TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

"EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DE LOS RESIDUOS DE CACAO EN LA REMOCIÓN DE CADMIO EN AGUA POR ADSORCIÓN"

Tesis para optar el título profesional de:
INGENIERA AMBIENTAL

Presentado por:
Deyanira Milla Luna (0000-0002-2180-1101)

Asesor:

Jorge Luis Cárdenas Ruiz (0000-0001-9313-905X)

Co asesor

Luis Fernando Pérez Falcón (0000-0002-9463-0489)

Lima – Perú

2023

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Lima, 19 de septiembre del 2023.

Los integrantes del Jurado de tesis:

Presidente: Mg. Santiago Hilarion Pastor Soplin
Miembro: Mg. Marisol Nuñez Martinez
Miembro: Mg. Vladimir Alfonso León Menacho

Se reúnen para evaluar la tesis titulada:

"EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DE LOS RESIDUOS DE CACAO EN LA REMOCIÓN DE CADMIO EN AGUA POR ADSORCIÓN"

Presentada por la/el estudiante/bachiller:

- **Deyanira Milla Luna**

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Asesorado por: Ing. Jorge Luis Cárdenas Ruiz

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

Tesista: Deyanira Milla Luna			Nota (en letras): (Diecisiete) 17
Aprobado ( )	Aprobado - Muy buena (X)	Aprobado - Sobresaliente ( )	Desaprobado ( )

Los miembros del jurado firman en señal de conformidad.

Mg. Santiago Hilarion Pastor Soplin
Presidente

Mg. Marisol Nuñez Martinez
Miembro 1

Mg. Vladimir Alfonso León Menacho
Miembro 2

Ing. Jorge Luis Cárdenas Ruiz
Asesor

ANEXO: FORMATO DE DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD DE CONTENIDO DE INFORME FINAL DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD DE CONTENIDO DE INFORME FINAL DE TESIS / TRABAJO DE INVESTIGACIÓN[1]

Lima, 3 de octubre del 2023

Señor,

Carlos Zavalaga Reyes

Director General de Investigación, Desarrollo e Innovación
Universidad Científica del Sur
Presente. –

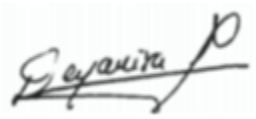
De nuestra consideración,

Yo: Deyanira Milla Luna, estudiante/egresado de la carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Científica del Sur, en conjunto con el asesor/la asesora de tesis Jorge Luis Cardenas Ruiz, declaramos que este informe final de tesis/trabajo de investigación titulado: Evaluación de la eficacia de los residuos de cacao en la remoción de cadmio en agua por adsorción, sustentado para obtener el título/grado de Ingeniera Ambiental es original.

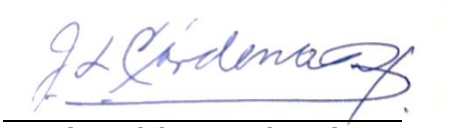
Es decir, no contiene plagio parcial ni total, cuando se utilizó información de fuentes externas se reconoció la autoría mediante la adecuada citación y los resultados obtenidos son producto entero de mi (nuestra) investigación y no han sido falseados ni fabricados. Todo esto en cumplimiento del Código de ética en la investigación, Reglamento del Comité de Integridad Científica, Reglamento de Propiedad Intelectual, Normas y procedimientos de los trabajos de investigación para la obtención de títulos profesionales y grados académicos [2], que afirmamos conocer en su totalidad.

Por ello, en caso de identificarse alguna situación de plagio, falsificación o fabricación de resultados, nos allanamos al proceso de investigación que establezca la Universidad y las posibles sanciones que pudieran surgir.

Firmamos en conformidad con lo declarado,



Firma tesista
DNI: 72393224



Firma del asesor de tesis
DNI: 06627695

[1] En conformidad con la Resolución del Consejo Directivo N° 084-2022-SUNEDU/CD
[2] Los documentos están en: https://investigacion.cientifica.edu.pe/reglamentos/

INFORME DE REVISIÓN DE ORIGINALIDAD

Título del documento evaluado. Evaluación de la eficacia de los residuos de cacao en la remoción de cadmio en agua por adsorción

Autores. Deyanira Milla Luna.

Mecanismo de revisión de originalidad. Evaluación con Turnitin (ID 2224441454).

Resultado de la evaluación. 9%

Revisado por. Magaly Kelly Guerrero Huaracallo.

Comentarios sobre la revisión. Filtros usados: excluir fuentes de menos de 12 palabras.



v.2.0. Evaluación de la eficacia

INFORME DE ORIGINALIDAD

9%	7%	6%	3%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	2%
2	Perez Tomas, Liz Veronica. "Estudio de la capacidad de adsorcion de las arcillas organofilicas en la remocion de nitrofenoles y clorofenoles", Pontificia Universidad Catolica del Peru - CENTRUM Catolica (Peru), 2021 Publicación	1%
3	repositorio.unal.edu.co Fuente de Internet	1%
4	repositorio.uni.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	tesis.pucp.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	Uechi Lopez, Julio Alexis. "Estudio del proceso de adsorcion de cadmio y cromo presentes en soluciones acuosas utilizando carbones activados modificados.", Pontificia Universidad Catolica del Peru - CENTRUM Catolica (Peru), 2020	1%

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Dedicatoria

A mi madre y a mi abuelita:

Genny Luna y Luisa Mercado

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DE LOS RESIDUOS DE CACAO EN LA REMOCIÓN DE CADMIO EN AGUA POR ADSORCIÓN

Deyanira Milla-Luna[1]

[1] Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad Científica del Sur, Lima, Perú

Resumen

Una alternativa de solución frente a la contaminación de metales pesados en el agua constituye el uso de adsorbentes a partir de residuos agroindustriales, el objetivo de esta investigación fue evaluar la eficacia de la cáscara de cacao activada con tres tratamientos: térmicos (TT), químico (TQ) y control (TC), para la remoción de cadmio en agua. Para ello se realizó la caracterización química de la cáscara de cacao que posteriormente fue activada y nuevamente caracterizada mediante análisis físicos (dispersión de rayos X – EDX, grupos funcionales por FTIR, granulometría) y análisis fisicoquímico (densidad aparente, densidad real, porosidad y rendimiento). Luego se realizó la evaluación de la eficacia de los residuos de cacao activados para cada tratamiento (TT, TQ y TC). Finalmente, se evaluó el efecto tiempo de contacto de los residuos de cacao activados en la remoción de cadmio mediante la Cinética de Adsorción.

Las características químicas encontrados en la cáscara de cacao mostraron buenas propiedades como adsorbente, sin embargo, la porosidad, la homogeneidad de los poros, la presencia de grupos alifáticos y aromáticos producidos en el tratamiento térmico resultó más eficaz para la adsorción de cadmio (92,7%). La cinética de adsorción del tratamiento térmico se ajustó a los modelos cinéticos de pseudo- segundo orden, Elovich y difusión intraparticular, donde los mecanismos de adsorción estarían determinados por una adsorción química, física y de difusión en la estructura interna de los poros.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Palabras Clave: cáscara de cacao, caracterización, remoción, cadmio, cinética de adsorción

Abstract

An alternative solution to heavy metal pollution in water is the use of adsorbents derived from agro-industrial waste. The objective of this research was to evaluate the efficiency of activated cocoa shell with three treatments: thermal (TT), chemical (TQ), and control (TC) for cadmium removal. To achieve this, the chemical characterization of the cocoa shell was performed, which was then activated and characterized through physical analysis (X-ray dispersion-EDX, functional groups by FTIR, granulometry) and chemical analysis (apparent density, real density, porosity, and yield). Next, the efficiency of activated cocoa shell was evaluated for each treatment (TT, TQ, and TC). Finally, the contact time effect of activated cocoa residues on the removal of cadmium was evaluated using Adsorption Kinetics.

The chemical characteristics found in the cocoa shell showed good adsorbent properties, however, the porosity, homogeneity of the pores, and the presence of aliphatic and aromatic groups produced in the thermal treatment resulted the most effective for cadmium adsorption (92,7%). The adsorption kinetics of the thermal treatment fit the kinetic models of Pseudo-second order, Elovich, and Intraparticle diffusion, where the mechanisms of adsorption would be determined by chemical, physical, and diffusion in the internal structure of the pores adsorption.

Keywords: cocoa shell, characterization, removal, cadmium, adsorption kinetics.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

1. Introducción

En el Perú, las aguas que provienen de las altas montañas suelen estar próximas a las actividades de extracción como la minería e industrias, lo cual genera que estén expuestas a niveles considerables de metales pesados que por su persistencia y acumulación se convierten en contaminantes, deteriorando ecosistemas y afectado la inocuidad de los productos agropecuarios, lo cual repercute en la salud de las poblaciones rurales y urbanas (Larios et al., 2015; Neira et al., 2021; Espinoza Mogollón, 2019). Por otro lado, los metales pesados se encuentran de forma natural en sustratos geológicos del suelo (Santos-Francés et al., 2017) pero generalmente en concentraciones muy bajas o niveles considerados trazas.

El séptimo metal más tóxico según la Agencia para el Registro de Sustancias Tóxicas y Enfermedades (ATSDR por sus siglas en inglés) es el cadmio (Cd); de forma natural, proviene de explosiones volcánicas, pues se encuentra en rocas y suelo. Este metal se une fuertemente a la materia orgánica, donde permanece inmóvil hasta que se acumulan en las plantas e ingresan a la cadena alimentaria y puede causar efectos tóxicos generando problemas a la salud como disfunción renal, daño a los huesos y malformaciones en el desarrollo de descendencias; además de ser designado carcinógeno por la Organización Mundial de la Salud (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2012; Lei et al., 2019; Rofner, 2021). Al respecto el mercado europeo estableció niveles de cadmio entre 0,1 a 0,8 $\mu g\ g^{-1}$ en el chocolate, como se estipula en el Reglamento N° 488/2014 (La Comisión Europea, 2014). Este reglamento originó que en el año 2019 se diera alerta a las exportaciones de chocolate (gran importancia económica en el Perú), puesto que los niveles de cadmio se encontraron por encima de este rango (Jiménez Tobón, 2015).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Mendoza-López et al., (2021) menciona que, en las plantaciones de cacao existe una mayor concentración de cadmio en las hojas que el suelo y fruto, dando parte que la contaminación no solo es de suelos sino también de agua. Considerándose la contaminación del agua uno de los problemas de mayor preocupación, se ha buscado tecnologías sostenibles para reducirla; una de ellas, corresponde al uso de adsorbentes a partir de residuos agrícolas, que es una excelente opción para un proceso a menor costo, eficiencia y reutilización (Espinoza Mogollón, 2019; Lara et al., 2017). En el presente trabajo de investigación, se evaluó como biomasa la cáscara de cacao que representa el 64% del fruto de cacao y el cual lamentablemente como lo menciona Navarro et al., (2007) viene afectando los campos de cultivo debido a su mala disposición, por ello, se pretende aprovechar este residuo para la remoción de Cd en aguas contaminadas.

Los objetivos de esta investigación fueron: (i) Caracterizar la biomasa de cáscara de cacao, (ii) evaluar la eficacia de los tratamientos: cáscara de cacao activada con un tratamiento térmico (TT), tratamiento químico (TQ) y tratamiento control (TC), para la remoción de cadmio en agua y (iii) evaluar el efecto tiempo de contacto de los residuos de cacao activados en la remoción de cadmio, mediante el ajuste a los modelos de la cinética de absorción: Pseudo- primer orden, pseudo- segundo orden, Elovich y difusión intraparticular

2. Materiales y Métodos

2.1.Caracterización de la biomasa

La caracterización proximal consistió en determinar cenizas (Norma ASTM D3174-04), material volátil (Norma ASTM D3175-02), humedad (Norma ASTM D3173-03), carbono fijo (Norma ASTM D3172). La caracterización física de la biomasa activada se realizó mediante densidad real, densidad aparente (Norma ASTM 2854), porosidad,

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

rendimiento en peso del adsorbato y granulometría. La morfología y la micro-distribución química superficial se realizó por dispersión de rayos X - EDX, en un Microscopio Electrónico de Barrido - Scanning Electron Microscopes (SEM), modelo Prisma E SEM ThermoFisher Scientific. Además del análisis de grupos funcionales por medio de un Espectrómetro Infrarrojo por Transformada de Fourier- FTIR entre 4 000 y 400 cm^{-1}, modelo Nicolet™ iS™ 10 FTIR Spectrometer, marca Thermo Scientific.

2.2.Evaluación de la eficacia de los residuos de cacao activados con un TT, TQ y TC

La evaluación de la eficacia se realizó mediante la modificación de la biomasa, para luego comparar las características químicas, físicas, morfológicas y grupos funcionales de los residuos de cacao activados y el control. Posteriormente todos los tratamientos se pusieron en contacto con una solución de cadmio a 100 ppm (Obike et al., 2018; Tejada-Tovar et al., 2019) con la finalidad de determinar después de un tiempo de 150 min, la concentración de cadmio (Cd^{+2}) usando un Espectrómetro de Emisión Atómica con Plasma Inducido por Microondas, modelo 4210- MP -AES, marca Agilent, límite de detección 0.5 µg/L. El porcentaje de remoción de cadmio se calculó utilizando la siguiente ecuación:

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

$$Ci = Concentracion \; inicial \; (mg/L)$$

$$Cf = Concentración \; final (mg/L)$$

Descripción de los equipos utilizados

Espectrometría de Emisión Atómica con Plasma Inducido por Microondas

Modelo 4210- MP -AES, marca Agilent, límite de detección 0.5 µg/L.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Este equipo utiliza plasma de nitrógeno obtenido del aire utilizando un generador de nitrógeno para evitar el proceso de formación de interacciones entre moléculas del disolvente, logrando muestra líquida donde se han atomizado y excitado los átomos que se han nebulizado en ella. Posteriormente, la luz de emisión de los espectros atómicos y de iones se introduce en el monocromador de barrido para espectroscopia y finalmente es detectada por el detector. La emisión generada por el equipo es bastante fuerte lo que permite una mejor capacidad de detección mejorada y un rango dinámico lineal con respecto al Espectrofotómetro por adsorción atómica (Agilent Technologies, 2016).

Ultra purificador de agua

Modelo Smart2Pure 6 UV/UF, ThermoScientific.

El agua ultra purificada es utilizada para trabajos en laboratorio especializado donde no puede existir ninguna interferencia que afectaría la medición, para ello se utiliza el Ultra purificador de agua, donde el agua a tratar es bombeada por presión a través de un cartucho de ósmosis inversa para luego pasar a la sección de deionización a través de la bombilla UV, cartucho ultrapuro y el ultrafiltro; de modo que se obtiene agua ultrapura de altos niveles de especificación, así como un numero equilibrado de iones H+ y OH- (Scientific, 2018). El nivel de pureza según la organización ASTM D1193 2011 (American Society for Testing and Materials) se clasifican en 4 tipos, según la conductividad eléctrica (µS/cm), resistividad eléctrica (MΩ-cm) y TOC (µg/L). El nivel de pureza utilizado por el equipo de tipo ASTM I.

Pretratamiento de la biomasa

Los residuos de cacao de variedad CCN- 51 (Florida et al., 2021) fueron recolectados en la provincia de Tocache, departamento de San Martín, Perú. La cáscara de cacao se lavó con abundante agua de modo que se elimine impurezas como resinas de azúcares

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

reductores, taninos entre otras interferencias (Lara et al.,2016). Se redujo de tamaño hasta 4,7 mm y se secó a 90°C durante 24 horas. La biomasa seca se redujo de tamaño con un molino de cuchillas hasta un rango de 0,8 a 0,25 mm.

Modificación de la biomasa

La biomasa pretratada fue sometida a dos tratamientos y un control. El primero fue un tratamiento térmico (TT) que consistió llevar 20 g de materia pretratada a la mufla Thermconcept, modelo KLE 05/11 por 1 hora a 500°C (Ardila & Carreño, 2011). El segundo fue un tratamiento químico (TQ), donde 20 g de materia pretratado se puso en contacto con 100 mL de HCL 1M a una temperatura 30°C, durante 24 horas con agitación a 200 rpm, luego se lavó tres veces con abundante agua, seguidamente la biomasa se secó a estufa a una temperatura de 70°C durante 12 horas (Abdolali et al., 2015; TejadaTovar et al., 2017). El tratamiento control (TC) no se sometió a ningún proceso.

Preparación de la solución de cadmio

Se utilizaron 50mL de una solución a 100 ppm de Cd, obtenida disolviendo 0,101 g de Cd analítico de pureza de 99% en cinco gotas de HCl a 37% de concentración y se aforó a 1L con agua ultra purificada por un Smart2Pure 6 UV/UF, marca ThermoScientific. Se ajustó el pH a 5,5.

2.3. Evaluación del efecto tiempo de contacto de los residuos de cacao activados en la remoción de cadmio- Cinética de adsorción

El efecto del tiempo se evaluó por un sistema de lotes, poniendo en contacto 0,25 g de adsorbente sometido a cada tratamiento (TC, TT, TQ) en 50 mL de una solución de cadmio a 100 ppm. Seguidamente, se dejó en agitación de 150 rpm a diferentes tiempos (5,30, 60, 90, 120, 150 min) a temperatura ambiente 15°C con una variación de ± 3°C. Luego las soluciones se filtraron y se determinó las concentraciones de cadmio (Cd^{+2})

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

usando un Espectrofotómetro de Absorción Atómica, modelo 4210- MP -AES, marca Agilent, límite de detección 0.5 µg/L. Posteriormente se evaluó la eficacia relacionando la cantidad adsorbida / cantidad de adsorbente mediante capacidad de adsorción en un tiempo *t* y se realizó el modelamiento a las curvas de cinéticas de adsorción. Todos los análisis se realizaron por triplicado.

Modelamiento de las curvas de cinéticas de adsorción

Los modelos cinéticos de un adsorbato proporcionan información sobre el comportamiento de adsorción, el tiempo de saturación del adsorbente, la capacidad máxima de adsorción (Afroze & Sen, 2018; Tejada-Tovar et al., 2021). Se utilizaron cuatro modelos cinéticos:

Modelo de pseudo-primer orden

Este modelo explica que la tasa de adsorción de los sitios ocupados es proporcional al número de sitios desocupados, por tanto, predomina una adsorción física (Thirumoorthy & Krishna, 2020). La ecuación linealizada se representa por:

$$log(q_e - q_t) = log(q_e) - \left(\frac{k_1}{2{,}303}\right) t$$

Donde:

q_e = capacidad de adsorción en el equilibrio, en $mg \cdot g^{-1}$.

q_t = capacidad de adsorción en un tiempo *t*, en $mg \cdot g^{-1}$.

k_1 = constante de velocidad del modelo de pseudo primer orden, en min^{-1}.

t = tiempo empleado en el ensayo de adsorción, en min.

Modelo de pseudo-segundo orden

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

En este modelo predomina una adsorción química dándose en un sitio activo del adsorbente (Sari et al., 2017). La ecuación linealizada se representa por:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 {q_e}^2} + \frac{t}{q_e}$$

Donde:

q_t = capacidad de adsorción en el tiempo *t*, en mg·g^{-1}.

q_e = capacidad de adsorción en el equilibrio, en mg·g^{-1}.

k_2 = constante de velocidad del modelo de pseudo segundo orden en g·mg^{-1}·min^{-1}.

t = el tiempo empleado en el ensayo de adsorción, en min.

Modelo de difusión intraparticular

El mecanismo del modelo está basado en el transporte de solutos a la parte interna de los poros del adsorbente y la difusión en el sólido. (Obregon, 2012; Sánchez-Pina, 2014). La ecuación linealizada se representa por:

$$q_t = k_{dif} t^{0.5} + C$$

Donde:

q_t = capacidad de adsorción en el tiempo *t*, en mg·g^{-1}.

t = tiempo de adsorción, en min.

k_{dif} = constante del modelo de difusión intraparticular, en (mg.g^{-1}.min$^{-0,5}$).

C = límite de la capa de transferencia de masa adsorbato-adsorbente.

Modelos cinéticos: Elovich

Este modelo aplica a cinéticas de quimisorción, supone que la superficie de adsorción del adsorbente es heterogénea, generando diferentes energías de activación, describiendo la

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

adsorción en un estado no ideal el cual se divide en adsorción rápida y adsorción lenta (Kuang et al., 2020; Sánchez-Pina, 2014). La ecuación se representa por:

$$q_t = \frac{1}{\beta}\ln \alpha\beta + \frac{1}{\beta}\ln t$$

Donde:

α = tasa de adsorción inicial, en $mg.g^{-1}.min^{-1}$.

β = constante de desorción, en g/mg.

La gráfica de q_t contra $\ln t$ proporciona una relación lineal en la que α y β se determinan a partir de la pendiente y la intersección de la gráfica.

2.4 Análisis Estadístico

Para la caracterización de la biomasa de cáscara de cacao, se empleó el promedio de las repeticiones ± desviación estándar de las variables: Ceniza, material volátil, carbono fijo, humedad base seca y humedad base húmeda. Para la evaluación de la eficacia en función al porcentaje de remoción de cadmio de los tratamientos: térmico (TT), químico (TQ) y control (TC) se empleó un diseño completamente al azar, analizado por tratamiento y tiempo de contacto a un nivel de significancia de 0.05, mediante la prueba paramétrica ANOVA y finalmente una prueba t para la diferencia significativa entre los tratamientos, utilizando Design Expert sofware (Version 8.0.6.). Asimismo, se confirmó la normalidad y homocedasticidad para el uso de la prueba paramétrica o no paramétrica.

3. Resultados y Discusión

Caracterización de la biomasa

Tabla N°1 Caracterización química de la biomasa de cáscara de cacao

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Análisis	Contenido %	Método	Contenido reportado
Ceniza	6,560 ± 0,086	Norma ASTM D3174-04	1,5% (Burgos & Jaramillo, 2015) 10,77% (Villamizar et al., 2017) 8,21% (Herrera Rengifo et al., 2020)
Material Volátil	77,85 ± 0,20	Norma ASTM D3175-02	50,76% (Suárez Ramos, 2019)
Carbono fijo	11,12 ± 0,34	Norma ASTM D3172	0,6% (Suárez Ramos, 2019)
Humedad base seca	4,46 ± 0,30	Norma ASTM D3173-03	6,67% (Poma, 2013)
Humedad	78,89 ± 0,50	Norma ASTM D3173-03	81% (Moya, 2018) 82,39% (Villamizar et al., 2017)
Lignina	16,32	Norma TAPPI T 222	14,6% (Suárez Ramos, 2019)
Celulosa	55,18	Norma TAPPI T 212	35% (Suárez Ramos, 2019) 22,75% (Pérez et al., 2020)

En la Tabla N°1 , se puede observar que los parámetros como ceniza se encuentra en el rango de los reportado por Burgos & Jaramillo, (2015) (1.5%);Villamizar et al., 2017(10.77%); Herrera Rengifo et al., 2020 (8.21%) y constituye la parte inorgánica característico del cacao evaluado, mientras que el material volátil y el carbono fijo presentan diferencias con lo reportado (Suárez Ramos, 2019; Burgos & Jaramillo, 2015; Moya, 2018), esto se puede deber a las diferentes procedencias de la biomasa y tiempo de maduración (Pérez et al., 2020). La biomasa caracterizada cuenta con una considerable nivel de carbono fijo, lo cual le brinda al material buenas propiedades como adsorbente

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

(Rodríguez et al., 2019). El material volátil encontrado es considerado alto, el cual permite que la velocidad de oxidación sea mayor luego de pasar por un medio de oxidación o tratamiento (Barrera, 2017). Por otro lado, se ha encontrado presencias importantes de lignina y celulosa en la biomasa, que caracteriza a la biomasa como un buen adsorbente por los grupos funcionales y sitios activos que presentan. En el caso de la celulosa presenta un estructura lineal y fibrosa con múltiples puentes de hidrógeno entre grupos hidroxilo, siendo resistente e insoluble en agua, confiriendo a una alta capacidad de sorción con mayor afinidad a cationes divalente (Pérez et al., 2020).

Tabla N°2 Estudio granulométrico de la muestra pretratada.

Tamaño (mm)	%
0,800 – 0,500	36
0,500 – 0,400	22
0,400 – 0,315	22
0,315 – 0,250	20

El estudio granulométrico de la biomasa del cacao luego de haber pasado por un pretratamiento se muestra en la Tabla N°2, se observa una considerable homogeneidad entre los diferentes rangos de tamaño. Según Tejada Tovar et al., (2017) quien usó residuos de cacao para remoción de cromo, reportó que se daba mayor adsorción con partículas más pequeñas a 0,355 mm. Desde 0,5 a 1 mm la cantidad adsorbida disminuye. En este estudio el 64% de la muestra tiene un rango de 0,25 – 0,5 mm lo cual es beneficioso en la adsorción.

Tabla N°3 Análisis de características físicas de la biomasa activada y control

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Tratamientos	Densidad aparente (g/mL)	Densidad real (g/mL)	Porosidad %	Rendimiento en peso del adsorbato %*
Tratamiento Térmico	0,354 ± 0,037[a]	0,822 ± 0,026[a]	56,910	26,500 ± 0,421
Tratamiento Químico	0,432 ± 0,015[b]	0,776 ± 0,025[a]	44,340	59,700 ± 0,577
Tratamiento Control	0,589 ± 0,013[c]	0,718 ± 0,088[a]	17,870	-

*El porcentaje en rendimiento en peso se considera el porcentaje de peso restante luego de pasar por un tratamiento. Para el caso de control no se sometió a ningún tratamiento que reduzca su peso inicial. Los parámetros con letras diferentes entre filas difieren estadísticamente ($p < 0,05$).

Se evaluaron las densidades, porosidad y rendimiento en peso del adsorbente para cada tratamiento (Tabla N°3). Según Burgos & Jaramillo (2015) a mayor densidad aparente mayor es la capacidad para remover un adsorbato por unidad de volumen del adsorbente, de acuerdo al análisis estadístico realizado entre tratamientos se encontró que hay diferencia significativa en la densidad aparente, que se define como el cociente entre la masa y el volumen aparente mas no en la densidad real (cociente entre la masa y el volumen real), por tanto el espacio entre partículas se ha visto afectado debido al proceso de activación y por tanto la densidad aparente (Reátegui Ochoa, 2017). Huamán, (2015) y Senese et al., (2019) señalan que la porosidad de un adsorbente se caracteriza por ser alta con poros pequeños que dan lugar a una mayor área superficial, permitiendo un intercambio constante de sustratos, productos, gases, etc. Se puede observar que el TT es quien tiene mayor porosidad seguido del TQ y TC. Respecto al porcentaje del rendimiento de peso del adsorbato por tratamiento encontramos que el TC al no haber sido sometido

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

a ningún tratamiento no presenta variación de peso por lo que su rendimiento es máximo, pero su porosidad es mínima, mientras que en el proceso químico generó un rendimiento del 59,7% y un incremento de la porosidad. Cabe resaltar que el tratamiento térmico generó una reducción en rendimiento en peso del adsorbato (26,5%), pero un incremento en la porosidad. Estos resultados nos permiten predecir los rendimientos de cada tratamiento para una producción de gran escala de biomasa de cáscara de cacao.

Análisis Mediante Espectroscopia Infrarroja por Trasformada de Fourier (FTIR)

La caracterización de los grupos funcionales permite conocer el tipo de interacciones moleculares entre el adsorbente y adsorbato (Valenzuela Padilla & Torres Pérez, 2020). Los grupos funcionales representan la reactividad química del adsorbente que puede ser modificado por los diversos tratamientos de activación (Sun Kou, 2016).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

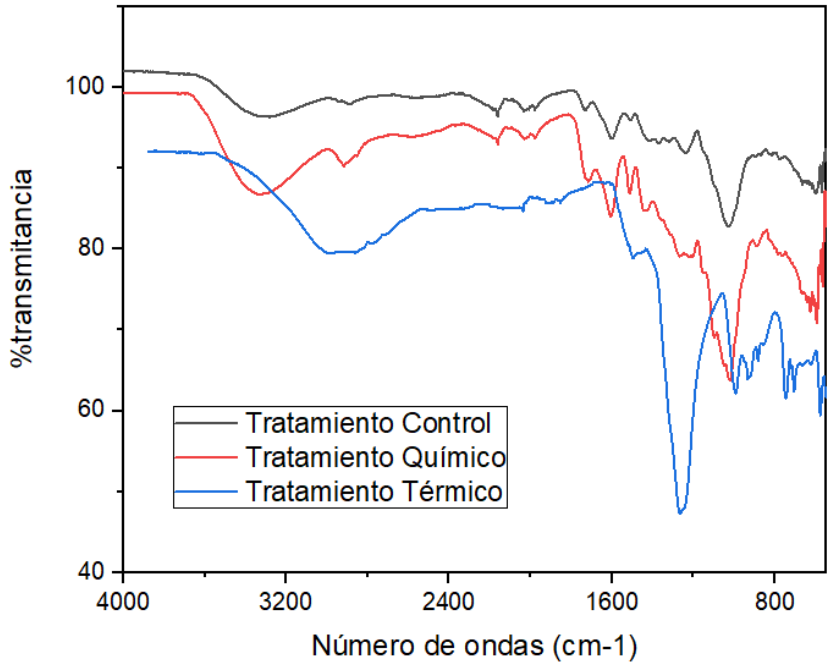
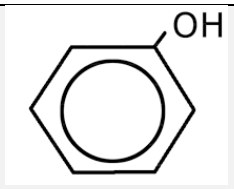


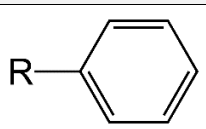
Figura N°1 Espectros IR de los tratamientos (TT, TQ, TC)

Tabla N°4 Grupos funcionales encontrados por tratamiento

Tratamiento encontrado	Longitud de onda IR Frecuencia (cm^{-1})	Grupo funcional	Clase compuesta
TC, TQ	1 200 – 1 020	ROH	Alcohol
TQ	1 250- 120		Fenol
TC, TQ	1 640 - 1 550	RNH_2	Amina
TT, TQ	1 450 - 1 375	RH	Alcano
TT	1 000 - 650	RR'C=CR'R'''	Alqueno
TC, TQ	2 250 - 2 100	R-C≡C-R'	Alquino
TC	800 - 600	RSH	Tiol
TC, TQ	3 400 – 2 500	RCO_2H	Ácido carboxílico
TC, TQ	1 300 – 1 050	RCO-O-COR'	Anhidrido

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

TC, TQ	1 300 - 1 050	RCOOR’	Éster
TT	900 - 650		Aromático
TQ	3 400 - 3 300	RR'C=NR"	Imina

*Donde R puede ser H o un grupo orgánico.

Se han asociado que los grupos funcionales de carga iónica pueden adsorber a metales pesados. Los metales con carga catiónica entre ellos el cadmio, son adsorbidos por grupos funcionales negativos, debiéndose a la ley de neutralidad de carga (Zhang et al., 2022). En la Tabla N°4, se observa en el TC y TQ muestran patrones similares, entre ellos una banda amplia entre 3 600 - 3 200 cm^{-1} que corresponden a vibraciones O-H de estiramiento de los grupos hidroxilo (ácidos carboxílicos y alcoholes) por la celulosa y lignina (Lara et al., 2017; Rodríguez et al., 2019). En el tratamiento químico solo se presentaron grupos fenólicos.

En el TT encontramos los picos entre 1 450-1 375 cm^{-1}, 1 000 - 650 cm^{-1} y 900 - 650 cm^{-1} que se asignan a alcanos C-H, alquenos C=C y aromáticos respectivamente (Candelaria et al., 2019). Además, se han encontrado grupos alifático en todos los tratamientos proporcionando mayor densidad de carga superficial (Lara et al., 2017). Los grupos funcionales encontrados que se atribuyen a la remoción son: hidroxilo, carbonilo, carboxilo y éster (Marín Pensántes, 2017).

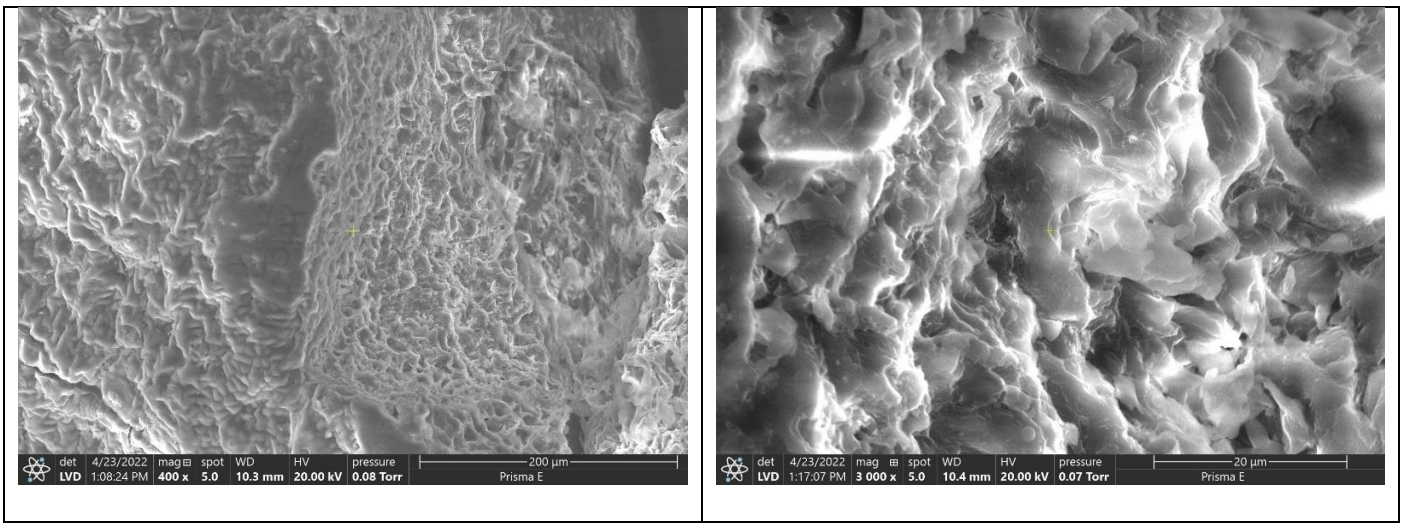
Cabe considerar que para que un grupo funcional tenga importancia dentro una remoción de un metal se debe tener en cuenta los factores como: accesibilidad y estado químico del sitio, afinidad entre el sitio y el metal, cantidad de sitios en el adsorbente (Huamán, 2015).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

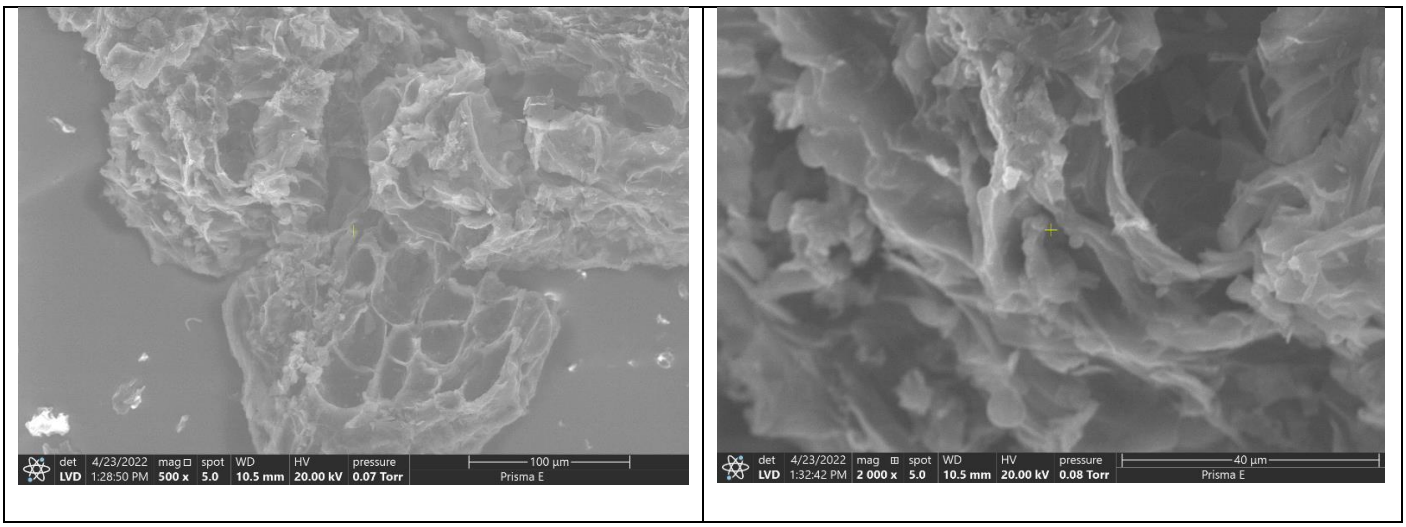
TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Morfología y la micro distribución química superficial

El análisis de micrografías, realizado en un microscopio electrónico de barrido (SEM) a diferentes magnificaciones se muestran en la Figura 2.



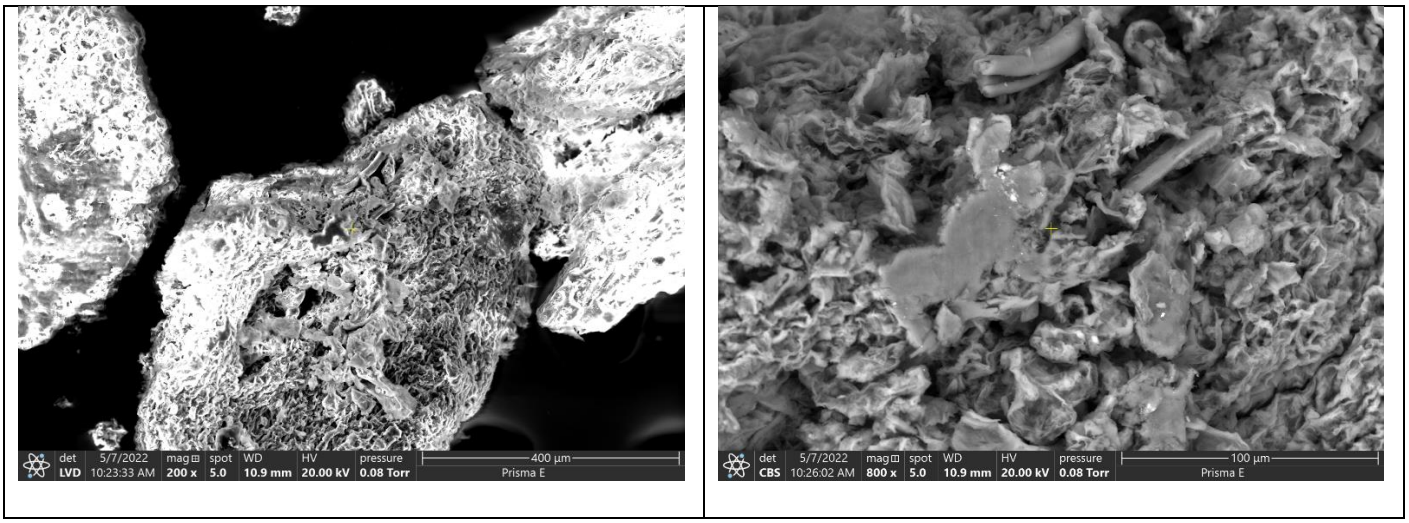
a)



b)

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR



c)

Figura 2. Micrografías SEM de la biomasa de cacao a diferentes acercamientos (a) tratamiento control, (b) tratamiento térmico y (c) tratamiento químico.

Las micrografías de los tratamientos sometidos a la biomasa de cacao se clasifican como tipo poroso con superficie irregular típica de materiales lignocelulósicos (Candelaria et al., 2019). En la Figura 2.a el tratamiento control (TC) muestra una superficie con relieves irregulares poco profundos (Silupú et al., 2017). En la Figura 2.b (TT) muestra una micrografía característica de un material poroso orgánico con forma de espuma orgánica con grandes celdas (Tapia Gavilanes, 2019). En la Figura 2.c (TQ) muestra que la superficie es áspera con fisuras y cavidades más pronunciadas en comparación de los demás tratamientos (Ul-Hamid, 2018), lo cual permitiría en teoría una mejor penetración del adsorbato, pero esto dependería de la características de adsorción.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

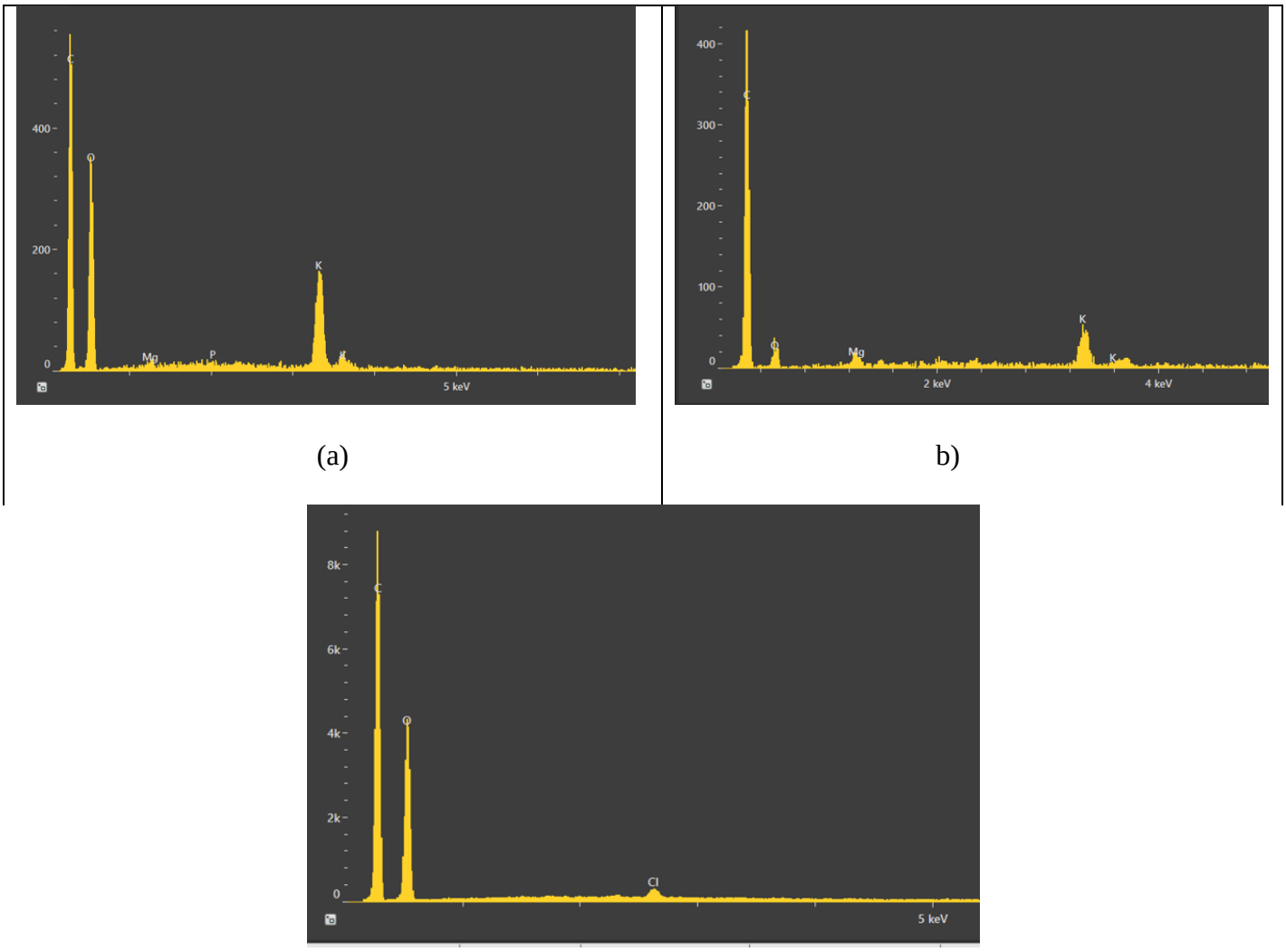


Figura 3. Microdistribución química superficial por dispersión de rayos X -EDX - Espectro EDS de biomasa de cacao (a) tratamiento control, (b) tratamiento térmico y (c) tratamiento químico.

En la Figura 3, se muestra el análisis de Energía Dispersa de Rayos X (EDS) de la biomasa de cacao tratada con el TC y TQ, encontramos que el carbono y el oxígeno contribuye más a la composición elemental de la biomasa, atribuyéndose a su naturaleza lignocelulósica. En b) TT se representa en mayor proporción el carbono. Asimismo, se observa en a) TC y b) TT los elementos trazas de potasio y magnesio. Para el TQ (c), se observó un cambio significativo en los elementos traza, ya que fueron eliminados y

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

reemplazados por cloro, propio del ácido clorhídrico que se utilizó para su activación. Cabe mencionar que no se encontró cadmio dentro de la composición de la cascara de cacao.

Evaluación de la eficacia de los residuos de cacao activados con un TT, TQ y TC

La evaluación de la eficacia en el estudio cinético de adsorción de cadmio se realizó mediante el porcentaje de remoción.

En la Figura 4, se observa el porcentaje de remoción de Cd alcanzado a los 30 minutos fue 82.4% en el tratamiento térmico, 50% en el tratamiento control y 42% en el tratamiento químico usando 0.25 g de biomasa , comparable al 80% obtenido usando 1g cáscara de cacao sin modificar (Obike et al., 2018). Otro estudio donde se utilizó biocarbón (un producto rico en carbono que resulta del calentamiento de paja de arroz tratado químicamente), utilizando 0,1g se obtuvo un porcentaje de remoción de 83,25% (Deng et al., 2019), demostrando la eficacia del tratamiento térmico para la adsorción de cadmio.

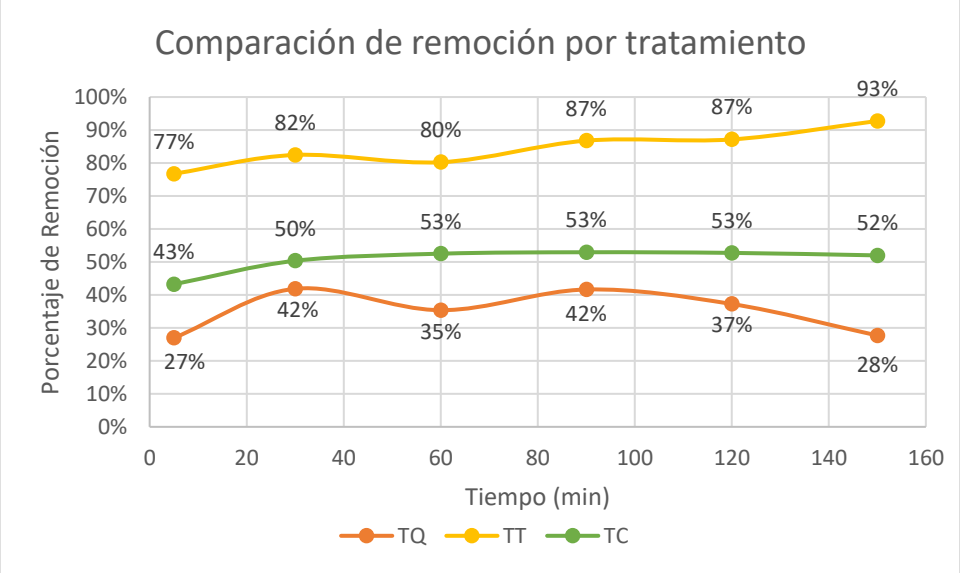


Figura 4. Perfil cinético del porcentaje de remoción de cadmio por cada tratamiento

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Evaluación del efecto tiempo de contacto de los residuos de cacao activados en la remoción de cadmio- Cinética de adsorción

En la Figura 5, se expresa los valores de q_e adsorbidas de cadmio por gramo de adsorbente, donde el tratamiento control y químico presentan similar comportamiento, mientras que el tratamiento térmico supera altamente los niveles de adsorción de cadmio.

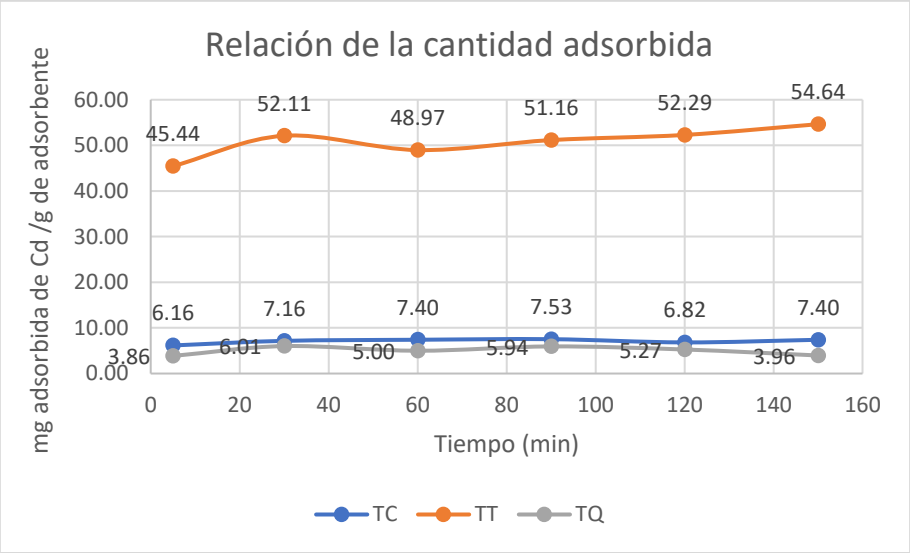


Figura 5. Cantidad adsorbida en función al tiempo q_t

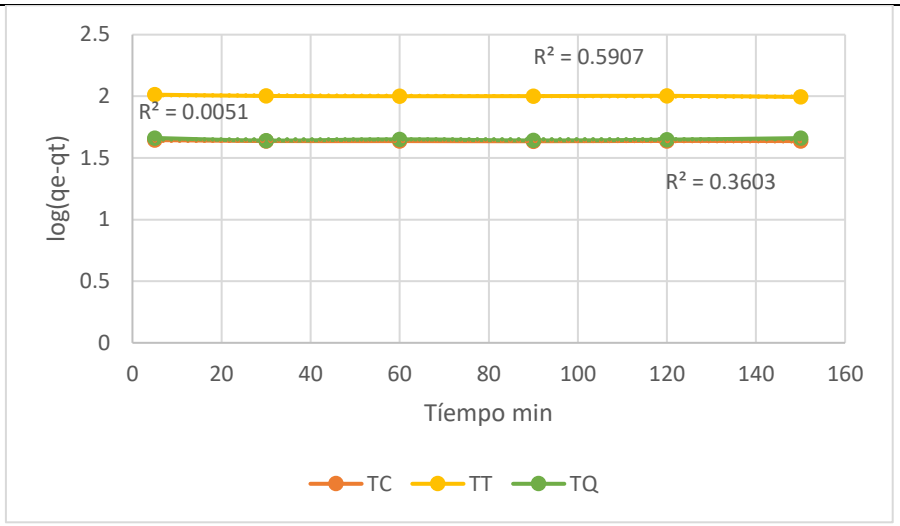
La evaluación estadística demuestra que en el tratamiento químico y térmico existen diferencias significativas entre los 5 min y 30 min mas no entre los demás tiempos (5, 30, 60, 90, 120, 150 min), lo que indicaría que es suficiente 30 min de contacto para alcanzar la mayor adsorción de cadmio. Sin embargo, los niveles alcanzados de adsorción son mayores en el tratamiento térmico (52,11 mg/g) que el tratamiento químico (6,01 mg/g). Además, podemos indicar los tratamientos químico y control presentan niveles de adsorción similares donde existieron diferencias significativas únicamente a los 60, 120, 150 min.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

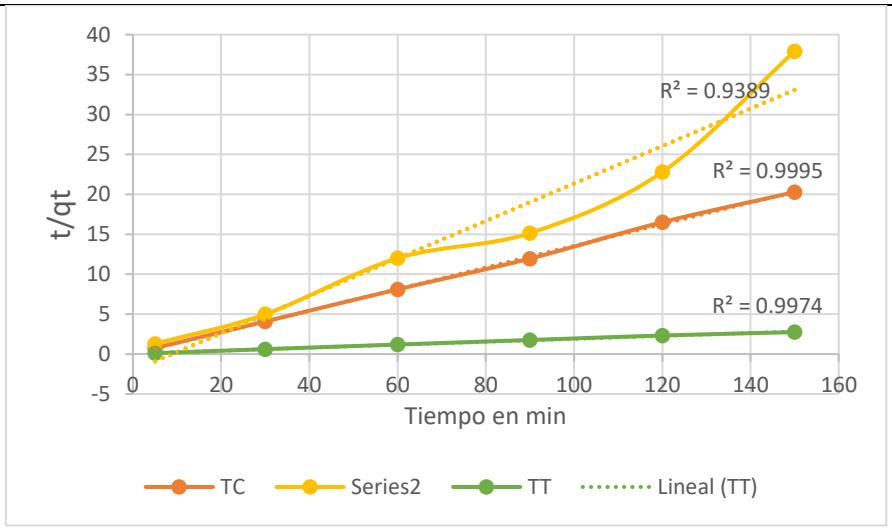
TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Modelamiento de las curvas de cinéticas de adsorción

a)



b)



Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

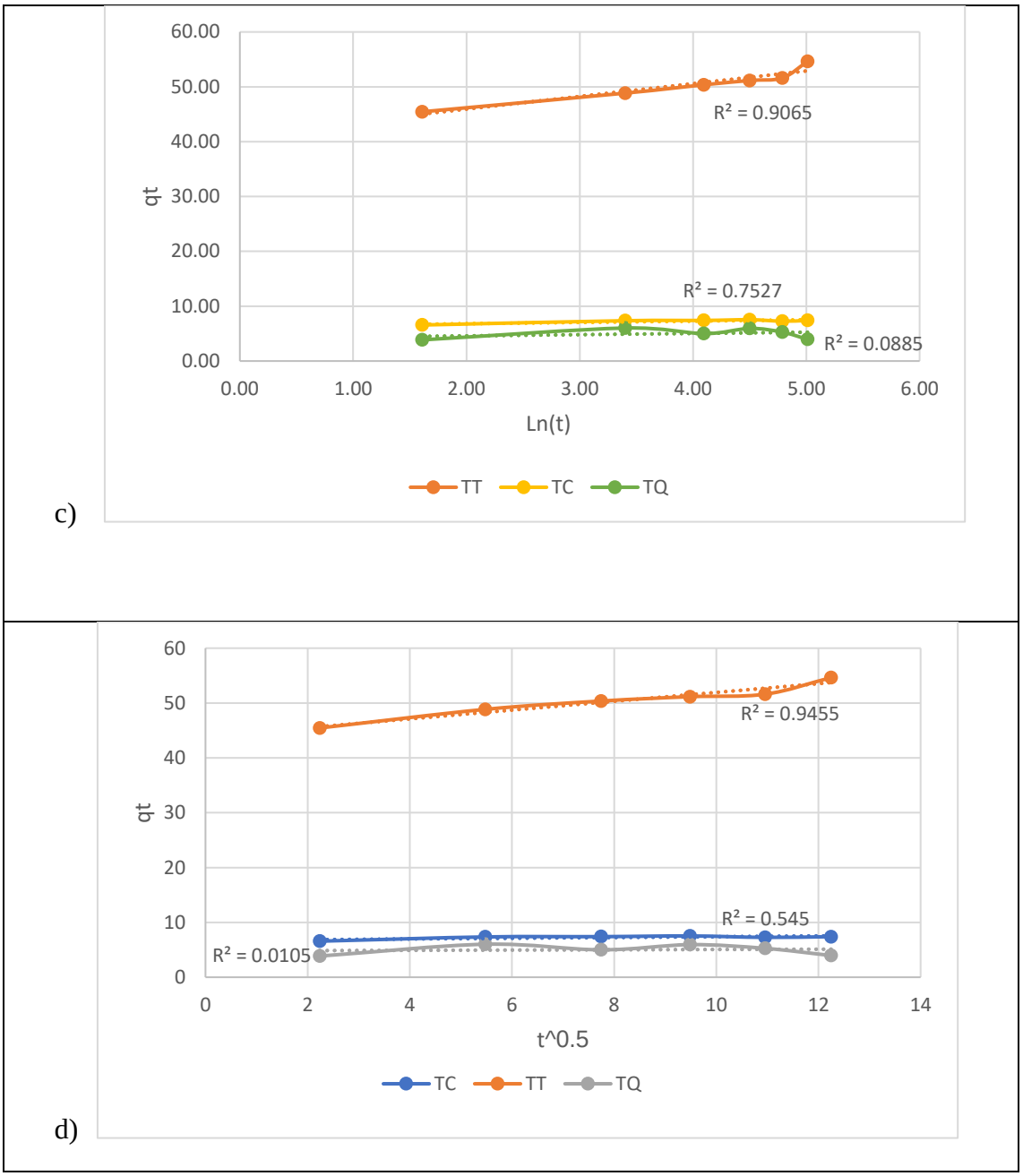


Figura 6. Curva de ajuste de modelos cinético a) pseudo primer orden, b) pseudo segundo orden, c) Elovich y d) difusión intraparticular

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Tabla N°5. Modelos cinéticos ajustados a los tratamientos

Modelo	Parámetro	TC	TT	TQ
pseudo- Primer orden	q_e(mg/g)	43,732	102,09	44,6478
	$k_1(\text{min}^{-1})$	0,00 0	0,000	0,00 0
	R^2	0,005	0,5907	0,005
pseudo- segundo orden	q_e(mg/g)	7,385	54,348	4,266
	k_2(g.mg^{-1}.min^{-1})	1,072	0,000	-0,026
	R^2	0,999	0,997	0,939
Elovich	α (mg.g^{-1}.min^{-1})	1,306	46,869	0.000
	β (g/mg)	4,210	0,431	4,518
	R^2	0,727	0,907	0,089
difusión intraparticular	K_{dif}	0,686	0,804	0,026
	C	6,707	43,892	4,798
	R^2	0,545	0,946	0,011

En la Tabla N°5, se puede observar que el modelo que mejor se ajustó a los datos experimentales fue el modelo de pseudo segundo orden, con un coeficiente de correlación para TC es R^2 de 0,999, TT es R^2 de 0,997 y TQ es R^2 de 0,939, describiéndose que los tratamientos siguen una adsorción química en la superficie de la capa de carbono; es decir, los electrones son compartido o intercambiados entre el adsorbente y el adsorbato, formando enlaces covalentes y iónicos para la adsorción de Cd (Lei et al., 2019). Además, el modelo de difusión intraparticular, y Elovich también se ajustan al TT, el primero describe una difusión de adsorbato hasta llegar a la estructura interior de los poros del adsorbente, lo que lleva a que el adsorbente posea una estructura porosa homogénea

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

(Arroyo & Ruiz, 2018); lo cual, se observa en la Figura 2 b) , Elovich describe un proceso de quimisorción asumiendo que los sitios activos del adsorbente son heterogéneos y generan diferentes energías de activación (Sánchez-Pina, 2014; Tejada-Tovar et al., 2019).

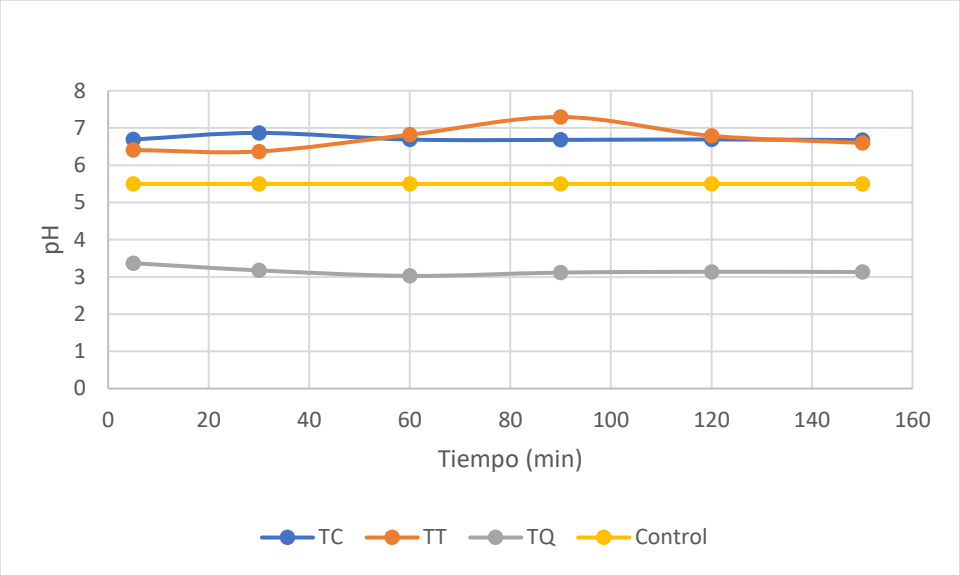


Figura 7. pH antes y después de la adsorción de cadmio

El pH se considera un factor importante en la adsorción de metales debido a su gran influencia en la morfología de la superficie del adsorbente y las especies de iones metálicos en la solución (Xu et al., 2021). En la Figura 7, se observa los cambios de pH antes (solución control) y después de la adsorción de cadmio, donde la solución control tiene un pH 5,5. En los TT y TC, se evidencia una ligera alcalinización (pH 6,7) a diferencia del TQ (pH 3,1). Los pH altos favorecen la adsorción, puesto que la carga negativa es mayor (aumenta la concentración de iones hidroxilo) y facilita la adsorción de Cd^{+2} y $Cd(OH)_2$ (Lei et al., 2019). No obstante para pH bajos la adsorción de cadmio decrece, debiéndose a que aumenta la concentración de iones hidronio (H+) que compiten con los sitios activos del adsorbente (Ramón De Los Santos et al., 2019), esto justificaría la baja remoción del TQ en comparación con los otros tratamientos como se ve en la

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Figura 4. Asimismo, nuestros resultados indican que en el rango de 6 a 7 de pH, se obtuvo la mayor adsorción de cadmio, coincidiendo con Huamán, (2015) en donde valores superiores a 4.5 favorecen la adsorción de cationes.

4. Conclusión

Todos los tratamientos fueron eficaces para la remoción de cadmio, sin embargo, el tratamiento térmico fue el más eficaz con la mayor remoción de cadmio (82.7%) en menor tiempo (30 minutos). La micrografía mostró forma de espuma con grandes celdas que son características de los materiales porosos, demostrado por su mayor porosidad y homogeneidad de poros; además, contó con grupos funcionales alifáticos y aromáticos característicos de un buen adsorbente, esto representa una buena alternativa para la remoción de cadmio sin el uso de aditivos químicos y con procedimientos sencillos como la incineración. El tratamiento químico presenta una mayor área superficial por tener fisuras y cavidades más pronunciadas en comparación de los demás tratamientos; en cuanto a la remoción de cadmio los valores alcanzados fueron similares al tratamiento control, no obstante, contar con los grupos funcionales característicos de un buen adsorbente: Hidroxilo, carbonilo, carboxilo, lo que se puede atribuir a la acidificación de la solución el cual reduciría la capacidad de adsorción, esto presenta dificultades en el proceso de adsorción porque requiere tratamientos rigurosos que logren eliminar el aditivo químico o que reduzcan la acidez de la solución del contacto de un adsorbente y adsorbato en un rango de pH de 6 a 7.

Finalmente, el tratamiento control presentó una superficie irregular poco profunda con grupos funcionales similares a los encontrados en el tratamiento químico, pero con menor porosidad y bajos niveles de remoción de Cd. Respecto a la cinética de adsorción el tratamiento térmico se ajustó a tres modelos que explican los mecanismos de adsorción: pseudo- segundo orden, Elovich y difusión intraparticular, donde se puede afirmar que

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

además de una adsorción química con sitios activos heterogéneos, existe una difusión hasta llegar a la estructura interna de los poros del adsorbente donde sucede una quimiosorción. En el tratamiento control y tratamiento químico, al ajustarse al modelo de pseudo- segundo orden, describe únicamente un mecanismo de adsorción química en la superficie del adsorbente formando enlaces covalentes e iónicos para la remoción de cadmio. Es recomendable un tiempo de contacto mínimo de 30 min para alcanzar una adsorción máxima.

5. Agradecimiento

Este proyecto fue posible gracia a familiares, amigos, colegas y asesores que siempre estuvieron atentos al avance y prestos a solicitudes de préstamo y/o alquiler de laboratorio y equipos de universidades como el Laboratorios de Química de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Científica del Sur, Laboratorio de Monitoreos Ambientales y Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional del Altiplano.

6. Bibliografía

Abdolali, A., Ngo, H. H., Guo, W., Zhou, J. L., Du, B., Wei, Q., Wang, X. C., & Nguyen, P. D. (2015). Characterization of a multi-metal binding biosorbent: Chemical modification and desorption studies. *Bioresource Technology, 193*, 477–487. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.06.123

Afroze, S., & Sen, T. K. (2018). A Review on Heavy Metal Ions and Dye Adsorption from Water by Agricultural Solid Waste Adsorbents. *Water, Air, and Soil Pollution, 229*(7). https://doi.org/10.1007/s11270-018-3869-z

Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2012). Toxicalogical perfile for Cadmium. In *U.S. Departament of Health and Human Services* (Vol. 13, Issue September). https://doi.org/10.1016/s1090-3798(09)70033-9

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Agilent Technologies. (2016). *Fundamentos de Espectroscopia Atómica : Hardware*.

Ardila, C., & Carreño, S. (2011). *Aprovechamiento de la cascara de la mazorca de cacao como adsorvente* [Facultad de Ingeniería Fisicoquímica]. http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2011/137849.pdf

Arroyo, L., & Ruiz, D. (2018). Determinación de la cinética de adsorción de cloruros de vertimientos del sector agrícola cultivos energéticos, sobre carbón activado comercial. *Universidad de América, Facultad de Ingeniería*, *1*, 1–476.

Barrera, J. (2017). Determinación y análisis del efecto de los diferentes tipo de oxidacion sobre las propiedades plásticas del carbón. *Jurnal Keperawatan. Universitas Muhammadya Malang*, *4*(1), 724–732. https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/en/mdl-20203177951%0Ahttp://dx.doi.org/10.1038/s41562-020-0887-9%0Ahttp://dx.doi.org/10.1038/s41562-020-0884-z%0Ahttps://doi.org/10.1080/13669877.2020.1758193%0Ahttp://sersc.org/journals/index.php/IJAST/article

Burgos, G., & Jaramillo, J. L. (2015). *Aprovechamiento de los residuos de cacao y coco para la optencion de carbon activo, en el Cantón Milagro, provincia del Guayas*. *II*, 1–15.

Candelaria, T. T., Angel, V. O., Erika, R. P., Adriana, H. B., & Rodrigo, O. T. (2019). Characterization and use of agroindustrial by-products in the removal of metal ions in aqueous solution. *Jurnal Teknologi*, *81*(6), 151–158. https://doi.org/10.11113/jt.v81.13644

Deng, Y., Huang, S., Laird, D. A., Wang, X., & Meng, Z. (2019). Adsorption behaviour and mechanisms of cadmium and nickel on rice straw biochars in single- and

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

binary-metal systems. *Chemosphere*, *218*, 308–318. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.11.081

Espinoza Mogollón, E. (2019). *Obtención de subproductos derivados de la carbonización hidrotermal de materiales adsorbentes derivados de residuos agroindustriales*. Universidad Nacional de Tumbes.

Florida, N., Navarro, L., Rengifo, A., & Nazar, J. (2021). Produccion del Cacao CCN-51 con manejo orgánico y convencional en Padre Abad, Ucayali- Perú. In *Edidec Editorial*. https://doi.org/https://doi.org/10.34893/nq1t-sa12

Herrera Rengifo, J. D., Villa Prieto, L., Olaya Cabrera, A. C., & García Alzate, L. S. (2020). Extracción de almidón de cáscara de cacao Theobroma cacao L. como alternativa de bioprospección. *Revista ION*, *33*(2), 25–34. https://doi.org/10.18273/revion.v33n2-2020002

Huamán, R. (2015). *Evaluación de la adsorción de Cd, Pb Y Zn mediante la utilizacion de la biomasa obtenida de la sábila en soluciones acuosas*. 10–11.

Jiménez Tobón, C. S. (2015). Global legal status of cadmium in cacao (Theobroma cacao): a fantasy or a reality. *Producción + Limpia*, *10*(1), 89–104. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552015000100009&lang=pt

Kuang, Y., Zhang, X., & Zhou, S. (2020). Adsorption of methylene blue in water onto activated carbon by surfactant modification. *Water (Switzerland)*, *12*(2), 1–19. https://doi.org/10.3390/w12020587

La Comisión Europea. (2014). *Europea, Diario Oficial de la Unión*. https://cde.gestion2.e3.pe/doc/0/0/2/6/7/267764.pdf

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Lara, J., Tejada, C., Villabona, A., & Arrieta, A. (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), 115. https://doi.org/10.18273/revion.v29n2-2016009

Larios, F., Gonzáles, C., & Morales, Y. (2015). Aguas residuales y sus consecuencias en el Perú. *Revista de La Facultad de Ingeniería de La USIL*, *2*(12), 9–25. http://revistas.usil.edu.pe/index.php/syh/article/view/115

Lei, T., Li, S. J., Jiang, F., Ren, Z. X., Wang, L. L., Yang, X. J., Tang, L. H., & Wang, S. X. (2019). Adsorption of Cadmium Ions from an Aqueous Solution on a Highly Stable Dopamine-Modified Magnetic Nano-Adsorbent. *Nanoscale Research Letters*, *14*(1). https://doi.org/10.1186/s11671-019-3154-0

Marín Pensántes, D. G. (2017). *Evaluación de la remoción del ibuprofeno mediante biosorción en tallos de rosas y posos de café*. 79.

Mendoza-López, K. L., Mostacero-León, J., López-Medina, S. E., Efraín Gil-Rivero, A., De La Cruz-Castillo, A. J., & Villena-Zapata, L. (2021). Cadmium in Theobroma cacao L. "cacao" plantations in the San Martin region (Lamas), Peru. *Manglar*, *18*(2), 169–173. https://doi.org/10.17268/manglar.2021.022

Moya, K. (2018). *Remocion de Plomo en aguas residuales procedentes de actividades mineras mediante la utilizacion de la cascara de cacao* (Vol. 10, Issue 2). http://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/10001/1/UDLA-EC-TIAM-2018-28.pdf

Navarro, J. P., Aguilar, I., & López, J. R. (2007). Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas. *Ecosistemas*, *16*(July), 10–25.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Neira, C., Rojas, J., & Espinoza, C. (2021, July). Metales Pesados. *Coloquio*, 72.

Obike, A. I., Igwe, J. C., Emeruwa, C. N., & Uwakwe, K. J. (2018). Equilibrium and kinetic studies of Cu (II), Cd (II), Pb (II) and Fe (II) adsorption from aqueous solution using cocoa (*Theobroma cacao*) pod husk. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, *22*(2), 182. https://doi.org/10.4314/jasem.v22i2.5

Obregon, D. (2012). *Estudio comparativo de la capacidad de adsorcion de cadmio utlizando carbones activados preparados a partir de semillas de aguaje y de aceituna*.

Ortiz, M. (2018). *A la búsqueda del origen del cadmio en el cacao*. RedAgricola. http://www.redagricola.com/pe/a-la-busqueda-del-origen-del-cadmio-en-el-cacao/

Pérez, L., Paz Astudillo, I. C., Sandoval Aldana, A. P., & Peñaloza Atuesta, G. C. (2020). Uso de cáscara de cacao (Theobroma cacao) para la remocion de cromo en solución acuosa. *Revista EIA*, *17*(34), 1–13. https://doi.org/10.24050/reia.v17i34.1393

Poma, P. (2013). Intoxicación por plomo en humanos. *Anales de La Facultad de Medicina*, *69*(2), 120. https://doi.org/10.15381/anales.v69i2.1155

Ramón De Los Santos, C., Barajas Fernández, J., Pérez Hernández, G., Hernández Rivera, M. Á., & Díaz Flores, L. L. (2019). Adsorption of copper (II) and cadmium (II) in aqueous suspensions of biogenic nanostructured CaCO 3. *Boletin de La Sociedad Espanola de Cerámica y Vidrio*, *58*(1), 2–13. https://doi.org/10.1016/j.bsecv.2018.05.003

Reátegui Ochoa, K. (2017). Obtención de carbón activado a partir de la cáscara del fruto de la calabaza (Cucurbita ficifolia bouchë). *Universidad Nacional Agraria La*

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Molina, 91. http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2882

Rodríguez, A. C., Campos Rosario, A. M., & Pérez Flores, A. (2019). Obtención y caracterización de materiales adsorbentes a partir de cascarilla de arroz. *Revista Mutis*, *9*(1), 29–39. https://doi.org/10.21789/22561498.1515

Rofner, N. F. (2021). Revision sobre limites máximos de cadmio en cacao (Theobrama cacao l.). *Granja*, *34*(2), 113–126. https://doi.org/10.17163/LGR.N34.2021.08

Sánchez-Pina, D. J. (2014). Eliminación de Metales Pesados de Efluentes Líquidos por Adsorción en Materiales Naturales Residuales de Bajo Coste (Acículas de Pino). In *Sapientia* (Vol. 57).

Santos-Francés, F., Martínez-Graña, A., Rojo, P. A., & Sánchez, A. G. (2017). Geochemical background and baseline values determination and spatial distribution of heavy metal pollution in soils of the andes mountain range (Cajamarca-Huancavelica, Peru). *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *14*(8). https://doi.org/10.3390/ijerph14080859

Sari, A. A., Amriani, F., Muryanto, M., Triwulandari, E., Sudiyani, Y., Barlianti, V., Narrij Lotulung, P. D., & Hadibarata, T. (2017). Mechanism, adsorption kinetics and applications of carbonaceous adsorbents derived from black liquor sludge. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, *77*, 236–243. https://doi.org/10.1016/j.jtice.2017.05.008

Scientific, T. (2018). *Thermo Scientific Barnstead Smart2Pure Pro Ultrapure water system*. *August*.

Senese, A., Hidalgo, N., Cano, E., & Cañari, L. (2019). Caracterización De Minerales No Activados Y Activados Para Posible Uso Como Sorbentes. *Revista Colombiana*

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

de Materiales, *14*, 102–116.

Silupú, C., Solís, R., Cruz, G., Gómez, M., Solis, J., & Keiski, R. (2017). Caracterización de filtros comerciales para agua a base de carbón activado para el tratamiento de agua del río Tumbes - Perú. *Revista Colombiana de Química*, *46*(3), 37–45. http://revistas.unal.edu.co/index.php/rcolquim/article/view/62146

Suárez Ramos, D. (2019). *Evaluación de la adsorción del carbón del mesocarpio del cacao (Theobroma cacao, L.) modificado por untrasonido*.

Sun Kou, M. del R. (2016). *Estudio del proceso de adsorcion de cadmio y cromo presente en soluciones acuosas utilizando carbones activados modificados* (Vol. 2).

Tapia Gavilanes, D. (2019). *CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES ABSORBENTES Y MODELOS MATEMÁTICOS*.

Tejada-Tovar, C., Villabona-Ortíz, A., González-Delgado, Á. D., & Jiménez-Villadiego, M. (2019). Kinetics of Mercury and Nickel Adsorption Using Chemically Pretreated Cocoa (*Theobroma cacao*) Husks. *Transactions of the ASABE*, *62*(2), 461–466. https://doi.org/10.13031/trans.13133

Tejada-Tovar, C., Villabona-Ortíz, Á., Sierra-Ardila, C., Meza-Acuña, M., & Ortega-Toro, R. (2021). Adsorption in a binary system of Pb (II) and Ni (II) using lemon peels. *Revista Facultad de Ingenieria*, *101*, 31–44. https://doi.org/10.17533/udea.redin.20200691

TejadaTovar, C., Villabona- Ortiz, Jiménez Villadiego, Á. ;, Cr, A., Cacao, C., Tejada Tovar, C., Villabona Ortiz, Á., & Villadiego, M. J. (2017). *Remoción de Cromo Hexavalente sobre Residuos de Cacao Pretratados Químicamente*. 139–147.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v20n1/v20n1a16.pdf

Thirumoorthy, K., & Krishna, S. K. (2020). Removal of cationic and anionic dyes from aqueous phase by Ball clay - Manganese dioxide nanocomposites. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, *8*(1), 103582. https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103582

Ul-Hamid, A. (2018). A Beginners' Guide to Scanning Electron Microscopy. In *A Beginners' Guide to Scanning Electron Microscopy*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-98482-7

Valenzuela Padilla, A. A., & Torres Pérez, J. (2020). Remoción de colorantes azóicos (A5 y R40) con carbón activado de cáscara de nuez. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, *21*(3), 1–11. https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2020.21.3.027

Villamizar, Y., Rodríguez, J., & León, L. (2017). Caracterización fisicoquímica, microbiológica y funcional de harina de cáscara de cacao (Theobroma cacao L.) variedad CCN-51. *Cuaderno Activa*, *9*(2016), 65–75. https://revistas.javeriana.edu.co/files-articulos/CC/20-50 (2019)/151561447004/151561447004_visor_jats.pdf

Xu, H., Hu, X., Chen, Y., Li, Y., Zhang, R., Tang, C., & Hu, X. (2021). Cd(II) and Pb(II) absorbed on humic acid-iron-pillared bentonite: Kinetics, thermodynamics and mechanism of adsorption. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, *612*(December 2020). https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2020.126005

Zhang, M., Hou, S., Li, Y., Hou, Y., & Yang, P. (2022). Single evaluation and selection of functional groups containing N or O atoms to heavy metal adsorption: Law of electric neutrality. *Chemosphere*, *287*(P2), 132207.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132207

Resultados de análisis enviados a laboratorio

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE QUÍMICA
LABORATORIO DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICO (LASAQ)

INFORME DE ENSAYO
LASAQ N° 22-2022-DQ

SOLICITANTE	:	*Jean Carlo Milla Luna*
PRODUCTO DECLARADO	:	*(Cascara de Cacao)*
NÚMERO DE MUESTRAS	:	*01*
CANTIDAD RECIBIDA	:	*100 g*
MARCA	:	*sin marca*
FORMA DE PRESENTACIÓN	:	*En bolsa de plástico*
MUESTREADO POR	:	*Muestra proporcionada por el solicitante.*
FECHA DE RECEPCIÓN	:	*29 de setiembre del 2022*
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADO:		*28 de octubre del 2022*
ENSAYOS SOLICITADOS	:	*FÍSICO/QUÍMICO/LIGNOCELULOSICOS*

ENSAYO	*RESULTADOS*
1.-Humedad (%)	*3.64*
2.-Extractico % MS	*22.21*
3. Lignina (%MS)	*16.32*
4.- Celulosa (%MS)	*55.18*

MS= masa seca MH= masa húmeda

MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO:

1.- BGBl. II Bundesgesetzblatt 2001-Nr. 292 parte 3.8.2
2.- ASTM D1105-17
3.-NORMA TAPPI T 222
4.- NORMA TAPPI T 212

Atentamente:

Mg.Sc. Diego Suarez Ramos
JEFE DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO

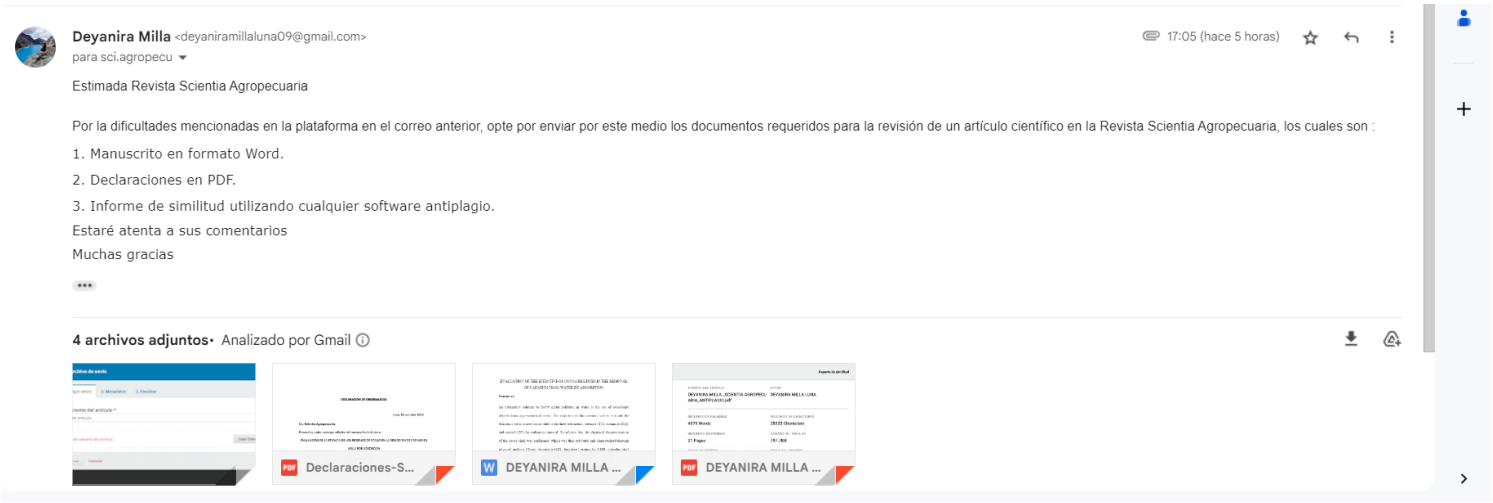
Dr. Victor Caro Sánchez Benites
Director Dpto. Académico de Química
DIRECTOR DEL DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE QUÍMICA

Departamento Académico de Química : Tlf. 6147800 Anexos (305-307)
Av. La Molina s/n La Molina Facultad de Ciencias (1er. Piso)

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Evidencia de envío a revista científica



Deyanira Milla <deyaniramillaluna09@gmail.com> 17:05 (hace 5 horas)
para sci.agropecu

Estimada Revista Scientia Agropecuaria

Por la dificultades mencionadas en la plataforma en el correo anterior, opte por enviar por este medio los documentos requeridos para la revisión de un artículo científico en la Revista Scientia Agropecuaria, los cuales son :

1. Manuscrito en formato Word.
2. Declaraciones en PDF.
3. Informe de similitud utilizando cualquier software antiplagio.

Estaré atenta a sus comentarios
Muchas gracias

4 archivos adjuntos · Analizado por Gmail

Declaraciones-S... DEYANIRA MILLA ... DEYANIRA MILLA ...

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N°001-2021-DACIA-DAFCA-U. CIENTIFICA

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Lima, 7 de enero del 2021

VISTO:
El informe de revisión independiente académica y la aprobación de un Comité de Ética del proyecto de tesis titulado: **Evaluación de la eficiencia de los residuos de cacao en la remoción de cadmio en agua por adsorción**, presentado por:

- **Deyanira Milla Luna**

CONSIDERANDO:
Que, de acuerdo al Reglamento General de la Universidad Científica del Sur y los reglamentos de pregrado para obtener el título profesional de **Ingeniero(a) Ambiental** en la **Facultad de Ciencias Ambientales**, se debe desarrollar un trabajo de investigación.

Que, de acuerdo a la normativa vigente de la Universidad Científica del Sur, en uso de las atribuciones conferidas al Director Académico de Carrera.

SE RESUELVE:
Aprobar e inscribir el proyecto de tesis titulado: **Evaluación de la eficiencia de los residuos de cacao en la remoción de cadmio en agua por adsorción** con N° de registro: **339-2020-PRE11**, y establecer el inicio del periodo de ejecución del mencionado proyecto.

Nombrar al docente/colaborador **Jorge Luis Cárdenas Ruiz** como asesor(a) para el desarrollo de la tesis en cuestión.

Regístrese, comuníquese y archívese,

Mg. Gonzalo Francisco Flores Roca
Director Académico
Carrera de Ingeniería Ambiental