salas-Marcial C, Garduño-Ayala MA, Mendiola-Ortiz P, Vences-García JH., Zetina-Román VC, Martínez-Ramírez OC, Ramos-García MDL. Fuentes de contaminación por plomo en alimentos, efectos en la salud y estrategias de prevención. Rev Iberoam Tecnol Postcosecha [Internet]. 2019; 20(1): 1-16. [Citado 02 marzo 2021]. Disponible en: https://www.redalyc.org/jatsRepo/813/81359562002/html/index.html

23. Velázquez M. Contaminación por Plomo y Cobre en el Rio Huaycoloro y su influencia en la Calidad del Agua en el Rio Rímac, 2018. [Tesis de pregrado]. Lima: Universidad Cesar Vallejo, Facultad De Ingeniería; 2018. [Citado 02 marzo 2021]. Disponible en: https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/20580

24. Von Hoffen P, Säumel I. Orchards for edible cities: Cadmium and lead content in nuts, berries, pome and stone fruits harvested with in the inner-city neighbourhoods in Berlin, Germany. Ecotoxicology and Environmental Safety [Internet]. 2014; 101: 233–239. [Citado 02 marzo 2021]. Disponible en: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0147651313005186?via%3Dihub

25. Reyes YC, Vergara I, Torres OE, Diaz M, Gonzales EE. Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. Revista Ingeniería Investigación y Desarrollo [Internet]. 2016; 16(2): 66-77. [Citado 02 marzo 2021]. Disponible en: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6096110

26. World Health Organization. Intoxicación por plomo y salud. New York: WHO; 2018. [citado 02 marzo 2021]. Disponible en: https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health

27. Poma PA. Intoxicación por plomo en humanos. An Fac med. [Internet]. 2008; 69(2): 120-6. [Citado 02 marzo 2021]. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/pdf/afm/v69n2/a11v69n2.pdf

28. Alvarado CJ, Dasgupta-Schubert N, Ambriz E, Sánchez-Yañez JM, Villegas J. Hongos micorrízicos arbusculares y la fitorremediación de plomo. Rev. Int. Contam. Ambie. [Internet]. 2011; 27(4): 357-364. [Citado 02 marzo 2021]. Disponible en: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37020721008

29. Azcona-Cruz MI, Ramírez y Ayala R, Vicente-Flores G. Efectos tóxicos del plomo. Rev Esp Med Quir. [Internet]. 2015; 20: 72-77. [Citado 02 marzo 2021]. Disponible en: https://www.medigraphic.com/pdfs/quirurgicas/rmq-2015/rmq151l.pdf

30. Rodríguez A, Cuéllar L, Maldonado G, Suardiaz ME. Efectos nocivos del plomo para la salud del hombre. Rev Cubana Invest Bioméd. [Internet]. 2016; 35(3): 251-271. [Citado 02 marzo 2021]. Disponible en: https://www.medigraphic.com/pdfs/revcubinvbio/cib-2016/cib163f.pdf

31. Cuizano NA, Llanos BP, Navarro AE. Aplicaciones Ambientales De La Adsorción Mediante Biopolímeros Naturales: Parte 1- Compuestos Fenólicos. Rev Soc Quím Perú [Internet]. 2009; 75(4): 488–94. [Citado 02 marzo 2021]. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v75n4/a12v75n4.pdf

32. Pérez L, Salgado I, Larrea C, Martínez A, Cruz ME, Carballo ME. Biosorción microbiana de metales pesados: Características del proceso. Rev. Cuba Ciencias Biológicas [Internet]. 2018; 6(1): 1–12. [Citado 02 marzo 2021]. Disponible en: http://www.rccb.uh.cu/index.php/RCCB/article/view/216

33. Landeta JJ. Análisis bibliográfico de tipos de isotermas de adsorción Freundlich, Langmuir y Brunauer, Emmett, Teller en zeolita para la recuperación de suelos agrícolas de la provincia de Cotopaxi en el periodo 2020. [Tesis de pregrado]. Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi, Facultad De Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; 2020. [Citado 02 marzo 2021]. Disponible en: http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/7110

34. Arslan Y, Kendüzler E, Kabak B, Demir K, Tomul F. Determination of adsorption characteristics of orange peel activated with potassium carbonate for chromium (III) removal. JOTCSA [Internet]. 2017; 4(1): 51–64. [Citado 02 marzo 2021]. Disponible en: https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/348100

35. Sarabia-Meléndez IF, Berber-Mendoza MS, Reyes-Cárdenas O, Sarabia-Meléndez M, Acosta-Rangel A. Low Cost Biosorbents: An alternative treatment for contaminated water. Revista Bio Ciencias [Internet]. 2018; 5: 1-12. [Citado 02 marzo 2021]. Disponible en: http://revistabiociencias.uan.mx/index.php/BIOCIENCIAS/article/view/375/633

36. Hossain MA, Ngo HH, Guo WS, Nghiem LD, Hai FI, Vigneswaran S, et al. Competitive adsorption of metals on cabbage waste from multi-metal solutions. Bioresour Technol. [Internet]. 2014; 160: 79–88. [Citado 02 marzo 2021]. Disponible en: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24461255/

37. Morales J. Optimización del proceso de biosorción de plomo (II) con mesocarpio de toronja (*Citrus paradisi var. Marsh*). [Tesis de pregrado]. Tingo María: Universidad Nacional Agraria de la Selva, Facultad De Recursos Naturales Renovables; 2020. [Citado 02 marzo 2021]. Disponible en: https://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1837

38. Martins JI, Órfão JJM, Soares OSGP. Sorption of copper, nickel and cadmium on bone char. Prot Met Phys Chem Surf. [Internet]. 2017; 53: 618–627. [Citado 02 marzo 2021]. Disponible en: https://link.springer.com/article/10.1134%2FS2070205117040153

39. Izquierdo M. Eliminación de metales pesados en aguas mediante bioadsorción. Evaluación de materiales y modelación del proceso. [Tesis de doctorado]. Valencia: Universidad de Valencia, Facultad de Ingeniería Química; 2010. [Citado 02 marzo 2021]. Disponible en: https://roderic.uv.es/handle/10550/23403

40. Pinzón-Bedoya ML, Cardona A. Influencia del pH en la bioadsorción de Cr(III) sobre cáscara de naranja: Determinación de las condiciones de operación en proceso discontinuo. Bistua [Internet]. 2010; 8(1): 21-30. [Citado 02 marzo 2021]. Disponible en: https://www.redalyc.org/pdf/903/90315226003.pdf

41. Muñoz JC. Biosorción de plomo (II) por cáscara de naranja "*Citrus cinensis*" pretratada. [Tesis de pregrado]. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad De Química e Ingeniería Química; 2007. [Citado 02 marzo 2021]. Disponible en: https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/9001/CoronelRomero_I.pdf?sequence=1&isAllowed=y

42. Tapia NJ, Muñoz JC, Torres F, Yarango A. Biosorción de Pb(II) por cáscara de naranja, *Citrus cinesis*, modificada. Rev. Per. Quím. Ing. Quím. [Internet]. 2003; 5(2): 39–44. [Citado 02 marzo 2021]. Disponible en: https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/quim/article/view/4905

43. Feng NC, Guo XY. Characterization of adsorptive capacity and mechanisms on adsorption of copper, lead and zinc by modified orange peel. Transactions of Nonferrous Metals Society of China [Internet]. 2012; 22(5):1224-1231.

[Citado 02 marzo 2021]. Disponible en: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1003632611613095

44. Das N, Vimala R, Karthika P. Biosorption of heavy metals - An overview. Indian J Biotechnol. [Internet]. 2008; 7(2): 159–69. [Citado 02 marzo 2021]. Disponible en: http://nopr.niscair.res.in/handle/123456789/1822

45. De la Cruz P. Aprovechamiento integral y racional de la tara, *Caesalpinia spinosa-Caesalpinia tinctoria*. Revista del Instituto de Investigación FIGMMG [Internet]. 2004; 7(4): 64-73. [Citado 02 marzo 2021]. Disponible en: https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/733

46. Vega C. Silvicultura y comercialización de la tara (*Caesalpinia spinosa* (Feuillée ex Molina) Kuntze). [Tesis de pregrado]. Jaén: Universidad Nacional de Cajamarca, Facultad de Ciencias Agrarias; 2019. [Citado 02 marzo 2021]. Disponible en: https://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/3203

47. Goycochea R. Evaluación de taninos y goma del fruto de la tara *Caesalpinia spinosa* (Molina) Kuntze provenientes de las lomas de Atiquipa, Arequipa - Perú. [Tesis de pregrado]. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Ciencias Forestales; 2010. [Citado 02 marzo 2021]. Disponible en: http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/419

48. Lock O. Investigación Fitoquímica, métodos en el estudio de productos naturales. 2 Ed. Lima: Univ Catolica Peru; 1994.

49. Singleton VL, Rossi JA. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. Am J Enol Vitic. [Internet]. 1965; 16:144-158. [Citado 02 marzo 2021]. Disponible en: https://www.ajevonline.org/content/16/3/144

50. Carranza JH, Romero WH. Efecto de la concentración y tiempo de contacto de tres biomasas de *Lemna minor* en la biorremediación de aguas residuales domésticas. [Tesis de pregrado]. Lambayeque: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias; 2020. [Citado 02 marzo 2021]. Disponible en: https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/8766

51. Vogel A. Química analítica cualitativa. 6 Ed. Buenos Aires: KAPELUSZ; 1991.

52. Callohuari R, Sandoval M, Huamán O. Efecto gastroprotector y capacidad antioxidante del extracto acuoso de las vainas de *Caesalpinia spinosa* 'tara', en animales de experimentación. An Fac med. [Internet]. 2017; 78(1): 61-66. [Citado 02 marzo 2021]. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/pdf/afm/v78n1/a10v78n1.pdf

53. Avilés R. Estudio químico y biológico de extractos de la hoja de tara (*Caesalpinia spinosa*). [Tesis de pregrado]. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad De Química e Ingeniería Química; 2018. [Citado 02 marzo 2021]. Disponible en: https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/10894

54. González D, Zapata O. Mecanismos de tolerancia a elementos potencialmente tóxicos en plantas. Bol. Soc. Bot. Méx. [Internet]. 2008; 82: 53-61. [Citado 02 marzo 2021]. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/pdf/bsbm/n82/n82a5.pdf

55. Banchón C, Baquerizo R, Muñoz D, Zambrano L. Coagulación natural para la descontaminación de efluentes industriales. Enfoque UTE [Internet]. 2016; *7*(4): 111-126. [Citado 02 marzo 2021]. Disponible en: https://www.readcube.com/articles/10.29019%2Fenfoqueute.v7n4.118

56. Cespedes A, Muñoz G. Influencia de la temperatura, solvente y tipo de vaina en la extracción de taninos de *Caesalpinia spinosa* (tara) por percolación y relación con su actividad antioxidante. [Tesis de pregrado]. Arequipa: Universidad Católica de Santa María, Facultad de Ciencias Farmacéuticas, Bioquímica y Biotecnológicas; 2013. [Citado 02 marzo 2021]. Disponible en: http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/UCSM/3790

57. Lemus M, Salazar R, Lapo B, Chung K. Metalotioneínas en bivalvos marinos. Lat. Am. J. Aquat. Res. [Internet]. 2016; 44(2): 202-215. [Citado 02 marzo 2021]. Disponible en: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-560X2016000200002

58. Pernía B, De Sousa A, Reyes R, Castrillo M. Biomarcadores de contaminación por cadmio en las plantas. INCI [Internet]. 2008; 33(2): 112-119. [Citado 02 marzo 2021]. Disponible en:

http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442008000200007&lng=es.

59. Masci A and *et al*. Evaluation of different extraction methods from pomegranate whole fruit or peels and the antioxidant and antiproliferative activity of the polyphenolic fraction. Food Chemistry [Internet]. 2016; 202: 59–69. [Citado 02 marzo 2021]. Disponible en: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26920266/

60. Barreto G, Púa A, De Alba D, Pión M. Extracción y caracterización de pectina de mango de azúcar (*Mangifera indica L*.). Temas agrarios [Internet]. 2017; 22(1): 77-84. [Citado 02 marzo 2021]. Disponible en: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6322294

61. Soto J. Estudio de la capacidad de adsorción de plomo por la biomasa de semillas de *Caesalpinia spinosa* en soluciones acuosas. [Tesis de pregrado]. Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo, Facultad de Ciencias Biológicas; 2017. [Citado 02 marzo 2021]. Disponible en: https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/10831

IX. ANEXOS

9.1. Certificación de identificación botánica



JOSÉ RICARDO CAMPOS DE LA CRUZ
CONSULTOR BOTÁNICO
C. B. P. N° 3796
Tel: 017512863 RPM 963689079
Email: jocamdc@gmail.com

CERTIFICACIÓN DE IDENTIFICACION BOTÁNICA

JOSÉ RICARDO CAMPOS DE LA CRUZ. BIÓLOGO COLEGIADO- Nº 3796 – INSCRITO CON EL N° 36 EN EL REGISTRO DE PROFESIONALES QUE REALIZAN CERTIFICACIÓN DE IDENTIFICACIÓN TAXONÓMICA DE ESPECÍMENES Y PRODUCTOS DE FLORA - RESOLUCIÓN DIRECTORAL Nº 0311-2013- MINAGRI-DGFFS-DGEFFS.

CERTIFICA:

Que, JIMMY LIMAYMANTA GONZALES, estudiante de la maestría de Productos Naturales y Biocomercio, de la Facultad de Farmacia y Bioquímica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, con fines de investigación ha solicitado la identificación y certificación de una planta conocida con el nombre vulgar de "tara", la muestra fértil con flores y frutos ha sido identificada como ***Caesalpinia spinosa* (Molina) Kuntze.** Según el Sistema Integrado de Clasificación de las Angiospermas de Arthur Cronquist. (1981), ocupa las siguientes categorías taxonómicas.

Reino	: Plantae
División	: Magnoliophyta
Clase	: Magnoliopsida
Subclase	: Rosidae
Orden	: Fabales
Familia	: Fabaceae
Género	: *Caesalpinia*
Especie	: *Caesalpinia spinosa* (Molina) Kuntze.

Nombre vulgar: "tara"

Se expide la presente certificación para fines de investigación científica.

Lima, 15 de diciembre del 2020

José R. Campos De La Cruz
BIÓLOGO
C.B.P. 3796

JR. SANCHEZ SILVA N° 156- piso 3. Urb. Santa Luzmila. Lima 07
Email. jericampos@yahoo.es; jocamdc@gmail.com

Figura 14. Clasificación botánica de la *Caesalpinia spinosa*.

Fuente: Elaboración propia.

9.2. Fotos del material biológico



Figura 15. Vainas de *Caesalpinia spinosa.*

Fuente: Elaboración propia.



Figura 16. Biomasa de *Caesalpinia spinosa*.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 17. Semillas de *Caesalpinia spinosa.*

Fuente: Elaboración propia.



9.3. Screening fitoquímico

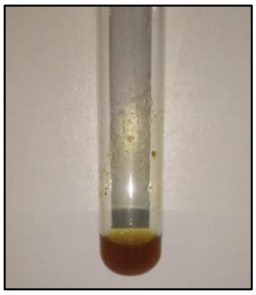
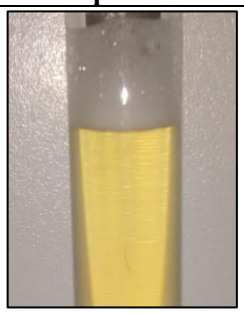
Molish	**$FeCl_3$**	**Shinoda**
 Carbohidratos (+)	 Compuestos fenólicos libres (+)	 Flavonoides (+)
Rosenheim	**Borntrager**	**Gelatina al 5%**
 Catequinas y leucoantocianidinas (+)	 Antraquinonas (+)	 Taninos (+)
Lieberman-Burchard	**Ninhidrina**	**Reactivo de Dragendorff**
 Esteroides y triterpenos (+)	 Grupos aminos primarios y secundarios (+)	 Alcaloides (-)
Hidroxilamina	**Espuma**	**Vainillin-ácido sulfúrico**
 Grupos carbonilos (-)	 Saponinas (+)	 Glicósidos (+)

Figura 18. Screening fitoquímico de *Caesalpinia spinosa.*

Fuente: Elaboración propia.

9.4. Determinación de polifenoles por el método de Folin-Ciocalteu

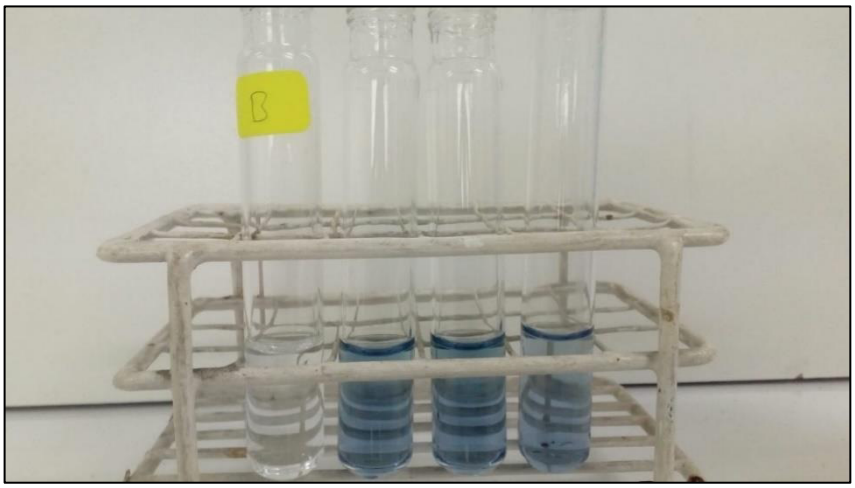


Figura 19. Prueba de Folin-Ciocalteu del extracto acuoso de *Caesalpinia spinosa.*
Fuente: Elaboración propia.

9.5. Determinación de la actividad biosorbente



Figura 20. Bolsitas con 10 gramos de biomasa de *Caesalpinia spinosa***.**
Fuente: Elaboración propia.



Figura 21. 4 bolsitas con 10 gramos de biomasa de *Caesalpinia spinosa*.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 22. Pruebas con 4 bolsitas con 10 gramos de biomasa de *Caesalpinia spinosa*.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 23. Pruebas con 8 bolsitas con 10 gramos de biomasa de *Caesalpinia spinosa*.

Fuente: Elaboración propia.

9.6. Análisis preliminares

a) Determinación cualitativa directo (determinación de presencia del plomo).

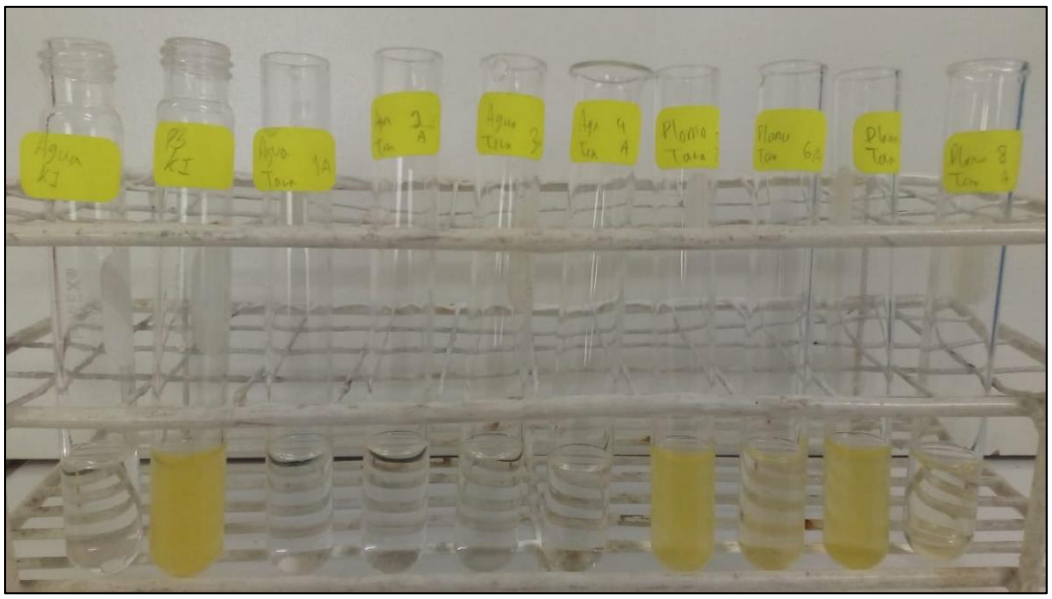


Figura 24. Identificación de plomo con KI 5% en los tratamientos 1 al 8 frente a un control negativo y positivo.

Fuente: Elaboración propia.

$$Pb^{+2}_{(ac)} + 2\ KI_{(ac)} \rightarrow 2\ K^{+}_{(ac)} + PbI_{2(s)}$$

Figura 25. Reacción de precipitación de yoduro de plomo.

Fuente: Elaboración propia.