

UNIVERSIDAD
CIENTÍFICA
DEL SUR

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**“BIOSORCIÓN DE PLOMO (II) UTILIZANDO UN BIOSORBENTE
OBTENIDO A PARTIR DE LA CASCARILLA DE CAFÉ (*Coffea
arabica* L.)”**

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

Presentado por:

Jordy Pier Pariona Palomino (0000-0002-9599-6909)

Asesor:

Elvito Fabián Villegas Silva (0000-0001-9783-1641)

Lima – Perú

2022

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Lima, 21 de julio del 2022.

Los integrantes del Jurado de tesis:

| |
|---|
| Presidente: Mg. Blga. Catherine Mariela Coronado León |
| Miembro: Mg. Ing. César Oswaldo Arévalo Hernández |
| Miembro: Mg. Ing. Cecilia Cermeño Castromonte |

Se reúnen para evaluar la tesis titulada:

"BIOSORCIÓN DE PLOMO (II) UTILIZANDO UN BIOSORBENTE OBTENIDO A PARTIR DE LA CASCARILLA DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.)"

Presentada por la/el estudiante/bachiller:

- **Jordy Pier Pariona Palomino**

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Asesorado por: Dr. Elvito Fabián Villegas Silva

Luego de haber evaluado el informe final de tesis y evaluado el desempeño del estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiental en la sustentación, concluyen de manera unánime () por mayoría simple (X) calificar a:

| | | | |
|--|----------------------------|-----------------------------------|-----------------|
| Tesisista: Jordy Pier Pariona Palomino | | Nota (en letras): 17 (DIECISIETE) | |
| Aprobado () | Aprobado - Muy buena (X) | Aprobado Sobresaliente () | Desaprobado () |

Los miembros del jurado firman en señal de conformidad.



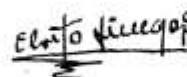
Mg. Blga. Catherine Mariela Coronado León
Presidente



Mg. Ing. César Oswaldo Arévalo Hernández
Miembro 1



MSc. Ing. Cecilia Cermeño Castromonte
Miembro 2



Dr. Elvito Fabián Villegas Silva
Asesor

DEDICATORIA

A Dios por darme salud durante el desarrollo de la Tesis y permitirme mostrar los hallazgos de esta investigación a la comunidad académica.

A mis padres por la motivación constante y el apoyo brindado a lo largo del planteamiento, desarrollo y ejecución de la presente Tesis.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Evilto Villegas Silva por su experiencia, orientación, asesoría, revisión constante durante el desarrollo de la investigación y aprobación final de la Tesis.

A la investigadora Wendy Matos-Ormeño por su apoyo en el análisis estadístico, asistencia, gestión y acertados aportes al desarrollo de la presente Tesis.

A la Cooperativa Agraria Cafetalera Oro Verde Ltda., por permitirme el acceso y orientación para obtener la cascarilla de café en el Departamento de San Martín.

Al Programa Nacional de Becas y Crédito Educativo – PRONABEC, por la oportunidad de pertenecer a la Beca 18 en la Universidad Científica del Sur.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|------|
| DEDICATORIA..... | ii |
| AGRADECIMIENTOS | iii |
| ÍNDICE GENERAL | iv |
| ÍNDICE DE FIGURAS | vii |
| ÍNDICE DE TABLAS | vii |
| ÍNDICE DE ANEXOS | viii |
| RESUMEN | ix |
| ABSTRACT | x |
| I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 1 |
| II. MARCO TEÓRICO | 3 |
| 2.1. Antecedentes | 3 |
| 2.2. Bases teóricas..... | 7 |
| 2.2.1. Plomo | 7 |
| 2.2.2. Efectos del Pb en el ambiente | 7 |
| 2.2.3. Métodos para eliminar metales pesados | 8 |
| 2.2.4. Método de biosorción | 10 |
| 2.2.5. Cascarilla de café como biosorbente..... | 11 |
| 2.2.6. Modelos cinéticos de biosorción..... | 13 |
| a) Modelo pseudo-primer orden..... | 13 |
| b) Modelo pseudo-segundo orden..... | 14 |
| III. OBJETIVOS / HIPÓTESIS..... | 15 |
| 3.1. Objetivos | 15 |

| | | |
|--------|--|----|
| 3.1.1. | Objetivo general..... | 15 |
| 3.1.2. | Objetivos específicos..... | 15 |
| 3.2. | Hipótesis | 15 |
| 3.2.1. | Hipótesis general..... | 15 |
| 3.2.2. | Hipótesis específicas | 16 |
| IV. | METODOLOGÍA | 17 |
| 4.1. | Materiales y reactivos..... | 17 |
| 4.2. | Equipos | 18 |
| 4.3. | Recolección y preparación del biosorbente..... | 18 |
| 4.4. | Caracterización de la muestra..... | 19 |
| 4.4.1. | Densidad aparente (DA) | 19 |
| 4.4.2. | Porcentaje de humedad..... | 20 |
| 4.4.3. | Punto de carga cero | 20 |
| 4.4.4. | Grupos funcionales..... | 21 |
| 4.5. | Determinación del pH de biosorción..... | 21 |
| 4.6. | Determinación de la dosis de biosorbente | 22 |
| 4.7. | Evaluación del tiempo de contacto..... | 22 |
| 4.8. | Determinación del orden de la cinética de biosorción | 23 |
| 4.9. | Aplicación de la biosorción en una muestra real | 23 |
| 4.9.1. | Toma de muestra del río Rímac. | 23 |
| 4.9.2. | Tratamiento de la muestra..... | 24 |
| 4.10. | Aspectos éticos..... | 25 |

| | |
|---|----|
| 4.11. Análisis estadístico | 25 |
| V. RESULTADOS..... | 27 |
| 5.1. Caracterización de la muestra..... | 27 |
| 5.1.1. Densidad aparente, humedad y punto de carga cero (PZC) | 27 |
| 5.1.2. Grupos funcionales..... | 28 |
| 5.2. Determinación del pH de biosorción..... | 30 |
| 5.3. Determinación de la dosis de biosorbente | 31 |
| 5.4. Evaluación del tiempo de contacto..... | 32 |
| 5.5. Determinación del orden de la cinética de biosorción | 34 |
| 5.6. Aplicación de la biosorción en una muestra real | 36 |
| VI. DISCUSIÓN..... | 37 |
| 6.1. Caracterización de la muestra..... | 37 |
| 6.2. Determinación del pH de biosorción..... | 38 |
| 6.3. Determinación de la dosis de biosorbente | 40 |
| 6.4. Evaluación del tiempo de contacto..... | 41 |
| 6.5. Determinación de la cinética de biosorción | 42 |
| 6.6. Aplicación de la biosorción en una muestra real | 43 |
| VII. CONCLUSIONES | 45 |
| VIII. RECOMENDACIONES..... | 47 |
| IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 48 |
| X. ABREVIATURAS | 62 |
| XI. ANEXOS..... | 63 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Anatomía de la cereza del café | 11 |
| Figura 2. Preparación del biosorbente..... | 19 |
| Figura 3. Punto de carga cero (PZC)..... | 28 |
| Figura 4. Espectro infrarrojo de la muestra de cascarilla de café | 29 |
| Figura 5. Evaluación de la eliminación de Pb (II) con relación al pH | 30 |
| Figura 6. Remoción de Pb (II) en función de la dosis de biosorbente | 32 |
| Figura 7. Remoción de Pb (II) con relación al tiempo de contacto | 33 |
| Figura 8. Modelo de pseudo-primer orden de reacción | 34 |
| Figura 9. Modelo de pseudo-segundo orden de reacción | 35 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Efectos negativos del Pb en el ambiente | 8 |
| Tabla 2. Técnicas de remoción de metales pesados | 9 |
| Tabla 3. Taxonomía de Café - especie arabica | 12 |
| Tabla 4. Composición de la cascarilla del café | 13 |
| Tabla 5. Características del lugar de muestreo..... | 23 |
| Tabla 6. Caracterización de la muestra de café..... | 27 |
| Tabla 7. Grupos funcionales de la muestra de café..... | 28 |
| Tabla 8. Valores obtenidos en función del pH..... | 30 |
| Tabla 9. Valores obtenidos en función de la dosis de biosorbente | 31 |
| Tabla 10. Valores obtenidos en función del tiempo | 33 |
| Tabla 11. Datos para los modelos de pseudo-primer y segundo orden..... | 34 |
| Tabla 12. Remoción de Pb (II) en una muestra real | 36 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | |
|--|----|
| Anexo 1. Materiales, equipos y reactivos | 63 |
| Anexo 2. Recolección y acondicionamiento de la cascarilla de café | 64 |
| Anexo 3. Preparación del biosorbente..... | 65 |
| Anexo 4. Determinación de la densidad aparente | 66 |
| Anexo 5. Determinación del porcentaje de humedad | 67 |
| Anexo 6. Determinación del punto de carga cero (PZC) | 68 |
| Anexo 7. Resultados de los grupos funcionales | 70 |
| Anexo 8. Determinación de pH de biosorción..... | 72 |
| Anexo 9. Resultados de pH de biosorción..... | 74 |
| Anexo 10. Determinación de dosis de biosorbente | 75 |
| Anexo 11. Resultados de dosis de biosorbente..... | 76 |
| Anexo 12. Determinación de tiempo de contacto | 77 |
| Anexo 13. Resultados del tiempo de contacto..... | 78 |
| Anexo 14. Procedimiento de toma de muestra de agua | 79 |
| Anexo 15. Tratamiento de la muestra de agua..... | 80 |
| Anexo 16. Resultados de la muestra de agua | 81 |
| Anexo 17. Manejo de residuos peligrosos..... | 82 |
| Anexo 18. Datos para modelos cinéticos de biosorción | 83 |
| Anexo 19. Resultados del análisis estadístico..... | 84 |

RESUMEN

La biosorción de metales pesados utilizando residuos agrícolas resulta ser una técnica eficiente para la descontaminación de los ríos. Por ello, se evaluó la biosorción de Pb (II) utilizando cascarilla de café como biosorbente. Para la biosorción, se utilizó un sistema *batch*, a temperatura ambiente 22,5 °C, agitación 300 rpm, así como, el biosorbente, la cascarilla de café la cual fue lavada, secada, triturada y tamizada a 212 μm . La densidad aparente (DA) se halló empleando una probeta; humedad por diferencia de pesos; Punto de carga cero (PZC) por diferencia de pH y grupos funcionales por espectrofotometría infrarroja (FTIR). El Pb (II) se determinó por espectrofotometría de absorción atómica. Los resultados mostraron que se obtuvo un valor de DA de $0,50 \pm 0,004$ g/mL; humedad $7,18 \pm 0,152$ %; PZC 2,20. Los grupos funcionales fueron (C=O) aldehídos y cetonas; (O-H) hidroxilo o moléculas de agua; (C-H) alcanos; (C-O) carboxilo; (C-N) grupo amino y (C-O-C) éteres. El pH favorable fue 2,0 y la dosis de biosorbente 0,5 g. Se logró el equilibrio en 10 min con eficiencia de remoción de Pb (II) de $96,45 \pm 0,023$ %. Predominó el modelo de pseudo-segundo orden ($R^2 = 0,9999$). En la muestra de agua del río Rímac se removió Pb (II) en un $66,18 \pm 0,95$ %. En síntesis, el pH favorable está relacionado con el diagrama de Pourbaix y se observa un mecanismo de quelación, mientras que la baja concentración inicial de Pb (II) permite acelerar el tiempo de remoción y lograr el equilibrio. La muestra real mostró alta remoción a pesar de factores fisico-químicos presentes en el agua. El uso de la cascarilla de café como biosorbente representa una alternativa ecoamigable y sostenible en el tiempo.

Palabras clave: Biosorción, cascarilla de café, plomo, modelo cinético, quelación.

ABSTRACT

The biosorption of heavy metals using agricultural residues turns out to be an efficient technique for the decontamination of rivers. Therefore, the biosorption of Pb was evaluated utilizing coffee husk as biosorbent. For biosorption a *Batch* system was used, at room temperature 22.5 °C, agitation 300 rpm, as well as the biosorbent, the coffee husk which was washed, dried, crushed and sieved to a particle size of 212 μm . Bulk density (DA) was determined by the test tube method; humidity due to weight difference; Point of zero charge (PZC) by pH difference and functional groups by infrared spectrophotometry (FTIR). Pb(II) was determined by atomic absorption spectrophotometry. The results showed that a DA value of 0.50 ± 0.004 g/mL was obtained; humidity $7.18 \pm 0.152\%$; PZC 2.20. The functional groups were (C=O) aldehydes and ketones; (O-H) hydroxyl or water molecules; (C-H) alkanes; (C-O) carboxyl; (C-N) amino group and (C-O-C) ethers. The ideal pH was 2.0 and the ideal dose of biosorbent was 0.5 g. Equilibrium was achieved in 10 min with a Pb(II) removal efficiency of $96.45 \pm 0.023\%$. The pseudo-second order model predominated ($R^2 = 0,9999$). In the water sample from the Rímac River, Pb (II) was removed by $66.18 \pm 0.95\%$ were removed. In summary, the ideal pH is related to the Pourbaix diagram and a chelation process is observed, while the low initial concentration of Pb (II) allows to accelerate the removal time and achieve equilibrium. The actual sample showed high removal despite physicochemical factors present in the water. The use of coffee husks as a biosorbent represents an eco-friendly and sustainable alternative over time.

Keywords: Biosorption, coffee husk, lead, kinetic model, chelation.