

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



T E S I S

**CAPACIDAD BIOSORBENTE DE PLOMO DE LA CÁSCARA DE
NARANJA (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) Y LA VAINA DE TAYA
(*Caesalpinia spinosa* (Molina) Kuntze)**

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

Presentado por la Bachiller:

LISSETTE COLLANTES ZEGARRA

Asesor:

Dr. SEGUNDO BERARDO ESCALANTE ZUMAETA

CAJAMARCA – PERÚ

2019



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

Norte de la Universidad Peruana
Fundada por Ley 14015 del 13 de febrero de 1962

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Secretaría Académica



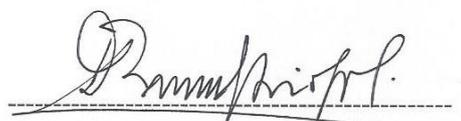
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Cajamarca, a los **tres** días del mes de **octubre** del año dos mil diecinueve, se reunieron en el ambiente **2C-211** de la Facultad de Ciencias Agrarias, los integrantes del Jurado designados por el Consejo de Facultad de Ciencias Agrarias, según Resolución de Consejo de Facultad N° 322-2019-FCA-UNC, de fecha 12 de Julio de 2019, con el objeto de Evaluar la sustentación de la Tesis titulada: “**CAPACIDAD BIOSORBENTE DE PLOMO DE LA CÁSCARA DE NARANJA (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) Y LA VAINA DE TAYA (*Caesalpinia spinosa* (Molina) Kuntze)**”, para optar el Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**, de la Bachiller: **COLLANTES ZEGARRA LISSETTE**;
A las **diecisiete** horas y **quince** minutos y de acuerdo a lo estipulado en el Reglamento respectivo, el Presidente del Jurado dio por iniciado el acto. Después de la exposición del trabajo de Tesis, la formulación de preguntas y de la deliberación del Jurado, el Presidente anunció la **aprobación** por **unanimidad** con el calificativo de **dieciséis** (16).

Por lo tanto, la graduando queda expedita para que se le expida el **Título Profesional** correspondiente.

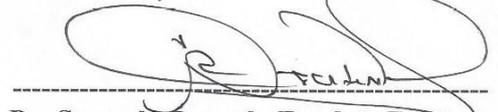
A las **dieciocho** horas y **cincuenta** minutos, el Presidente del Jurado dio por concluido el acto.

Cajamarca, 03 de octubre de 2019.


M. Sc. David Ricardo Uríol Valverde
PRESIDENTE


Ing. M. Sc. Attilio Israel Cadenillas Martínez
SECRETARIO


Ing. M. Sc. Giovana Ernestina Chávez Horna
VOCAL


Dr. Segundo Berardo Escalate Zumaeta
ASESOR

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación está dedicado con todo cariño y respeto a mi madre por ser el pilar más importante, por brindarme su apoyo incondicional, su confianza y comprensión durante toda mi vida y lograr este éxito en mi formación profesional.

A mi hija que es mi mayor motivación, el impulso y la energía para superarme cada día para ofrecerle lo mejor.

A mi novio por su amor, respaldo, paciencia y ayuda para concluir esta meta.

A mis hermanos por estar siempre presentes, acompañándome y apoyándome de manera incondicional.

A mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hacen de mí una mejor persona y me acompañan en las diferentes etapas de mi desarrollo personal y profesional.

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios por regalarme la vida y permitirme seguir adelante en el logro de las metas que me he propuesto.

Agradezco a mi madre, hermanos, novio y familia por el apoyo económico moral y espiritual que me brindan.

Agradezco al Dr. Berardo Escalante Zumaeta por la orientación y ayuda que me brindó en la realización y culminación de esta tesis.

Un agradecimiento especial al Dr. Carlos Segundo Tirado Soto por compartir sus conocimientos y tiempo para aclarar cualquier duda que me sugiera.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
Dedicatoria.....	iii
Agradecimiento.....	iv
Índice general.....	vi
Índice de tablas.....	vii
Índice de figuras.....	viii
Resumen	ix
Abstract	x
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. Problema de investigación	1
1.2. Formulación del problema	3
1.3. Objetivos de la investigación	3
1.4. Hipótesis de la investigación.....	3
CAPÍTULO II.....	4
REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Antecedentes de la investigación.....	4
2.2. Bases teóricas	6
2.1.1. Biosorción	6
2.1.2. Biosorbentes	7
2.1.3. Mecanismo de biosorción de metales	7
2.1.4. Principales factores que afectan el proceso de biosorción:	8
2.1.5. Biosorción en continuo: columna de lecho fijo	9
2.1.6. Diseño de columnas de lechos empacados.....	10
2.1.7. Metales pesados	10
2.1.8. Plomo	11
2.1.9. Naranja (<i>Citrus sinensis</i> (L.) Osbeck)	12
2.1.10. Taya o tara (<i>Caesalpinia spinosa</i> (Molina) Kuntze)	13

CAPÍTULO III.....	15
MATERIALES Y MÉTODOS	15
3.1. Ubicación geográfica	15
3.2. Materiales	15
3.2.1. Material biológico.....	16
3.2.2. Material de campo	16
3.2.3. Material y equipo de laboratorio	16
3.3. Metodología.....	16
3.3.1. Trabajo de campo	16
3.3.2. Trabajo de laboratorio.....	16
3.3.3. Trabajo de gabinete.....	25
CAPÍTULO IV.....	29
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
4.1. Determinación de la capacidad biosorbente de plomo (q_e , mg/g)	29
4.2. Determinación del porcentaje de remoción de plomo (% R)	31
CAPÍTULO V	35
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	35
5.1. Conclusiones.....	35
5.2. Recomendaciones	35
CAPÍTULO VI.....	36
BIBLIOGRAFÍA	36
ANEXOS	40
GLOSARIO.....	61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Factores, niveles y combinaciones de tratamientos.....	24
Tabla 2. Análisis de la varianza del DCR bajo el arreglo de un factorial 2 x 4, prueba de F para la capacidad biosorbente de plomo de la cáscara de naranja y la vaina de taya.....	26
Tabla 3. Medias de la capacidad biosorbente de plomo para cada combinación de tratamiento del estudio.....	28
Tabla 4. Análisis de la varianza (ANVA) del diseño factorial 2 x 4 para la capacidad biosorbente de plomo de la cáscara de naranja y la vaina de taya.....	29
Tabla 5. Prueba del Rango Múltiple de Duncan para comparación de medias de capacidad biosorbente de plomo de la cáscara de naranja y la vaina de taya.....	30
Tabla 6. Medias del porcentaje de remoción de plomo para cada combinación de tratamiento en estudio.....	31
Tabla 7. Análisis de la varianza (ANVA) del diseño factorial 2 x 4 para el porcentaje de remoción de plomo de la cáscara de naranja y la vaina de taya.....	33
Tabla 8. Prueba del Rango Múltiple de Duncan para comparación de medias de porcentaje de remoción de plomo de la cáscara de naranja y vaina de taya.....	34

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura de la pectina.....	13
Figura 2. Tanino de la tara <i>Caesalpinia spinosa</i>	14
Figura 3. Selección de cáscara de naranja.....	17
Figura 4. Lavado de la cáscara de naranja.....	17
Figura 5. Deshidratación al sol de la cáscara de naranja.....	17
Figura 6. Secado en estufa de la cáscara de naranja.....	18
Figura 7. Molienda de cáscara de naranja.....	18
Figura 8. Selección de tamaño de partícula de la cáscara de naranja.....	18
Figura 9. Selección de vaina de taya.....	19
Figura 10. Lavado de la vaina de taya.....	19
Figura 11. Deshidratación al sol de la vaina de taya.....	20
Figura 12. Secado en estufa vaina de taya.....	20
Figura 13. Molienda de vaina de taya.....	20
Figura 14. Selección de tamaño de partícula.....	21
Figura 15. Preparación de solución.....	21
Figura 16. Esquema del proceso de biosorción.....	22
Figura 17. Empaquetamiento de la biomasa.....	22
Figura 18. Humedecimiento de los módulos.....	23
Figura 19. Medición del pH del efluente.....	23
Figura 20. Sistema de biosorción.....	24
Figura 21. Capacidad biosorbente de plomo de la cáscara de naranja.....	30
Figura 22. Capacidad biosorbente de plomo de la vaina de taya.....	30
Figura 23. Porcentaje de remoción de plomo de la cáscara de naranja.....	33
Figura 24. Porcentaje de remoción de plomo de la vaina de taya.....	33

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo determinar la capacidad de biosorción de la cáscara de naranja y la vaina de taya como materiales biosorbentes de plomo de bajo costo a partir de soluciones acuosas, para lo cual se diseñó un sistema continuo en columna de lecho fijo en la cual se colocaron 5 módulos previamente empaquetados de cáscara de naranja y vaina de taya. Se analizó la influencia de la concentración inicial de solución de plomo (0 ppm, 50 ppm, 100 ppm y 150 ppm) y tipo de biosorbente; manteniéndose constantes las variables: masa de biosorbente 60 g, tamaño de partículas entre 0.630 mm y 0.400 mm, pH 4.5, velocidad de flujo 5 ml/min y duración del proceso de 120 min. Los resultados obtenidos ponen en manifiesto la efectividad de ambas biomasas como biosorbentes de plomo, mostrando valores de porcentaje de remoción superior al 95 % para la cáscara de naranja y superior al 80 % para la vaina de taya y capacidades de biosorción similares lo que indican su posible aplicación industrial para el tratamiento de aguas contaminadas por metales pesados.

Palabras clave: Biosorción, biosorbente, cáscara de naranja, vaina de taya, plomo.

ABSTRACT

The objective of this work was to determine the biosorption capacity of the orange peel and the taya pod as low-cost lead biosorbent materials from aqueous solutions, for which a continuous fixed-bed column system was designed in the which 5 previously packaged modules of orange peel and taya pod were placed. The influence of the initial concentration of lead solution (0 ppm, 50 ppm, 100 ppm and 150 ppm) and type of biosorbent was analyzed; the variables being constant: biosorbent mass 60 g, particle size between 0.630 mm and 0.400 mm, pH 4.5, flow rate 5 ml / min and process duration of 120 min. The results obtained show the effectiveness of both biomass as lead biosorbents, showing values of removal percentage greater than 95% for the orange peel and greater than 80% for the taya pod and similar biosorption capacities which indicate their possible industrial application for the treatment of water contaminated by heavy metals.

Key words: Biosorption, biosorbent, orange peel, tinea pod, lead.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Actualmente, la contaminación de los cuerpos de agua por metales pesados va en aumento y se ha convertido en un problema ambiental a nivel mundial.

Existen tecnologías convencionales para la descontaminación del agua por metales, tales como: precipitación, oxidación, reducción, intercambio iónico, filtración, entre otras, las cuales resultan costosas e ineficientes cuando la concentración de los metales es baja. Por tal motivo surgen nuevas técnicas de bajo costo como la biosorción, proceso que utiliza diversos tipos de biomasa de origen vegetal, animal o microbiano para enlazar estos contaminantes (Vera 2015).

Considerando lo anterior, se torna relevante investigar y desarrollar el uso de materiales biosorbentes simples y de bajo costo que debido a su contenido de polímeros como la celulosa, pectina, lignina son capaces de fijar iones metálicos. Utilizar la biosorción como una tecnología nueva, limpia y compatible con el ambiente.

En el presente trabajo de investigación de tipo experimental, se aplicó la biosorción como proceso de eliminación de plomo en soluciones acuosas, utilizando cáscara de naranja y vaina de taya como biosorbentes, el aprovechamiento de estas dos biomásas es de especial interés, desde el punto de vista económico, ambiental, puesto que en el caso de la cáscara de naranja es un residuo de escaso valor económico y generado en grandes cantidades; y lo que respecta a la vaina de taya Cajamarca es una de las principales regiones productoras. El estudio permitió determinar la eficacia de estas biomásas para la remoción de plomo de aguas contaminadas y determinar que la cáscara de naranja tiene mayor capacidad de biosorción frente a la vaina de taya, las mismas que lograron remociones superiores a 95 % y 80 % respectivamente. También se pudo determinar que ambas biomásas tienen similar capacidad de biosorción a diferentes concentraciones de plomo.

1.1. Problema de investigación

Uno de los problemas ambientales a nivel mundial es la contaminación de las aguas producida por metales pesados (por ejemplo, plomo, cobre, cadmio, zinc, cromo, etc.), ya que estos tienen un alto índice de toxicidad, aún a bajas concentraciones, y son materiales bioacumulables y no biodegradables (Vera 2015).

Al no ser biodegradables tienden a acumularse en el medio ambiente a través de la cadena alimenticia, aumentando su amenaza. En consecuencia, la desintoxicación de las aguas residuales que contienen metales, es una preocupación ambiental inevitable que amerita el desarrollo y la aplicación de procesos rentables para la eliminación/recuperación de estos contaminantes, a fin de mejorar la competitividad de las operaciones de procesamiento industrial y minimizar el peligro ambiental de los efluentes que los contienen (Volesky y Naja 2007).

Además, los efectos de los metales sobre el funcionamiento de los ecosistemas varían considerablemente y son de importancia económica, social y de salud pública. Para tal propósito, es conveniente desarrollar nuevas técnicas para el tratamiento de aguas residuales con metales, que sean menos costosas y eficientes que las tradicionales.

Dentro de las técnicas disponibles hoy en día, tales como la floculación, la precipitación, filtración, la flotación y la extracción con solventes, la biosorción puede ser usada para la descontaminación de aguas residuales por metales pesados y la recuperación de estos, pues el uso de biomasa no viva evita problemas de contaminación porque se pueden regenerar y el uso de estos materiales biosorbentes son de bajo costo (Muñoz 2007) y no produce lodos peligrosos (Volesky y Naja 2007).

Sin embargo, su implementación involucra el uso de cierta clase de biomasa caracterizada por su estructura química y presencia de grupos funcionales como el amino, amido, hidroxilo, carboxilo y otros que podrían unirse a los iones de metales pesados (Hossain et al. 2014).

En base a estas propiedades, se han estudiado diversos materiales de bajo costo y con potencial de ser usados en el proceso de biosorción, entre los cuales se cita a la cáscara de palta, para el cromo (Netzahuatl-Muñoz et al. 2010); la cáscara de tarwi, para el plomo (Albarracín 2014); las algas rojas, cáscara de naranja y tuna, para el plomo, cadmio y zinc (Vizcaíno y Fuentes 2015); y los residuos de cacao para el plomo y cadmio (Lara et al. 2017).

En este contexto, a través de la presente investigación se estudió la capacidad biosorbente de plomo de la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) y vainas de taya (*Caesalpinia spinosa* (Molina) Kuntze), dos recursos vegetales de relativa abundancia en la región Cajamarca, un espacio geográfico de marcada importancia minera, actividad antrópica generadora de metales pesados, entre los cuales destaca el

plomo, el cual según Volesky (2001), representa un alto riesgo para la salud, el ambiente y las reservas de recursos naturales, motivo por el cual su eliminación es de interés prioritario frente a otros metales presente en aguas residuales.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es la capacidad biosorbente de plomo de la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) y la vaina de taya (*Caesalpinia spinosa* (Molina) Kuntze) y su porcentaje de remoción de plomo?

1.3. Objetivos de la investigación

Determinar la capacidad biosorbente de plomo de la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) y la vaina de taya (*Caesalpinia spinosa* (Molina) Kuntze) y el porcentaje de remoción de plomo.

1.4. Hipótesis de la investigación

La capacidad biosorbente de plomo de la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) y la vaina de taya (*Caesalpinia spinosa* (Molina) Kuntze) es semejante y a la vez permite remover más del 50% del plomo contenido en las soluciones acuosas.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes de la investigación

Muñoz (2007) utilizó como material biosorbente la cáscara de naranja pretratada para la biosorción de Pb (II). El pretratamiento del material biosorbente se llevó a cabo mediante la reticulación con una solución 0.2M de CaCl₂. El material tratado fue secado en una estufa a la temperatura de 40 °C por 24 h. El tamaño de partícula es de 180 – 250 µm. Se encontró que el rango óptimo de pH para el proceso de biosorción se encontraba entre 4.5 - 5. Se determinó que el equilibrio se alcanzó a las 4 horas del inicio del proceso de biosorción logrando un porcentaje de remoción de Pb (II) del 40 %. Los resultados de los experimentos en batch se procesaron con la ayuda de las ecuaciones de Langmuir y Freundlich. La máxima capacidad de biosorción de Pb (II) por la cáscara de naranja pretratada (q máximo) fue de 141.05 mg/g.

Calero et al. (2012) usaron la corteza de pino como biosorbente para la eliminación de cobre en columna de lecho fijo. Diseñaron una columna de relleno encamisada de 23 cm de altura y 1,5 cm de diámetro interno. Analizaron la influencia de tres parámetros de operación como: caudal de alimentación de la columna, concentración inicial del metal y la altura de relleno, manteniendo los parámetros de pH (5), temperatura (25 °C), tiempo de contacto (260 min) constantes. Los resultados mostraron un valor máximo para la capacidad de biosorción de 17,46 mg/g, en unas condiciones de operación de 100 mg/L de concentración inicial de Cu (II), un caudal de 6 mL/min y una altura de relleno de 4,4 cm. Sin embargo, el valor máximo del porcentaje de cobre retirado, un 100 % se obtuvo para unas condiciones de operación de 40 mg/L de concentración inicial de Cu (II), un caudal de 2 mL/min y una altura de relleno de 13,4 cm. El modelo Dosis-Respuesta es el que mejor reproduce la curva de ruptura completa.

Cardona et al. (2013) investigaron la biosorción de Pb (II) y Zn (II) por biomasa de cáscara de naranjas secas, trituradas, con y sin tratamiento de reticulación (con CaCl₂). Evaluaron la capacidad de biosorción de la cáscara de naranja y el porcentaje de remoción de dichos metales. Variaron 7 parámetros fisicoquímicos (pH, tamaño de partícula de la biomasa, concentración del contaminante, cantidad de la biomasa, temperatura, tiempo de contacto y tipo de tratamiento) asignando dos valores cada uno: alto y bajo. De los experimentos encontraron que para el Pb (II) (pH 5, tamaño de

partícula 0.4 mm, concentración del metal 80 ppm, cantidad de cáscaras de naranja 0.5 g, tiempo de contacto 2 h, T 50 °C, biomasa con reticulación) mostró el mejor porcentaje de remoción (99.5 %) con capacidad de remoción de 9.39 mg de Pb (II) / g de cáscara de naranja. El mejor porcentaje de remoción de Zn (II) fue 99.5 % y se obtuvo en el experimento (pH 5, tamaño de partícula 0.48 mm, concentración de metal 100 ppm, cantidad de cáscara de naranja 0.5 g, tiempo de contacto 4 h, T 25 °C y biomasa sin reticulación), cuya capacidad de remoción fue de 9.95 mg de Zn (II)/ g de cáscara de naranja.

Albarracín (2014) investigó el uso del tanino de la cáscara de tarwi (*Lupinus mutabilis* sweet) para la biosorción del Pb (II), la misma que fue tratada con ácido clorhídrico, para dar una mayor estabilidad mecánica al material bioadsorbente. Los modelos utilizados de Langmuir y Freundlich se ajustaron positivamente para describir las isotermas de biosorción del sistema (0,97 y 0,98 respectivamente). El porcentaje de iones Pb (II) del agua superficial del río sobre la cáscara de tarwi activados fueron a un pH de 5,5; una masa de 0,1 g y un tiempo de 60 min., utilizando el método complexométrico se obtuvo una remoción del 96,021 % y por el método ICP-Piasma se obtuvo el 100 % de remoción en la muestra real C_i (Concentración inicial), que fue de 162 mg/L y C_f (Concentración final), fue de cero, lo que indica que la remoción fue del 100 %.

Vizcaíno y Fuentes (2015) diseñaron un sistema para evaluar la remoción de los metales pesados Cd, Pb y Zn; empleando biomasa de algas rojas, cáscaras de naranja (*Citrus* sp) y tuna guajira (*Opuntia* sp); estudiaron la influencia del pretratamiento (emplearon soluciones de sodio y calcio) y el empaquetamiento mediante ensayos tipo Batch. La eficiencia de remoción la determinaron mediante un reactor de flujo continuo de columna fija de 6.5 cm de diámetro y 42.5 cm de longitud, con un volumen líquido de 400 mL, 75 g de biomasa y tiempos de retención promedio de 1 y 2 h. La mayor capacidad de sorción se obtuvo de las algas modificadas con NaOH 0.1 N y de la naranja y la tuna con modificación sucesiva con NaOH y CaCl₂ 0.2 M, y una afección poco significativa ($\leq 1\%$) del proceso de sorción al empacar la biomasa en placas planas de tul poliéster. Los tres biosorbentes mostraron una eficiencia similar para remover Cd y Pb, con promedios superiores al 95%, mientras que el Zn se removió con mejor eficiencia (62%) al emplear tuna modificada como sorbente.

Tejada y Núñez (2016) compararon el uso de biomasa residual a partir de cáscara de naranja y zuro de maíz para la remoción de plomo, variaron el tamaño de partícula y pH. Encontraron que las biomásas presentaron mayor capacidad de adsorción a condiciones de tamaño de partícula de 0,5 mm, para el zuro de maíz y 1 mm, en la cáscara de naranja, a un pH de 6, con valores de remoción de 67,5 % y 99,2 %, respectivamente. Utilizaron diferentes modelos para describir la cinética de adsorción de Pb (II), siendo el de mayor ajuste el modelo de pseudo primer orden; por otro lado, el modelo de isoterma que se ajustó mejor a los resultados obtenidos fue el propuesto por Freundlich.

Salas y Sarcco (2017) estudiaron el proceso de bioadsorción para la eliminación de metales pesados: Pb^{+2} y Fe^{+2} , presentes en efluentes del laboratorio químico de Southern Perú, haciendo uso de la cáscara de naranja (*Citrus Sinensis*). El proceso de bioadsorción lo evaluaron en sistemas por lote, en función del pH, fuerza iónica, temperatura, concentración inicial de cada metal, tipo de tratamiento para el bioadsorbente, tamaño de partícula. Determinaron que el pH óptimo para la remoción de ambos metales fue de 5, para muestras sintéticas y 6 para muestras reales, el tamaño de partícula del bioadsorbente de 0.8 mm, tiempo de contacto 4 h y que al aumentar la fuerza iónica y la temperatura, la capacidad adsorbente (Q_e) y porcentaje de remoción (% R) aumentan. Además, que el bioadsorbente tratado tubo mejores resultados; la capacidad adsorbente (Q_e) sin tratamiento de biomasa obtenido para el plomo fue: 0.222 mg/g y para el Fe: 1.38 mg/g y la Q_e con tratamiento de biomasa fue: 0.49 mg/g para el Pb y 1.65 mg/g para el Fe y el porcentaje de remoción (% R) obtenido para el plomo fue: 86.49 % y para el Fe: 97.73 %. Determinaron también una velocidad de adsorción de 0.145 ppm/min para el Pb y 11.39 ppm/h para el Fe.

2.2. Bases teóricas

2.1.1. Biosorción

La biosorción es el proceso de eliminación de sustancias a partir de soluciones mediante materiales biológicos orgánicos e inorgánicos, así como en sus formas solubles e insolubles (Cuizano et al. 2009).

La biosorción se puede definir como la captación de metales por medio de una biomasa completa (viva o muerta), a través de mecanismos fisicoquímicos como la adsorción o el intercambio iónico. Cuando se utiliza biomasa viva, los mecanismos metabólicos de

captación también pueden contribuir en el proceso. La biosorción implica una fase sólida (sorbente) y una fase líquida (solvente, que es normalmente el agua) que contiene las especies disueltas que van a ser sorbidas (sorbato, e.g. iones metálicos) (Cañizares-Villanueva 2000).

Los fenómenos de biosorción se caracterizan por la retención del metal mediante una interacción fisicoquímica del metal con ligandos expuestos hacia el exterior de la célula pertenecientes a partes de moléculas componentes de las paredes celulares como por ejemplo los grupos funcionales carboxilo, amino, hidroxilo, fosfato, sulfhídrido, entre otros. Es un mecanismo de cinética rápida que no presenta una alta dependencia con la temperatura (Vullo 2003).

La biosorción es adecuada como técnica de desintoxicación de aguas con metales pesados en concentraciones en un rango de 1 a 100 ppm (Sala et al. 2010).

Por lo tanto la biosorción puede describirse como un sistema en el cual un sorbato (átomo, molécula o ion molecular) interactúa con un biosorbente (superficie sólida de una matriz biológica) dando como resultado la acumulación en la interfase sorbato-biosorbente, lo que significa una reducción en la concentración del sorbato en la solución tratada (Cuizano et al. 2009).

2.1.2. Biosorbentes

Los materiales biosorbentes independiente de su fuente han demostrado buena eficacia para la eliminación de metales; estos biosorbentes son: microorganismo como bacterias, hongos, levaduras, algas, subproductos agrícolas como cáscara de arroz, salvado de arroz, trigo, bagazo de caña de azúcar, residuos de frutas, malas hierbas, etc., y otros materiales de polisacáridos son biosorbentes (Gupta et al. 2015).

Los biosorbentes se caracterizan principalmente por su estructura química y los grupos funcionales presentes en ellos (amino, carboxil, sulfato, amido, hidroxil, entre otros) los que podrían atrapar iones metálicos (Hossain *et al.* 2014).

2.1.3. Mecanismo de biosorción de metales

Los estudios de adsorción y desorción son esenciales para la comprensión del proceso de biosorción y sirven como base para las consideraciones estequiométricas cuantitativas que constituyen la base para el modelado matemático del proceso. Los mecanismos de unión a metales son activos en su captación por biosorción. Entre estos

se tiene: (1) la Quimisorción por intercambio iónico, complejación, coordinación o quelación; y (2) la Adsorción física y microprecipitación. También hay posibles reacciones de reducción de la oxidación que tienen lugar en el biosorbente. Sin embargo, debido a la complejidad de los biomateriales utilizados, es posible que al menos algunos de estos mecanismos actúen simultáneamente en diversos grados dependiendo del biosorbente y del entorno de la solución. Estudios más recientes con biomasa de hongos y algas en particular han indicado un papel dominante de la unión de metales de intercambio iónico. De hecho, los materiales de biomasa ofrecen numerosos grupos moleculares que se sabe que ofrecen sitios de intercambio iónico, carboxilo, sulfato, fosfato y amina, que podrían ser los principales. Cuando los mecanismos de interacción metal-biomasa se comprenden razonablemente, el trabajo puede comenzar a optimizar el proceso de biosorción a nivel molecular. Eso podría incluir incluso la manipulación de la selectividad para metales particulares de interés (Volesky 2001).

2.1.4. Principales factores que afectan el proceso de biosorción

2.1.4.1. Tipo de biosorbente

Los mecanismos de retención de los adsorbatos y la capacidad de eliminación están determinados y condicionados por la composición y reactividad química de la superficie del bioadsorbente. La presencia de grupos funcionales con oxígeno favorece la biosorción de metales pesados (Izquierdo 2010).

2.1.4.2. Tamaño de partícula

El tamaño de partícula del bioadsorbente afecta a la capacidad de adsorción como a la velocidad de la reacción. La existencia de un mayor número de centros activos disponibles para la reacción y la mayor facilidad con que el adsorbato puede acceder a ellos, con 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 (Izquierdo 2010).

Pinzón y Cardona (2010) observaron que la cantidad de metal adsorbido para tamaños de partícula entre los rangos 0,300 - 0,425 mm y 0,420 - 0,600 mm no varía. Sin embargo para los tamaños de partícula menores de 0,3 mm se aprecia un incremento significativo de la capacidad de adsorción.

2.1.4.3. pH de la disolución

Parece ser el parámetro más importante en el proceso de biosorción, afecta la química de la solución de los metales, la actividad de los grupos funcionales y la competencia de biomasa de los iones metálicos (Das et al. 2008).

Según Muñoz (2007) la biosorción depende de la protonación o desprotonación de los grupos funcionales; es decir, a bajos valores de pH los ligandos de las paredes celulares estarían asociados con los iones hidronio (H_3O^+) restringiendo el acceso a los ligandos de los iones metálicos como resultado de fuerzas repulsiva. Y cuando el pH se incrementa, más grupos funcionales están disociados y se convierten en provechosos iones Pb (II) y enlazantes, esto se debe a que hay menos competencia de iones hidrógeno en la solución. En valores de pH por debajo de 4 existe una competencia por los sitios activos del biosorbente entre los iones Pb^{2+} y los iones H^+ .

Tapia et al. (2003) determinaron que el pH óptimo para la biosorción de Pb^{2+} utilizando cáscara de naranja modificada se encuentra entre un valor de 4.5 y 5. Feng y Guo (2012) determinaron que el efecto de pH es distintivo en un sistema de columna; que a un pH de 2.5 la eficiencia de adsorción de Cu^{2+} , Pb^{2+} y Zn^{2+} fue 83,5 %, 93,2 % y 8 % pero que al aumentar el valor de pH a 5.5, la eficiencia de absorción son 93,7 %, 99,4 % y 86,6 % para Cu^{2+} , Pb^{2+} y Zn^{2+} . Sin embargo, a un valor de pH superior a 5.5 estos iones precipitan debido a la alta concentración de OH.

2.1.4.4. Tiempo de contacto

La reacción de bioadsorción de metales pesados normalmente se completa en un intervalo de tiempo reducido, alcanzándose el equilibrio en pocas horas (Izquierdo 2010). Feng y Guo (2012) estudiaron el efecto del tiempo de contacto en la adsorción entre 0 y 120 min, determinando que 2h de tiempo de contacto es suficiente para asegurar que se alcanza el equilibrio.

2.1.4.5. Temperatura

La temperatura no influye en los procesos de biosorción en el intervalo de 20 °C – 35 °C (Das et al. 2008).

2.1.5. Biosorción en continuo: columna de lecho fijo

De acuerdo a Kratochvil y Volesky (1998) las columnas de adsorción son los dispositivo mas eficaces para la eliminación continua de metales pesados.

El sistema más empleado para el estudio de biosorción en continuo ha sido el de lecho fijo, en el cual las partículas del biosorbente permiten el paso del fluido de forma tortuosa sin separarse unas de otras, haciendo que la altura del lecho y, en consecuencia, su porosidad se mantenga constantes (Vizcaíno y Fuentes 2015).

Los estudios de adsorción en una columna de lecho fijo, a diferencia de los experimentos por lotes, no funcionan bajo condiciones de equilibrio debido a que continuamente ingresa a la columna una disolución de alimentación, donde se establece un proceso de transferencia de masa permanente entre una fase móvil que contiene el adsorbible (sustancia a remover) y la fase sólida del lecho adsorbente (Castellar et al. 2013).

La columna de lecho fijo de flujo ascendente (reactor columna) ha sido el más utilizado en estudios de laboratorio, debido a su alto rendimiento operacional y la relativa facilidad de escalar los procedimientos a las capacidades industriales (Boada 2015).

2.1.6. Diseño de columnas de lechos empacados

El sistema de lecho fijo consiste en una columna en el cual se deposita en su interior el biosorbente granulado como un lecho, que normalmente no se mueve; el líquido atraviesa la columna en sentido ascendente o descendente. El tamaño del granulado del biosorbente debe ser adecuado para evitar una presión excesiva a lo largo de la columna, si bien hay que tener en cuenta que partículas demasiado grandes provocan un descenso en la superficie útil del biosorbente, haciendo que la difusión intraparticular se vea limitada (Kumar 2013).

El lecho de sorción debe ser poroso para permitir que el líquido fluya con una resistencia mínima pero permitiendo la máxima transferencia de masa a las partículas. Por lo tanto, las partículas deben ser tan pequeñas como sea posible para la caída de presión razonable a través de la cama (Volesky 2001).

2.1.7. Metales pesados

La presencia de los metales en el ambiente se puede dar por dos tipos de vías natural y antropogénica; estos se movilizan en matrices de agua, suelo y aire (Reyes et al. 2016). Se considera que la principal fuente natural de metales pesados en el medioambiente son las rocas y los suelos. Otras fuentes naturales de metales pesados en el medioambiente ocurren a través de los aportes atmosféricos, como las erupciones volcánicas. Las principales fuentes antropogénicas son las actividades agrícolas, en las

que se utilizan ampliamente los fertilizantes, abonos de animales y plaguicidas que contienen metales pesados; las actividades metalúrgicas, en las que se incluyen la minería, la fundición, el acabado metálico y otros; la energía tanto en su producción como en su transporte; los productos microelectrónicos; y por último, la deposición de residuos (Vicente 2010).

Los metales pesados (por ejemplo, plomo, cobre, cadmio, cinc, cromo, etc.) tienen un alto índice de toxicidad y son no biodegradables (Vera 2015 y Volesky y Naja, 2007).

2.1.8. Plomo

El plomo se puede hallar en forma natural en el ambiente, pero las mayores concentraciones que son encontradas son debido a las actividades antrópicas y las industrias. Este metal no es biodegradable por lo que se acumula en los cuerpos de organismos acuáticos y terrestres, generando varios daños por envenamamiento (Samaniego et al. 2016).

Su uso generalizado ha dado lugar en muchas partes del mundo a una importante contaminación del medio ambiente, un nivel considerable de exposición humana y graves problemas de salud pública (Organización Mundial de la Salud 2018).

2.1.8.1. Fuentes de contaminación por plomo

Según la OMS (2018) entre las principales fuentes de contaminación ambiental por plomo destacan: la minería, la metalurgia, las actividades de fabricación y reciclaje y, en algunos países, el uso persistente de pinturas y gasolinas con plomo. Más de tres cuartas partes del consumo mundial de plomo corresponden a la fabricación de baterías de plomo-ácido para vehículos de motor. También puede contener plomo el agua potable canalizada a través de tuberías de plomo o con soldadura a base de este metal. En la actualidad, buena parte del plomo comercializado en los mercados mundiales se obtiene por medio del reciclaje.

2.1.8.2. Efectos del plomo

El plomo y los compuestos de plomo son generalmente contaminantes tóxicos. Las sales de plomo y otros compuestos como el acetato de plomo, óxido de plomo, nitrato de plomo y carbonato de plomo tienen en el agua un peligro de clase 2, y por lo tanto son dañinas. El plomo limita la síntesis clorofílica de las plantas, no obstante las plantas pueden absorber del suelo altos niveles de plomo, hasta 500 ppm. Concentraciones más

altas perjudican el crecimiento de las plantas. El plomo se acumula en los organismos, en los sedimentos y en el fango. El plomo en el agua residual proviene principalmente de los tejados y de las calles. (Lenntech)

A través de la corrosión de las tuberías de plomo y las pinturas que contienen plomo, de los sistemas de transporte, el plomo puede terminar en el agua y el suelo. El plomo se acumula en los cuerpos de los organismos acuáticos y organismos del suelo, los cuales experimentarán efectos en su salud por envenenamiento. Los efectos sobre la salud de los crustáceos pueden tener lugar incluso cuando sólo hay pequeñas concentraciones de plomo presente (Albarracín 2014).

2.1.9. Naranja (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck)

La naranja, es una de las más exquisitas frutas subtropicales del mundo. El fruto es globoso y achatado, con una anchura de 6,5 a 9,5 cm. El epicarpio exterior es de color naranja cuando está maduro, mientras que el mesocarpio interno es blanco y esponjoso y no aromático.

2.1.9.1. Clasificación taxonómica

Reino : Plantae
División : Magnoliophyta
Clase : Magnoliopsida
Subclase : Rosidae
Orden : Sapindales
Familia : Rutaceae
Género : Citrus

Nombre científico: *Citrus sinensis* (L.) Osbeck

2.1.9.2. Cáscara de naranja

La cáscara de naranja generalmente es desechada después de haber extraído el jugo, es rica en pectina, uno de los principales constituyentes de la pared celular, cuya estructura molecular dispone de grupos carboxilo, hidroxilo en los cuales se encuentran sitios aniónicos que sirven como centros de adsorción. La estructura básica de la pectina (Fig. 1) está conformada por moléculas de ácido D-galacturónico unidas por enlaces glicosídicos a 1-4 que constituyen el ácido poligalacturónico. (Villanueva y Tapia 2005)

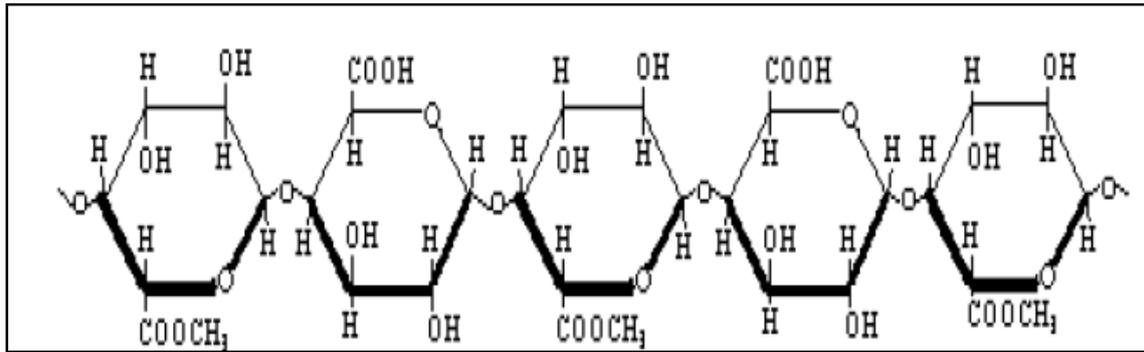


Figura 1. Estructura de la pectina

2.1.10. Taya o tara (*Caesalpinia spinosa* (Molina) Kuntze)

2.1.10.1. Clasificación taxonómica

Reino : Plantae
 División : Fanerógamas
 Clase : Dicotiledoneas
 Sub- Clase : Arquidomideas
 Orden : Rosales
 Familia : Fabaceae
 Género : *Caesalpinia*

Nombre científico: *Caesalpinia spinosa* (Molina) Kuntze.

Nombre común: Tara o Taya (Perú). (Goycochea 2010)

2.1.10.2. El árbol de la tara

Crece en temperaturas promedio entre 12 y 18 °C. Se distribuye en regiones de la costa (Ica, La Libertad, Lambayeque, Lima y Arequipa) y de la sierra (Áncash, Cajamarca, Huánuco, Huancavelica, Apurímac y Ayacucho) y en suelos pedregosos y degradados (erosionados), preferentemente silíceos y arcillosos. Rinde entre 25 y 46 kg de vainas por planta en cada cosecha, generando una producción de vainas de catorce toneladas o más por hectárea pudiéndose recolectar dos veces al año. Sus frutos son vainas aplanadas de color amarillo naranja de hasta diez centímetros de largo y dos de ancho. Cada vaina contiene hasta siete semillas redondeadas de 0,6 a 0,7 centímetros de diámetro, de color pardo negruzco cuando está madura (Chávez 2013). En el Perú,

Cajamarca es el principal departamento productor de vainas de taya, de las cuales se obtiene un polvo con elevado porcentaje de taninos.

El polvo de taya se consigue mediante un proceso mecánico simple de trituración de vaina, previamente despepitada, obteniendo como producto un aserrín fino de coloración amarilla clara, con un aproximado de 52 a 54% de taninos (De la Cruz 2004).

2.1.10.3. Tanino de la vaina de tara

Haslam, citado por Goycochea (2010), indica que el principal componente del tanino de la tara está basado en la estructura del ácido gálico (Fig. 2) de este modo, se diferencia de otros miembros del grupo taninos hidrolizables que está basado sobre un galotanino y un elagitanino. La posición del número largo de anillos galotánicos del tanino de la tara, podría dar la formación de la estructura en tres dimensiones.

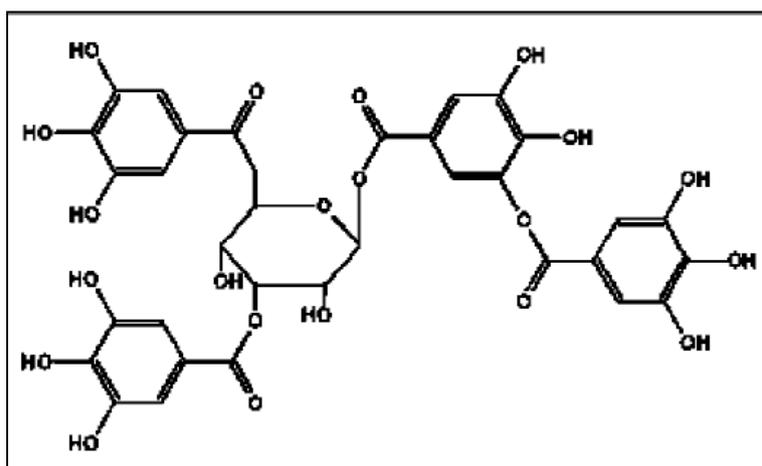


Figura 2. Tanino de la tara *Caesalpinia spinosa*

La hidrólisis del galotanino da origen al ácido gálico, cuya estructura dispone de grupos hidroxilo y carboxilo; que de acuerdo a la literatura citada interaccionan de forma fisicoquímica con el metal permitiendo la adsorción.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación Geográfica

La presente investigación se llevó a cabo en el laboratorio de Biotecnología Vegetal de la Facultad de Ciencias Agrarias, de la Universidad Nacional de Cajamarca la que geográficamente se localiza entre las coordenadas 7° 10' 01" S, 78° 29' 44" O, a una altitud de 2750 msnm.

3.2. Materiales

3.2.1. Material biológico

Se utilizó dos tipos de material biológico para las pruebas de biosorción:

- a. Cáscara de naranja (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck)
- b. Vaina de taya (*Caesalpinia spinosa* (Molina) Kuntze)

3.2.2. Material de campo

- a. Cámara fotográfica.
- b. Cuaderno de apuntes.

3.2.3. Material y equipo de laboratorio

- a. Matraces Erlenmeyer.
- b. Placas petri.
- c. Vasos de precipitado.
- d. Probetas graduadas.
- e. Tamices ASTM.
- f. Termómetro de mercurio.
- g. Mangueras de silicona (para bomba peristáltica).
- h. Ficha de colección y envío de muestra al laboratorio.
- i. Tul poliéster.

Equipos

- a. Balanza analítica (OHAUS).
- b. Molino manual (Corona)
- c. Bomba peristáltica.
- d. Estufa para secado.
- e. pH Metro.

Solución

- a. Nitrato de plomo 10000 ppm.
- b. Cloruro de calcio.
- c. Hidróxido de sodio 0.1 N.
- d. Ácido clorhídrico 0.1 N.

3.3. Metodología

3.3.1. Trabajo de campo

3.3.1.1. Obtención del biosorbente

Cáscara de naranja

Para la obtención del material biosorbente, se tomó en consideración las cáscaras que se encuentren en mejor estado, para evitar su pronta descomposición, se obtuvieron de los comerciantes de jugo.

Vaina de taya

Las vainas de taya se obtuvieron del caserío El Limón, distrito del Utco, provincia de Celendín. El cual se ubica a una altitud de 2047 m.s.n.m.

3.3.2. Trabajo de laboratorio

3.3.2.1. Preparación de biosorbentes

Cáscara de naranja

Selección

Se seleccionaron las cáscaras de naranja organolépticamente y fisiológicamente maduras, considerando las de mayor espesor.



Figura 3. Selección de cáscara de naranja

Lavado

La biomasa fue cortada en pequeños trozos y lavada con agua varias veces para remover residuos e impurezas adheridas a la superficie.



Figura 4. Lavado de la cáscara de naranja

Secado

El secado se realizó en dos etapas:

1. Deshidratación al sol, para eliminar la mayor cantidad de humedad posible sin requerir de suministro de energía.



Figura 5. Deshidratación al sol

2. Secado en estufa a 70 °C por 48 horas para remover el resto de la humedad, hasta obtener peso constante.



Figura 6. Secado en estufa

Triturado y tamizado

Se efectuó en dos etapas:

1. Se trituró la cáscara de naranja utilizando un molino manual para reducir el tamaño de partícula.



Figura 7. Molienda de cáscara de naranja

2. Se tamizó la cáscara de naranja, se realizó haciendo uso de tamices de varios diámetros, se obtuvo partículas con diámetro $> 400 \mu\text{m}$ y $< 630 \mu\text{m}$.



Figura 8. Selección de tamaño de partícula

Vaina de taya

Selección

Para la selección se tomó en consideración:

- Longitud de vaina: 7 y 8 cm.
- Número de semillas: 6
- Ausencia de síntomas de plaga o por enfermedad.



Figura 9. Selección de vaina de taya

Lavado

La vaina de taya fue lavada con agua varias veces para remover residuos e impurezas adheridas a la superficie y sacar las semillas con mayor facilidad.



Figura 10. Lavado de la vaina de taya

Secado

El secado se realizó en dos etapas:

1. Deshidratación al sol, para eliminar la mayor cantidad de humedad posible sin requerir de suministro de energía.



Figura 11. Deshidratación al sol de la vaina de taya

2. Secado en estufa a 70 °C por 24 horas para remover el resto de la humedad, hasta obtener peso constante.



Figura 12. Secado en estufa vaina de taya

Triturado y tamizado

Se efectuó en dos etapas:

1. Se trituró la vaina de taya utilizando un molino manual para reducir el tamaño de partícula.



Figura 13. Molienda de vaina de taya

2. Se tamizó la vaina de taya, se realizó haciendo uso de tamices de varios diámetros, y se obtuvo partículas con diámetro $> 400 \mu\text{m}$ y $< 630 \mu\text{m}$.



Figura 14. Selección de tamaño de partícula

3.3.2.2. Preparación de la solución

Se preparó una solución “madre” de nitrato de plomo $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ a 10000 ppm de concentración, a partir de la cual se prepararon concentraciones de 0 ppm, 50 ppm, 100 ppm y 150 ppm, utilizando agua destilada como solvente. El pH fue regulado a un valor de 4.5 utilizando alícuotas de HCl 0.1 N o NaOH 0.1 N.



Figura 15. Preparación de solución

3.3.2.3. Método experimental y condiciones de operación

- Los experimentos de biosorción fueron realizados mediante sistema continuo con una sola columna. Se diseñó una instalación con un tanque de 4 L de capacidad, una bomba peristáltica y una columna de lecho cuya dimensión fue de 4 cm de diámetro interno, con una altura de 26.5 cm y flujo ascendente.
- En base a las recomendaciones técnicas de Vizcaíno y Fuentes (2015), la columna de lecho fijo se construyó manualmente en el laboratorio (Fig. 16) utilizando un cilindro graduado con una longitud de 26.5 cm y 4 cm de diámetro interno. En la parte inferior se acondicionó una entrada para el afluente sintético con contenido de Pb a 2 cm de la base y en la parte superior, una salida lateral para el efluente tratado el que fue por rebose.

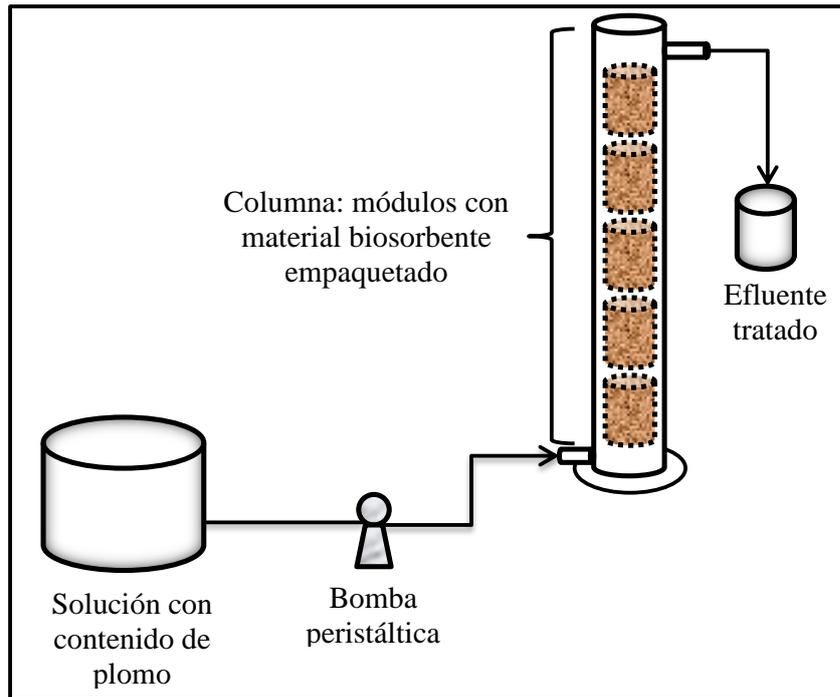


Figura 16. Esquema del proceso de biosorción

- c. Para la optimización del proceso de biosorción en columna de lecho fijo se mantuvieron constantes los parámetros como: pH (4.5), velocidad de flujo (5 mL/min), masa del biosorbente (60 g), tamaño de partículas de biomasa (fracción entre 400 μm - 630 μm) y temperatura ambiente.
- d. En la columna se colocaron 60 g de biomasa seca empacada previamente con tul, en módulos de 6 cm de longitud y 5 cm de ancho (Fig. 17).



Figura 17. Empaquetamiento de la biomasa

- e. En el tanque de alimentación se colocaron 1.5 L de solución a las diferentes concentraciones (0 ppm, 50 ppm, 100 ppm y 150 ppm).
- f. Antes de pasar la solución a través de la columna, el material fue humedecido con agua destilada por 10 min a fin de evitar una disminución repentina de la

concentración del metal en la solución de salida, debido a una rápida adsorción del metal por la biomasa seca, sobre todo en el primer momento en que hace contacto la biomasa con la solución (Vizcaíno y Fuentes 2015).



Figura 18. Humedecimiento de los módulos.

- g. El proceso de biosorción tuvo una duración de 120 min, poniendo en marcha el cronómetro una vez que la disolución entró a la columna de relleno.
- h. Se realizó un seguimiento del pH a la salida de la columna en todos los tratamientos en estudio (Tabla 1). Encontrándose una disminución en el pH para la cáscara de naranja y vaina de taya.

Cáscara de naranja: pH inicial 4.5 frente a pH final 4.25

Vaina de taya: pH inicial 4.5 frente a pH final 3.55 y la combinación de tratamiento (vainas de taya y concentración inicial de plomo de 100 ppm), el pH disminuyó a 3.48.



Figura 19. Medición del pH del efluente.

- i. Para determinar la concentración final del metal en las soluciones, se tomaron muestras de 500 ml según recomendaciones técnicas del laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente y Fertilización de la Universidad Nacional Agraria La Molina.



Figura 20. Sistema de biosorción

3.3.2.4. Factores, niveles y combinaciones de tratamientos en estudio

Factor: A: Tipo de biomasa

a_1 = Cáscara de naranja.

a_2 = Vaina de taya

Factor: B: Concentraciones de plomo

b_0 = 0 ppm.

b_1 = 50 ppm

b_2 = 100 ppm

b_3 = 150 ppm.

Tabla1. Factores, niveles y combinaciones de tratamientos

Factor A: Tipo de biomasa	Factor B: Concentración de plomo			
	b_0 : 0 ppm	b_1 : 50 ppm	b_2 : 100 ppm	b_3 : 150 ppm
a_1 : cáscara de naranja	a_1b_0	a_1b_1	a_1b_2	a_1b_3
a_2 : vaina de taya	a_2b_0	a_2b_1	a_2b_2	a_2b_3

3.3.2.5. Diseño experimental

Se usó un diseño completamente randomizado bajo arreglo factorial de 2 x 4 y tres repeticiones por cada combinación de tratamiento.

Evaluaciones realizadas

En cuanto a las respuestas a optimizar, se seleccionaron el porcentaje retenido de plomo (% R) y la capacidad de biosorción de plomo (q_e , mg/g) para la cáscara de naranja y la vaina de taya. (Calero et al. 2012)

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.

$$\% R = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100$$

Dónde:

% R: porcentaje de metal retenido durante la operación de la columna.

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

$$q_e = \frac{q_{total}}{w}$$

Dónde:

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

q_{total} : capacidad máxima de la columna (mg).

W: masa de biosorbente (g).

$$q_{total} = \frac{Q}{1000} \int_{t=0}^{t=t_{total}} C_R \cdot dt$$

Dónde:

Q: caudal que circula por la columna (mL/min).

C_R : concentración de metal retenido (mg/L).

3.3.3. Trabajo de gabinete

En esta etapa se contempló el análisis de los datos obtenidos durante el trabajo de laboratorio. Los datos obtenidos fueron sometidos a un Análisis de Varianza (ANVA)

de acuerdo al procedimiento establecido para el Diseño Completamente Randomizado de factorial 2 x 4 con un nivel de significación de 0.05. El esquema del análisis de varianza para este modelo se presenta en Tabla 2.

Tabla 2. Análisis de la varianza del DCR bajo arreglo de un factorial 2x4, prueba de F para la capacidad biosorbente de plomo de la cáscara de naranja y la vaina de taya.

FUENTE DE VARIACIÓN	SC	GL	CM	Fo
Tipo de biomasa	T_{yy}	1	M1	M1/M4
Concentración de plomo	C_{yy}	3	M2	M2/M4
T x C	$T_{yy} \times C_{yy}$	3	M3	M3/M4
Error	E_{yy}	16	M4	
Total	G_{yy}	23		

La significación de los cuadrados medios debido a tipo de biomasa, niveles de concentración de plomo y la interacción de tipo de biomasa x niveles de concentración de plomo fueron probados por el cuadrado medio del error, como se especifica en la prueba de F.

Este análisis nos ha permitido estudiar las siguientes hipótesis:

Prueba de hipótesis para la interacción

Ho: No existe interacción entre el tipo de biomasa y concentración de plomo (o los tipos de biomasa responden en forma similar en los diferentes niveles de concentración de plomo).

Hi: Existe interacción entre el tipo de biomasa y concentración de plomo (o los tipos de biomasa no responden en forma similar en los diferentes niveles de concentración de plomo).

La prueba de F para la interacción $F_o = M3/M4$, se aprecia su significación cuando comparamos alfa con valor p. Si valor p es menor que alfa 0.05 es significativo y se rechaza Ho y se concluye que existe interacción.

Prueba de hipótesis para tipo de biomasa

Ho: No hay diferencias significativas para el tipo de biomasa en su capacidad biosorbente de plomo y porcentaje de remoción.

Hi: Si hay diferencias significativas para el tipo de biomasa en su capacidad biosorbente de plomo.

La prueba de F para la interacción $F_0 = M1/M4$, se aprecia su significación cuando comparamos alfa con valor p. Si valor p es menor que alfa 0.05 es significativo y se rechaza Ho y se concluye que existen diferencias significativas para la capacidad biosorbente de plomo y porcentaje de remoción entre los dos tipos de biomasa estudiados.

Prueba de hipótesis para concentración

Ho: No hay diferencia significativa en la capacidad biosorbente y porcentaje de remoción para los diferentes niveles de concentración de plomo.

Hi: Si hay diferencia significativa en la capacidad biosorbente y porcentaje de remoción para los diferentes niveles de concentración de plomo.

La prueba de F para la interacción $F_0 = M2/M4$, se aprecia su significación cuando comparamos alfa con valor p. Si valor p es menor que alfa 0.05 es significativo y se rechaza Ho y se concluye que existen diferencias significativas para la capacidad biosorbente y porcentaje de remoción entre los diferentes niveles de concentración de plomo. Para poder conocer como las medias de la capacidad biosorbente de plomo y el porcentaje de remoción de la combinación de tratamientos, niveles de concentración de plomo y tipos de biomasa difieren entre sí, se usó la Nueva Prueba de Rango Múltiple de Duncan. Para estudiar la relación entre las variables de estudio se utilizó un análisis de regresión. Se consideraron modelos de regresión lineal y regresión cuadrática. Como medida de ajuste de los modelos se consideró el coeficiente de determinación o R^2 (indica la cantidad de variabilidad explicada por el modelo), el cual toma valores de 0 a 1 (0 cuando las variables son independientes y 1 cuando existe una relación entre ellas). El criterio de selección del modelo fue considerar un R^2 mayor a 0.60, suficiente para considerarlo significativo (Gómez y Gómez 1984). Para el análisis de la variancia y las pruebas de Duncan se usó el programa estadístico SAS. Para el estudio de la regresión se usó Excel.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en el presente trabajo son expuestos bajo la forma de tablas y figuras con sus respectivas interpretaciones.

4.1. Determinación de la capacidad biosorbente de plomo (q_e , mg/g)

Los resultados de la capacidad biosorbente de plomo (q_e), para cada combinación de tratamiento en estudio se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Medias de la capacidad biosorbente de plomo para cada combinación de tratamiento del estudio

Tratamientos	Tipo de biomasa	Concentración inicial de plomo (ppm)	Capacidad biosorbente de plomo (q_e , mg/g)
1	Cáscara de naranja	0	0
2	Cáscara de naranja	50	0.497
3	Cáscara de naranja	100	0.997
4	Cáscara de naranja	150	1.491
5	Vaina de taya	0	0
6	Vaina de taya	50	0.433
7	Vaina de taya	100	0.832
8	Vaina de taya	150	1.422

En la Tabla 3, se observa que la capacidad biosorbente de plomo para cada tipo de biomasa en los diferentes niveles de concentración de plomo es diferente y que a medida que aumenta la concentración inicial en el medio, mayor es la capacidad biosorbente de plomo. Esto coincide con el trabajo que realizaron Cardona et al. (2013), quienes al trabajar con concentraciones de plomo de 80 ppm y 100 ppm y como biosorbente la cáscara de naranja, determinaron que la mejor capacidad biosorbente de plomo fue a una concentración de plomo de 100 ppm. Salas y Sarcco (2017) utilizando cáscara de naranja obtuvieron valores de q_e igual a 1.423 mg/g cuando la concentración

inicial fue a mayor (100 ppm), mientras que a bajas concentraciones (80 ppm), la q_e va disminuyendo a valores iguales a 0.794 mg/g.

Esto se podría entender puesto que a concentraciones más altas, todos los iones de plomo presentes en la solución pueden interactuar con los sitios de unión, logrando de esta manera la saturación del biosorbente y alcanzar una mayor capacidad biosorbente. Por otro lado, a concentraciones más bajas, la capacidad biosorbente es menor, probablemente, no se llega a alcanzar la saturación de los sitios activos para aprovechar el máximo rendimiento.

También se puede observar que el mejor resultado de capacidad biosorbente de plomo fue el tratamiento 4 (cáscara de naranja y concentración de plomo de 150 ppm) con un valor de 1.491.

Realizado el análisis de varianza (ANVA) Tabla 4, se pudo determinar la prueba de F para la interacción y al comparar el valor de p es menor que alfa 0.05; es decir, es significativo y se pudo concluir que existe interacción entre el tipo de biomasa y concentración de plomo (o que los tipos de biomasa no responden en forma similar en los diferentes niveles de concentración de plomo).

Tabla 4. Análisis de la varianza (ANVA) del diseño factorial 2 x 4 para la capacidad biosorbente de plomo

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados Medios	F _o	F _{crítico}	Probabilidad Valor p
Tipo de biomasa	0.033	1	0.033	18.86	4.494	0.0005
Concentración de plomo	6.980	3	2.326	1311.81	3.239	< 0.0001
Interacción	0.021	3	0.007	3.93	3.239	0.0282
Error experimental	0.028	16	0.002			
Total	7.062	23				

C.V

5.940395 %

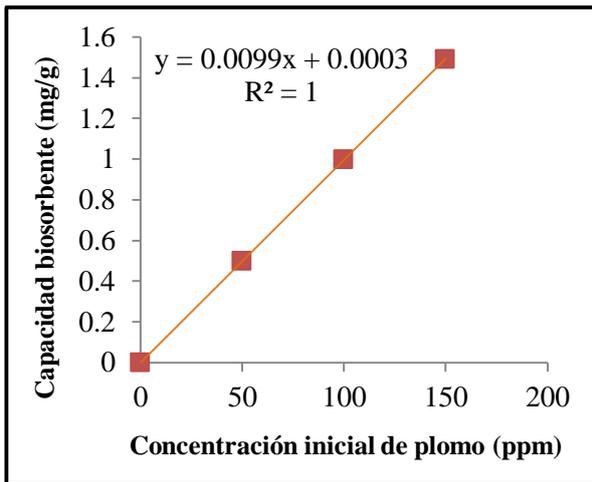


Figura 21. Capacidad biosorbente de plomo de la cáscara de naranja

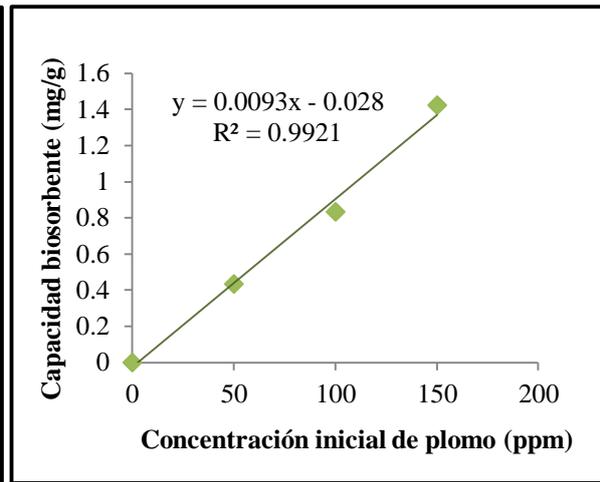


Figura 22. Capacidad biosorbente de plomo de la vaina de taya

En la figura 21, podemos observar que por cada ppm que se le agregue al medio la cáscara de naranja incrementa su capacidad biosorbente de plomo en 0.001 mg/g. Esto significa que a medida que incrementa la concentración de plomo la cáscara de naranja sigue adsorbiendo plomo. Este comportamiento es significativo por presentar un $R^2 = 1$. En la figura 22, podemos observar que por cada ppm que se le agregue al medio la vaina de taya incrementa su capacidad biosorbente en 0.009 mg/g. esto significa que a medida que incremente la concentración de plomo la vaina de taya sigue adsorbiendo plomo. Este comportamiento es significativo por presentar un $R^2 = 0.99$.

Tabla 5. Prueba de Rango Múltiple de Duncan para comparación de medias de capacidad biosorbente de plomo de la cáscara de naranja y vaina de taya.

Duncan agrupamiento	Media	N	Tratamiento
A	1.491	3	4
A	1.422	3	8
B	0.997	3	3
C	0.832	3	7
D	0.497	3	2
D	0.433	3	6
E	0	3	1
E	0	3	5

* Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Al realizar la prueba de Duncan para la interacción entre tipo de biomasa y concentración de plomo, se observa que los tratamientos 4 y 8 son estadísticamente similares con los mayores valores de q_e de 1.491 y 1.422 mg/g respectivamente, seguidos de los tratamientos 3 y 7 los cuales a diferencia de los anteriores estos son significativamente diferentes. Los tratamientos 2 y 6 son estadísticamente similares con los menores valores de q_e de 0.497 y 0.433 mg/g respectivamente.

4.2. Determinación del porcentaje de remoción de plomo (% R)

Los resultados del porcentaje de remoción de plomo (% R) para cada combinación de tratamiento en estudio muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Medias del porcentaje de remoción de plomo para cada combinación de tratamiento del estudio

Tratamientos	Tipo de biomasa	Concentración inicial de plomo (ppm)	Porcentaje de remoción de plomo (% R)
1	Cáscara de naranja	0	100
2	Cáscara de naranja	50	99.400
3	Cáscara de naranja	100	99.700
4	Cáscara de naranja	150	99.411
5	Vaina de taya	0	100
6	Vaina de taya	50	86.507
7	Vaina de taya	100	83.150
8	Vaina de taya	150	94.789

En la Tabla 6 se observa que el porcentaje de remoción de plomo para cada tipo de biomasa y los diferentes niveles de concentración de plomo es diferente. Para la cáscara de naranja se obtuvo un incremento del porcentaje de remoción para una concentración inicial de 100 ppm con un valor de 99.70 % y porcentajes de remoción similares para las concentraciones de 50 ppm y 150 ppm con valores de 99.41 % y 99.40 %. Esto coincide con los resultados que obtuvieron Tejada et al. (2016) un porcentaje de remoción de plomo de 99.2 % utilizando cáscara de naranja y una concentración inicial de 100 ppm. Salas y Sarcco (2017) obtuvieron un porcentaje de remoción de 99.60 % utilizando cáscara de naranja y concentración de plomo de 100 ppm. Para la vaina de

taya se observa un aumento del porcentaje de remoción a medida que aumenta la concentración inicial de plomo, a excepción de una concentración inicial de plomo de 100 ppm, lo cual se le puede atribuir a un descenso del pH de 4.5 a 3.25 Anexo 2. Esta disminución del pH se debería a los taninos que vuelven ácida al agua. Tal como lo mencionan Tapia et al. (2003), Muñoz (2007) y Salas y Sarcco (2017), la biosorción depende de la protonación o desprotonación de los grupos funcionales. A valores de pH bajos, la concentración de iones hidronios H_3O^+ es más alto y compiten con los iones Pb^{+2} ; por lo tanto, los hidronios ocupan primero los sitios activos, dejando iones metálicos Pb^{+2} libres en solución; esto se podría entender que los grupos funcionales se protonan y la superficie del biosorbente queda cargada positivamente, reduciendo la atracción entre biosorbente y ion metálico. Cuando se incrementa el pH, la concentración de iones H_3O^+ se reduce, y los sitios activos en la superficie del adsorbente sobre todo se convierten en formas disociadas y pueden intercambiar iones H_3O^+ con Pb^{+2} ; se podría entender que los grupos funcionales se desprotonan y la superficie del biosorbente queda cargada negativamente, aumentando la atracción entre el ion metálico y el biosorbente. Se podría concluir que estas variaciones en los valores de porcentaje de remoción se deberían a la disminución del pH y al porcentaje de taninos en las muestras. De la Cruz (2004) indicó que el porcentaje de taninos de la taya es de 52 a 54 %.

Realizado el análisis de varianza (ANVA) Tabla 7, se determinó la prueba de F para la interacción, al comparar el valor de p es menor que alfa 0.05; es decir, es significativo y se pudo concluir que existe interacción entre el tipo de biomasa y concentración de plomo (o que los tipos de biomasa no responden en forma similar en los diferentes niveles de concentración de plomo).

Tabla 7. Análisis de la varianza (ANVA) del diseño factorial 2 x 4 para el porcentaje de remoción de plomo

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados Medios	F _o	F _{crítico}	Probabilidad Valor p
Tipo de biomasa	435.176	1	435.176	27.654	4.494	< 0.0001
Concentración de plomo	275.002	3	91.667	5.825	3.239	0.0069
Interacción	257.084	3	85.695	5.446	3.239	0.0090
Error experimental	251.780	16	15.736			
Total	1244.158	23				

C.V

4.159498

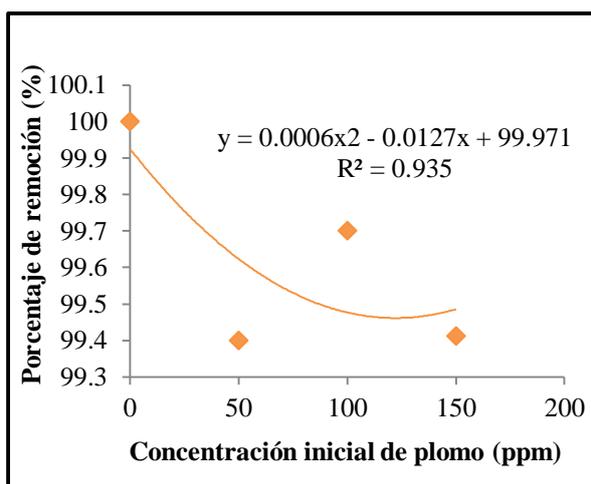


Figura 23. Porcentaje de remoción de plomo cáscara de naranja

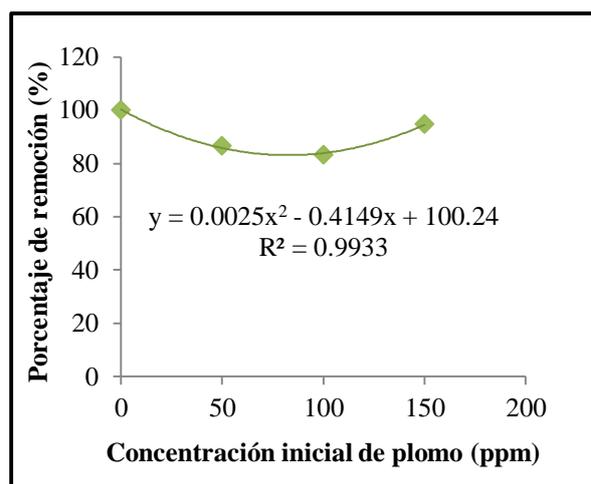


Figura 24. Porcentaje de remoción de plomo de la vaina de taya

En la figura 23, podemos observar que el resultado del ajuste del modelo cuadrático es bueno. Este comportamiento es significativo por presentar un $R^2 = 0.935$, por lo que se puede concluir que el modelo cuadrático es adecuado para describir la relación que existe entre estas variables.

En la figura 24, podemos observar que el resultado del ajuste del modelo cuadrático es bueno. Este comportamiento es significativo por presentar un $R^2 = 0.993$, por lo que se puede concluir que el modelo cuadrático es adecuado para describir la relación que existe entre estas variables.

Tabla 8. Prueba de Rango Múltiple de Duncan para comparación de medias de porcentaje de remoción de plomo de la cáscara de naranja y la vaina de taya

Duncan agrupamiento	Media	N	Tratamiento
A	100.00	3	1
A	100.00	3	5
A	99.700	3	3
A	99.411	3	4
A	99.400	3	2
A	94.789	3	8
B	86.507	3	6
B	83.150	3	7

*Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Al realizar la prueba de Duncan para la interacción entre tipo de biomasa y concentración de plomo, se observa que los tratamientos 1, 5, 3, 4, 2 y 8 son estadísticamente similares con porcentajes de remoción de plomo mayores a 90 % y superiores a a los tratamientos 6 y 7, con porcentajes de remoción mayores a 80 %.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- La capacidad biosorbente de plomo de la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) y vaina de taya (*Caesalpinia spinosa* (Molina) Kuntze) a concentración de plomo de 150 ppm fueron 1.491 y 1.422 mg/g respectivamente.
- Los máximos porcentajes de remoción de la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) y concentración de plomo de 100 ppm fue 99.70 %; y de la vaina de taya (*Caesalpinia spinosa* (Molina) Kuntze) y concentración de plomo 150 ppm fue de 94.79 %.
- Considerando que la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) y la vaina de taya (*Caesalpinia spinosa* (Molina) Kuntze) alcanzan buenos porcentajes de remoción de plomo podrían ser una gran alternativa para el uso como materiales biosorbentes en el proceso de biosorción para la descontaminación de aguas por metales pesados de bajo costo y amigable con el medio ambiente.

5.2. Recomendaciones

- Estudiar al pH como un factor influyente en el proceso de biosorción.
- Realizar la caracterización de los materiales biosorbentes, para identificar los grupos funcionales y los mecanismos de biosorción que faciliten la optimización de las condiciones de operación.
- Realizar el proceso de biosorción a concentraciones mayores a las estudiadas para determinar si se sigue realizando la adsorción de plomo.

CAPÍTULO VI

BIBLIOGRAFÍA

- Albarracín, F. 2014. Capacidad de adsorción para remover el ion metálico Pb (II) por el tanino de la cáscara de tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet), de las aguas del río Ramis Puno, Perú. Tesis Dr. Puno, Perú, Universidad Nacional del Altiplano. 180 p.
- Boada, PJ. 2015. Estudio del proceso de biosorción de contaminantes en efluentes acuosos Mediante cilantro (*Coriandrum sativum*). Tesis Ing. Quito, Ecuador, Universidad Central del Ecuador. xxi, 112p.
- Calero, M; Blázquez, G, Hernáinz, F, Ronda, A; Lara, MA. 2012. Biosorción de cobre con corteza de pino en columna de lecho de fijo: optimización de las variables del proceso. *Afinidad* 69(559):175-184.
- Cañizares-Villanueva, RO. 2000. Biosorción de metales pesados mediante el uso de biomasa microbiana. *Revista Latinoamericana de Microbiología* 42(3):131-143.
- Cardona, A; Cabañas, D; Zepeda, A. 2013. Evaluación del poder biosorbente de cáscara de naranja para la eliminación de metales pesados, Pb (II) y Zn (II). *Ingeniería* 17(1): 1-9.
- Castellar, GC; Cardozo, BM; Suarez, JF; Vega, JE. 2013. Adsorción por lote y en una columna de lecho fijo del colorante B39 sobre carbón activado granular. *Prospect* 11(1): 66-75.
- Cuizano, NA; Llanos, BP; Navarro, AE. 2009. Aplicaciones ambientales de la adsorción mediante biopolímeros naturales : parte 1- compuestos fenólicos. *Revista de la Sociedad Química del Perú* 75(4):495-508.
- Das, N; Vimala, R; Karthika, P. 2008. Biosorption of heavy metals. *An overview* 7:159-169.
- De la Cruz, P. 2004. Aprovechamiento integral y racional de la Tara (*Caesalpinia spinosa* - *Caesalpinia tinctoria*). *Revista del Instituto de Investigación FIGMMG* 7(14):64-73.

- Feng, NC; Guo, XY. 2012. Characterization of adsorptive capacity and mechanisms on adsorption of copper, lead and zinc by modified orange peel. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China* 22(5):1224-1231.
- García, V; Yipmantin, A; Guzmán, E; Pumachagua, R; Maldonado, H. 2011. Estudio de la cinética de biosorción de iones plomo en pectina reticulada proveniente de cáscaras de cítricos. *Revista de la Sociedad Química del Perú* 77(3):173-181.
- Gomez, K; Gomez A. 1984. *Statistical procedures for agricultural research*. Second edition. New York. John wiley & sons. 680 p.
- Goycochea, RA. 2010. Evaluación de taninos y goma del fruto de la Tara *Caesalpinia spinosa (Molina) Kuntze* provenientes de las lomas de Atiquipa, Arequipa - Perú. Tesis Ing. Lima, Perú, UNAM. 106 p.
- Gupta, VK; Nayak, A; Agarwal, S. 2015. Bioadsorbents for remediation of heavy metals: current status and their future prospects. *Environmental Engineering Research* 20(1):1-18.
- Hossain, MA; Ngo, HH; Guo, WS; Nghiem, LD; Hai, FI; Vigneswaran, S; Nguyen, TV. 2014. Competitive adsorption of metals on cabbage waste from multi-metal solutions. *Bioresource Technology* 160(2):79-88.
- Izquierdo, M. 2010. Eliminación de metales pesados en aguas mediante bioadsorción. Evaluación de materiales y modelación del proceso. Tesis Dr. Valencia, España, Universidad de Valencia. xv, 329p.
- Kratochvil, D., Volesky, B. 1998. Advances in the biosorption of heavy metals. *Trends in Biotechnology* 16(7):291-300.
- Kurma, Nabin. 2013. Modelación matemática del proceso de biosorción de Cromo⁺⁶ y Ni⁺²: estudios en serie en columnas de lecho fijo con Bagazo de Caña de Azúcar. Tesis Ing. Quím, Santa Clara, Cuba, UCLV. 118 p.
- Lara, J; Tejada, C; Villabona, A; Arrieta, A; Granados, C. 2017. Adsorción de plomo y cadmio en sistema continuo de lecho fijo sobre residuos de cacao. *Revista Ion, Investigación, Optimización y Nuevos procesos en Ingeniería* 29(2):111-122.
- Lenntech. 1998 - 2018. Plomo y agua (en línea). Consultado 12 dic. 2018. Disponible en <https://www.lenntech.es/plomo-y-agua.htm#ixzz5ric2e7sX>

- Muñoz JC. 2007. Biosorción de plomo (II) por cáscara de naranja “*Citrus cinensis*” pretratada. Tesis Ing. Lima, Perú, UNMSM. 82 p.
- Netzahuatl-Muñoz, A; Pineda-Camacho, G; Barragán-Huerta, B; Cristiani-Urbina, E. 2010. Evaluación de la cáscara del aguacate para la remoción de cromo hexavalente y cromo total de soluciones acuosas. Revista CENIC. Ciencias Químicas 41:1-10.
- OMS.2018. Intoxicación por plomo y salud (en línea). Consultado 22 abr. 2019. Disponible en <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health>
- Pinzón, ML; Camayo, AM. 2010. Influencia del pH en la bioadsorción de Cr(III) sobre cáscara de naranja: determinación de las condiciones de operación en procesos discontinuos. Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas, 8 (1)
- Reyes, YC; Vergara, I; Torres, OE; Díaz, M; González EE. 2016. Contaminación por metales pesados: implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo 16(2):66-77.
- Samaniego, JE; Arzamendia, AR; Ayala MJ. 2016. Remoción de hierro y plomo en aguas residuales por bioadsorción de la cáscara de naranja agria. Revista sobre Estudios e Investigaciones del Saber Académico (10):69-75.
- Sala, LF; García, SI; González, JC; Frascaroli, MI; Bello, S; Mangiameli, F; Blanes, P; Mogetta, MH; Andreu, V; Atria, AM; Salas, JM. 2010. Biosorción para la eliminación de metales pesados en aguas de desecho. Real Sociedad Española de Química. (Química y Medio Ambiente) 106(2):114-120.
- Salas, P; Sarcco, L. 2017. Eliminación de plomo (II) y hierro (II), por bioadsorción con cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) en residuos líquidos procedentes del Laboratorio químico de Southern Perú. Tesis Ing. Arequipa, Perú, UNSA. 176 p.
- Tapia, NJ; Muñoz, JC; Torres, F; Yarango, A. 2003. Biosorción de Pb(II) por cáscara de naranja, *Citrus cinensis*, modificada. Revista Peruana de Química e Ingeniería Química, 6(2):39-44.
- Tejada, C; Herrera, A; Núñez, J. 2016. Remoción de plomo por biomasa residual de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) y zuro de maíz (*Zea mays*). Revista U.D.C.A Actualidad y Divulgación Científica 19(1):169-178.

- Vera, LM. 2015. Biosorción, una alternativa para reducir la contaminación (en línea). Prometeo, Quito, Ecuador; 22 abr. Consultado 30 jul. 2018. Disponible en <http://prometeo.educacionsuperior.gob.ec/biosorcion-una-alternativa-para-reducir-la-contaminacion/>
- Vicente, JJ. 2010. Biodisponibilidad de metales pesados en dos ecosistemas acuáticos de la costa Suratlántica Andaluza afectados por contaminación difusa. Tesis Dr. Cádiz, España, Universidad de Cádiz. xxi, 528p.
- Villanueva, C; Tapia, N. 2005. Bioadsorción de Cu (II) por biomásas que contienen pectina. Rev. Per. Quím. (Ing. Quím) 8(1):11-15.
- Vizcaíno, L; Fuentes, N. 2015. Biosorción de Cd, Pb y Zn por biomasa pretratada de algas rojas, cáscara de naranja y tuna. Ciencia e Ingeniería Granadina 25:43-61.
- Volesky, B; Holan, ZR. 1995. Biosorption of Heavy Metals. Biotechnology Progress 11(3):235-250.
- Volesky, B.2001. Detoxification of metal-bearing effluents: biosorption for the next century. Hydrometallurgy 59(2):203-216.
- Volesky, B; Naja, G. 2007. Biosorption technology: starting up an enterprise. International Journal of Technology Transfer and Commercialisation 6:196-211.
- Vullo, DL. 2003. Microorganismos y metales pesados: una interacción en beneficio del medio ambiente. Química Viva 2(3):93-104.

ANEXOS

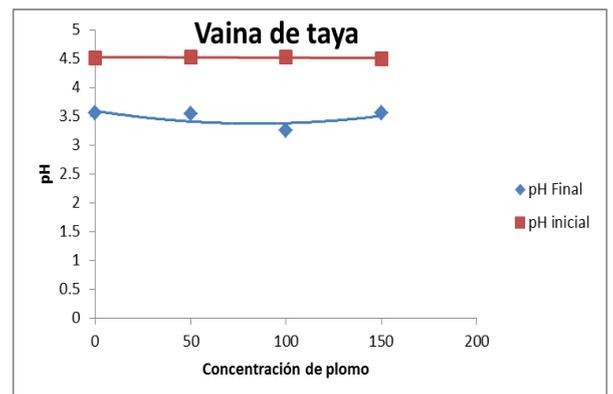
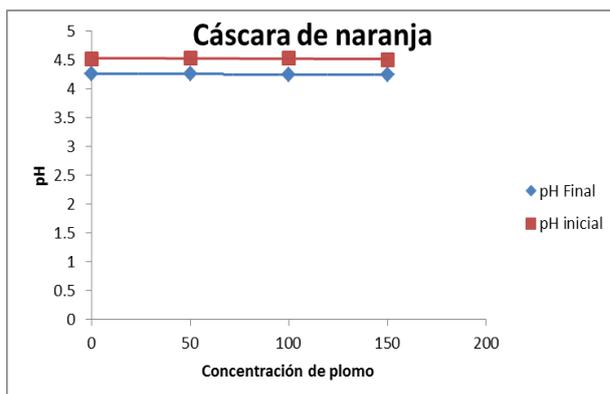
Anexo 1. Datos obtenidos en las pruebas de laboratorio en el proceso de biosorción

Tipo de biomasa	Concentración de plomo			
	0 ppm	50 ppm	100 ppm	150 ppm
	< 0.30*	< 0.30*	< 0.30*	< 0.30*
Cáscara de naranja	< 0.30*	< 0.30*	< 0.30*	0.86
	< 0.30*	< 0.30*	< 0.30*	1.49
	< 0.30*	7.54	9.64	10.73
Vaina de taya	< 0.30*	6.90	28.78	11.45
	< 0.30*	5.80	12.13	1.27

*Límite de detección del equipo = 0.30 mg/L

Anexo 2. Resultados de pH inicial y pH final en el proceso de biosorción

Tipo de biomasa	Concentración inicial de plomo (ppm)	pH inicial	pH final
Cáscara de naranja	0	4.51	4.26
	50	4.53	4.25
	100	4.52	4.24
	150	4.50	4.24
Vaina de taya	0	4.52	3.55
	50	4.53	3.54
	100	4.52	3.25
	150	4.51	3.55





Nº 004205

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE AGUA

SOLICITANTE : LISSETTE COLLANTES ZEGARRA
PROYECTO : Capacidad biosorbente de plomo de la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) y la vaina de taya (*Caesalpinia spinosa* (Molina) Kuntze)
PROCEDENCIA : Cajamarca
RESPONSABLE ANALISIS : Ing. Nore Arévalo Flores
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 16 de enero de 2019

N° LABORATORIO	4205
N° DE CAMPO	a₁b₀
Plomo mg/L	<0.30

Método:

APHA, AWWA, WPCF 17th Ed. 1992 31118 pag. 3-21 Pb

Limite de detección del equipo = 0.30 mg/L

LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUA Y SUELO

Ing. Msc. Miguel A. Sanchez Delgado
JEFE DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO
 Av. La Molina s/n Teléfono: 614 7800 Anexo 226 Lima Email: las-fla@lamolina.edu.pe



Nº 004206

**ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO
 DE AGUA**

SOLICITANTE : LISSETTE COLLANTES ZEGARRA
PROYECTO : Capacidad biosorbente de plomo de la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) y la vaina de taya (*Caesalpinia spinosa* (Molina) Kuntze)
PROCEDENCIA : Cajamarca
RESPONSABLE ANALISIS : Ing. Nore Arévalo Flores
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 16 de enero de 2019

Nº LABORATORIO	4206
Nº DE CAMPO	a₁b₁
Plomo mg/L	<0.30

Método:

APHA, AWWA, WPCF 17th Ed. 1992 3111B pag. 3-21 Pb

Limite de detección del equipo = 0.30 mg/L

LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUA Y SUELO

Ing. Msc. Miguel A. Sanchez Delgado
 JEFE DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO

Av. La Molina s/n Teléfono: 614 7800 Anexo 226 Lima Email: las-fla@lamolina.edu.pe



Nº 004207

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE AGUA

SOLICITANTE : LISSETTE COLLANTES ZEGARRA
PROYECTO : Capacidad biosorbente de plomo de la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) y la vaina de taya (*Caesalpinia spinosa* (Molina) Kuntze)
PROCEDENCIA : Cajamarca
RESPONSABLE ANALISIS : Ing. Nore Arévalo Flores
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 16 de enero de 2019

Nº LABORATORIO	4207
Nº DE CAMPO	a₁b₂
Plomo mg/L	<0.30

Método:

APHA, AWWA, WPCF 17th Ed. 1992 3111B pag. 3-21 Pb

Límite de detección del equipo = 0.30 mg/L

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO

Ing. Msc. Miguel A. Sanchez Delgado
JEFE DE LABORATORIO





ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE AGUA

SOLICITANTE : LISSETTE COLLANTES ZEGARRA
PROYECTO : Capacidad biosorbente de plomo de la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) y la vaina de taya (*Caesalpinia spinosa* (Molina) Kuntze)
PROCEDENCIA : Cajamarca
RESPONSABLE ANALISIS : Ing. Nore Arévalo Flores
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 25 de enero de 2019

Nº LABORATORIO	4225
Nº DE CAMPO	a₁b₂ M-02
Plomo mg/L	<0.30

Método:

APHA, AWWA, WPCF 17th Ed. 1992 3111B pag. 3-21 Pb

Limite de detección del equipo = 0.30 mg/L

LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUA Y SUELO

Ing. Msc. Miguel A. Sanchez Delgado
JEFE DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH

LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO

Av. La Molina s/n Teléfono: 614 7800 Anexo 226 Lima Email: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 004226

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE AGUA

SOLICITANTE : LISSETTE COLLANTES ZEGARRA
PROYECTO : Capacidad biosorbente de plomo de la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) y la vaina de taya (*Caesalpinia spinosa* (Molina) Kuntze)
PROCEDENCIA : Cajamarca
RESPONSABLE ANALISIS : Ing. Nore Arévalo Flores
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 25 de enero de 2019

Nº LABORATORIO	4226
Nº DE CAMPO	a₁b₂ M-03
Plomo mg/L	<0.30

Método:

APHA, AWWA, WPCF 17th Ed. 1992 3111B pag. 3-21 Pb

Limite de detección del equipo = 0.30 mg/L

LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUA Y SUELO

Ing. Msc. Miguel A. Sanchez Delgado
JEFE DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH

LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO

Av. La Molina s/n Teléfono: 614 7800 Anexo 226 Lima Email: las-fla@lamolina.edu.pe



Nº 004208

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE AGUA

SOLICITANTE : LISSETTE COLLANTES ZEGARRA
PROYECTO : Capacidad biosorbente de plomo de la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) y la vaina de taya (*Caesalpinia spinosa* (Molina) Kuntze)
PROCEDENCIA : Cajamarca
RESPONSABLE ANALISIS : Ing. Nore Arévalo Flores
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 16 de enero de 2019

Nº LABORATORIO	4208
Nº DE CAMPO	a₁b₃
Plomo mg/L	<0.30

Método:

APHA, AWWA, WPCF 17th Ed. 1992 3111B pag. 3-21 Pb

Límite de detección del equipo = 0.30 mg/L

LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUA Y SUELO

 Ing. Msc. Miguel A. Sanchez Delgado
 JEFE DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO
Av. La Molina s/n Teléfono: 614 7800 Anexo 226 Lima Email: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 004217

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE AGUA

SOLICITANTE : LISSETTE COLLANTES ZEGARRA
PROYECTO : Capacidad biosorbente de plomo de la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) y la vaina de taya (*Caesalpinia spinosa* (Molina) Kuntze)
PROCEDENCIA : Cajamarca
RESPONSABLE ANALISIS : Ing. Nore Arévalo Flores
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 24 de enero de 2019

Nº LABORATORIO	4217
Nº DE CAMPO	a₁b₃
Plomo mg/L	0.86

Método:

APHA, AWWA, WPCF 17th Ed. 1992 31118 pag. 3-21 Pb

Límite de detección del equipo = 0.30 mg/L

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO
Ing. Msc. Miguel A. Sanchez Delgado
JEFE DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
 DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
 LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO
 Av. La Molina s/n Teléfono: 614 7800 Anexo 226 Lima Email: las-fla@lamolina.edu.pe



Nº 004229

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE AGUA

SOLICITANTE : LISSETTE COLLANTES ZEGARRA
PROYECTO : Capacidad biosorbente de plomo de la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) y la vaina de taya (*Caesalpinia spinosa* (Molina) Kuntze)
PROCEDENCIA : Cajamarca
RESPONSABLE ANALISIS : Ing. Nore Arévalo Flores
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 30 de enero de 2019

Nº LABORATORIO	4229
Nº DE CAMPO	a₁b₃
Plomo mg/L	1.49

Método:

APHA, AWWA, WPCF 17th Ed. 1992 3111B pag. 3-21 Pb

Limite de detección del equipo = 0.30 mg/L

LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUA Y SUELO

 Ing. Msc. Miguel A. Sanchez Delgado
 JEFE DE LABORATORIO





Nº 004211

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE AGUA

SOLICITANTE : LISSETTE COLLANTES ZEGARRA
PROYECTO : Capacidad biosorbente de plomo de la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) y la vaina de taya (*Caesalpinia spinosa* (Molina) Kuntze)
PROCEDENCIA : Cajamarca
RESPONSABLE ANALISIS : Ing. Nore Arévalo Flores
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 18 de enero de 2019

Nº LABORATORIO	4211
Nº DE CAMPO	a ₂ b ₀
Plomo mg/L	<0.30

Método:

APHA, AWWA, WPCF 17th Ed. 1992 31118 pag. 3-21 Pb

Límite de detección del equipo = 0.30 mg/L

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO
Ing. Msc. Miguel A. Sanchez Delgado
JEFE DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO
Av. La Molina s/n Teléfono: 614 7800 Anexo 226 Lima Email: las-fla@lamolina.edu.pe



Nº 004212

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE AGUA

SOLICITANTE : LISSETTE COLLANTES ZEGARRA
PROYECTO : Capacidad biosorbente de plomo de la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) y la vaina de taya (*Caesalpinia spinosa* (Molina) Kuntze)
PROCEDENCIA : Cajamarca
RESPONSABLE ANALISIS : Ing. Nore Arévalo Flores
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 18 de enero de 2019

N° LABORATORIO	4212
N° DE CAMPO	a₂b₁
Plomo mg/L	7.54

Método:

APHA, AWWA, WPCF 17th Ed. 1992 3111B pag. 3-21 Pb

Límite de detección del equipo = 0.30 mg/L

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO

Ing. Msc. Miguel A. Sanchez Delgado
JEFE DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO

Av. La Molina s/n Teléfono: 614 7800 Anexo 226 Lima Email: las-fla@lamolina.edu.pe



Nº 004219

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE AGUA

SOLICITANTE : LISSETTE COLLANTES ZEGARRA
PROYECTO : Capacidad biosorbente de plomo de la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) y la vaina de taya (*Caesalpinia spinosa* (Molina) Kuntze)
PROCEDENCIA : Cajamarca
RESPONSABLE ANALISIS : Ing. Nore Arévalo Flores
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 24 de enero de 2019

Nº LABORATORIO	4219
Nº DE CAMPO	a ₂ b ₁ M-02
Plomo mg/L	6.90

Método:

APHA, AWWA, WPCF 17th Ed. 1992 3111B pag. 3-21 Pb

Límite de detección del equipo = 0.30 mg/L

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO

 Ing. Msc. Miguel A. Sanchez Delgado
 JEFE DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH

LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO

Av. La Molina s/n Teléfono: 614 7800 Anexo 226 Lima Email: las-fla@lamolina.edu.pe



Nº 004220

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE AGUA

SOLICITANTE : LISSETTE COLLANTES ZEGARRA
 PROYECTO : Capacidad biosorbente de plomo de la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) y la vaina de taya (*Caesalpinia spinosa* (Molina) Kuntze)
 PROCEDENCIA : Cajamarca
 RESPONSABLE ANALISIS : Ing. Nore Arévalo Flores
 FECHA DE ANALISIS : La Molina, 24 de enero de 2019

Nº LABORATORIO	4220
Nº DE CAMPO	a ₂ b ₁ M-03
Plomo mg/L	5.80

Método:

APHA, AWWA, WPCF 17th Ed. 1992 3111B pag. 3-21 Pb

Limite de detección del equipo = 0.30 mg/L

LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUA Y SUELO

Ing. Msc. Miguel A. Sanchez Delgado
JEFE DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO
Av. La Molina s/n Teléfono: 614 7800 Anexo 226 Lima Email: las-fla@famolina.edu.pe



Nº 004213

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE AGUA

SOLICITANTE : LISSETTE COLLANTES ZEGARRA
PROYECTO : Capacidad biosorbente de plomo de la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) y la vaina de taya (*Caesalpinia spinosa* (Molina) Kuntze)
PROCEDENCIA : Cajamarca
RESPONSABLE ANALISIS : Ing. Nore Arévalo Flores
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 18 de enero de 2019

Nº LABORATORIO	4213
Nº DE CAMPO	a₂b₂
Plomo mg/L	9.64

Método:

APHA, AWWA, WPCF 17th Ed. 1992 3111B pag. 3-21 Pb

Límite de detección del equipo = 0.30 mg/l.

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO
Ing. Msc. Miguel A. Sanchez Delgado
JEFE DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH

LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO

Av. La Molina s/n Teléfono: 614 7800 Anexo 226 Lima Email: las-fla@lamolina.edu.pe



Nº 004227

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE AGUA

SOLICITANTE : LISSETTE COLLANTES ZEGARRA
PROYECTO : Capacidad biosorbente de plomo de la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) y la vaina de taya (*Caesalpinia spinosa* (Molina) Kuntze)
PROCEDENCIA : Cajamarca
RESPONSABLE ANALISIS : Ing. Nore Arévalo Flores
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 30 de enero de 2019

Nº LABORATORIO	4227
Nº DE CAMPO	a₂b₂ M-2
Plomo mg/L	28.78

Método:

APHA, AWWA, WPCF 17th Ed. 1992 31118 pag. 3-21 Pb

Limite de detección del equipo = 0.30 mg/L

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO

Ing. Msc. Miguel A. Sanchez Delgado
JEFE DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
 DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
 LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO
 Av. La Molina s/n Teléfono: 614 7800 Anexo 226 Lima Email: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 004228

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE AGUA

SOLICITANTE : LISSETTE COLLANTES ZEGARRA
PROYECTO : Capacidad biosorbente de plomo de la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) y la vaina de taya (*Caesalpinia spinosa* (Molina) Kuntze)
PROCEDENCIA : Cajamarca
RESPONSABLE ANALISIS : Ing. Nore Arévalo Flores
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 30 de enero de 2019

Nº LABORATORIO	4228
Nº DE CAMPO	a₂b₂ M-3
Plomo mg/L	12.13

Método:

APHA, AWWA, WPCF 17th Ed. 1992 3111B pag. 3-21 Pb

Límite de detección del equipo = 0.30 mg/L

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO
 Ing. Msc. Miguel A. Sanchez Delgado
 JEFE DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH

LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO

Av. La Molina s/n Teléfono: 614 7800 Anexo 226 Lima Email: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 004215

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE AGUA

SOLICITANTE : LISSETTE COLLANTES ZEGARRA
PROYECTO : Capacidad biosorbente de plomo de la cáscara de naranja (*Citrus sinensis (L.) Osbeck*) y la vaina de taya (*Caesalpinia spinosa (Molina) Kuntze*)
PROCEDENCIA : Cajamarca
RESPONSABLE ANALISIS : Ing. Nore Arévalo Flores
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 23 de enero de 2019

Nº LABORATORIO	4215
Nº DE CAMPO	a₂b₃ M-1
Plomo mg/L	10.73

Método:

APHA, AWWA, WPCF 17th Ed. 1992 3111B pag. 3-21 Pb

Limite de detección del equipo = 0.30 mg/L

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO

Ing. Msc. Miguel A. Sanchez Delgado
JEFE DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO
 Av. La Molina s/n Teléfono: 614 7800 Anexo 226 Lima Email: las-fla@lamolina.edu.pe



Nº 004216

**ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO
 DE AGUA**

SOLICITANTE : LISSETTE COLLANTES ZEGARRA
PROYECTO : Capacidad biosorbente de plomo de la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) y la vaina de taya (*Caesalpinia spinosa* (Molina) Kuntze)
PROCEDENCIA : Cajamarca
RESPONSABLE ANALISIS : Ing. Nore Arévalo Flores
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 23 de enero de 2019

Nº LABORATORIO	4216
Nº DE CAMPO	a₂b₃ M-2
Plomo mg/L	11.45

Método:

APHA, AWWA, WPCF 17th Ed. 1992 3111B pag. 3-21 Pb

Limite de detección del equipo = 0.30 mg/L

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO

Ing. Msc. Miguel A. Sanchez Delgado
 JEFE DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO

Av. La Molina s/n Teléfono: 614 7800 Anexo 226 Lima Email: las-fla@lamolina.edu.pe



Nº 004218

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE AGUA

SOLICITANTE : LISSETTE COLLANTES ZEGARRA
 PROYECTO : Capacidad biosorbente de plomo de la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) y la vaina de taya (*Caesalpinia spinosa* (Molina) Kuntze)
 PROCEDENCIA : Cajamarca
 RESPONSABLE ANALISIS : Ing. Nore Arévalo Flores
 FECHA DE ANALISIS : La Molina, 24 de enero de 2019

Nº LABORATORIO	4218
Nº DE CAMPO	a ₂ b ₃
Plomo mg/L	1.27

Método:

APHA, AWWA, WPCF 17th Ed. 1992 3111B pag. 3-21 Pb

Limite de detección del equipo = 0.30 mg/L

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO

 Ing. Msc. Miguel A. Sanchez Delgado
 JEFE DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH

LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO

Av. La Molina s/n Teléfono: 614 7800 Anexo 226 Lima Email: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 004223

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE AGUA

SOLICITANTE : LISSETTE COLLANTES ZEGARRA
PROYECTO : Capacidad biosorbente de plomo de la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) y la vaina de taya (*Caesalpinia spinosa* (Molina) Kuntze)
PROCEDENCIA : Cajamarca
RESPONSABLE ANALISIS : Ing. Nore Arévalo Flores
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 25 de enero de 2019

Nº LABORATORIO	4223
Nº DE CAMPO	a₁b₁ M-02
Plomo mg/L	<0.30

Método:

APHA, AWWA, WPCF 17th Ed. 1992 3111B pag. 3-21 Pb

Límite de detección del equipo = 0.30 mg/L

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO
 Ing. Msc. Miguel A. Sanchez Delgado
 JEFE DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH

LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO

Av. La Molina s/n Teléfono: 614 7800 Anexo 226 Lima Email: las-fla@lamolina.edu.pe



Nº 004224

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE AGUA

SOLICITANTE : LISSETTE COLLANTES ZEGARRA
PROYECTO : Capacidad biosorbente de plomo de la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) y la vaina de taya (*Caesalpinia spinosa* (Molina) Kuntze)
PROCEDENCIA : Cajamarca
RESPONSABLE ANALISIS : Ing. Nore Arévalo Flores
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 25 de enero de 2019

Nº LABORATORIO	4224
Nº DE CAMPO	a₁b₁ M-03
Plomo mg/L	<0.30

Método:

APHA, AWWA, WPCF 17th Ed. 1992 3111B pag. 3-21 Pb

Límite de detección del equipo = 0.30 mg/L

LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUA Y SUELO

Ing. Msc. Miguel A. Sanchez Delgado
JEFE DE LABORATORIO



GLOSARIO

BIOSORCIÓN: Proceso de eliminación de sustancias a partir de soluciones mediante materiales biológicos orgánicos e inorgánicos, así como en sus formas solubles e insolubles.

BIOSORBENTE: Materiales que han demostrado buena eficacia para la eliminación de metales. Se caracterizan principalmente por su estructura química y los grupos funcionales presentes en ellos, los que podrían atrapar iones metálicos.

GRUPO FUNCIONAL: Átomo o grupo de átomos que caracteriza a una clase de compuestos orgánicos y determina sus propiedades. Esencialmente el grupo funcional es la parte no hidrocarbonada de la molécula.

OMS: Organización Mundial de la Salud.

ppm: Partes por millón.

q_e: Capacidad biosorbente de plomo.

R²: Coeficiente de determinación

SITIO ACTIVO: Zona de una enzima con la que se asocia el sustrato y donde se induce su transformación química para dar un producto. Los sitios activos frecuentemente son hendiduras en la superficie de las enzimas.