



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Adsorción de cadmio en suelos agrícolas utilizando biochar de tallos  
de algodón y cascarilla de arroz

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

Ingeniera Ambiental

**AUTORAS:**

Flores Arevalo, Jenifer ([orcid.org/0000-0002-7117-4193](https://orcid.org/0000-0002-7117-4193))

Santa Maria Lozano, Zully ([orcid.org/0000-0002-3074-9472](https://orcid.org/0000-0002-3074-9472))

**ASESOR:**

Dr. Monteza Arbulú, César Augusto ([orcid.org/0000-0003-2052-6707](https://orcid.org/0000-0003-2052-6707))

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Calidad y Gestión de los recursos naturales

**LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:**

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

CHICLAYO - PERÚ

2022

## **Dedicatoria**

Dedico este proyecto a mis padres, por su amor y paciencia, por el apoyo incondicional y oportunidad de superarme y desearme lo mejor a lo largo de este camino.

A todas las personas que me han estado brindando apoyo y aliento para culminar con éxito este proyecto.

***Jenifer***

Dedico mi proyecto a mis padres y hermano por su dedicación, constancia, apoyo y la oportunidad brindada y acompañarme a lo largo del trayecto rumbo a una vida profesional.

También va dirigido para todos aquellos los que me brindaron apoyo y ánimos para mantener firme y culminar con éxito.

***Zully***

## **Agradecimiento**

Primero agradecer a Dios y a nuestras familias por habernos brindado la oportunidad y ser nuestro ejemplo de superación, perseverancia, humildad y sacrificio.

Agradecer también al Dr. Cesar Monteza Arbulú por su asesoría y apoyo incondicional desde el inicio y desarrollo del proyecto de investigación y finalmente a todas aquellas personas que estuvieron involucradas y apoyaron a lo largo de esta investigación.

**Jenifer y Zully**

## Índice de contenidos

Carátula.....	i
Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento .....	iii
Índice de contenidos .....	iv
Índice de tablas .....	v
Índice de figuras .....	vi
Resumen .....	vii
Abstract .....	viii
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>II. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>4</b>
<b>III. METODOLOGÍA.....</b>	<b>11</b>
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	11
3.2. Variables y operacionalización.....	11
3.3. Población, muestra, muestreo, unidad de análisis .....	12
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	12
3.5. Procedimientos.....	13
3.6. Método de análisis de datos .....	15
3.7. Aspectos éticos .....	16
<b>IV. RESULTADOS.....</b>	<b>17</b>
<b>V. DISCUSIÓN.....</b>	<b>28</b>
<b>VI. CONCLUSIONES.....</b>	<b>30</b>
<b>VII. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>31</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>32</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>39</b>

## Índice de tablas

<b>Tabla 1:</b> <i>Producción de biochar en proceso de la pirolisis</i> .....	9
<b>Tabla 2:</b> <i>Cantidades de muestras de cadmio</i> .....	14
<b>Tabla 3:</b> <i>Determinación de la concentración inicial de cadmio</i> .....	18
<b>Tabla 4:</b> <i>Principales parámetros del suelo agrícola contaminado</i> .....	18
<b>Tabla 5:</b> <i>Cantidades de materia y biochar obtenidos</i> .....	20
<b>Tabla 6:</b> <i>Adsorción del biochar de cascarilla de arroz</i> .....	22
<b>Tabla 7:</b> <i>Adsorción del biochar de tallos de algodón</i> .....	23
<b>Tabla 8:</b> <i>Cálculo de la eficiencia de la aplicación de los dos tipos de biochar´s</i> .....	25
<b>Tabla 9:</b> <i>Control de pH y C.E de las muestras de suelo</i> .....	26

## Índice de figuras

<i>Figura 1:</i> Tomas de muestras de suelo en Jayanca .....	17
<i>Figura 2:</i> Proceso de pirolisis para obtener biochar .....	20
<i>Figura 3:</i> Codificación de muestras para analizar .....	21
<i>Figura 4:</i> Aplicación del biochar por capas.....	22
<i>Figura 5:</i> Adsorción del biochar de cascarilla de arroz .....	23
<i>Figura 6:</i> Adsorción del biochar de tallos de algodón .....	24
<i>Figura 7:</i> Eficiencia de la aplicación de los biochar´s en % .....	26

## Resumen

Los metales pesados en los suelos agrícolas traen consigo graves consecuencias a la salud humana, por ello esta investigación tuvo como objetivo principal determinar la eficiencia de adsorción de cadmio en suelos agrícolas utilizando biochar de tallos de algodón y cascarilla de arroz, su metodología fue de tipo aplicada, donde se procedió a la elaboración por el método de pirolisis lenta en una mufla conectada a un cilindro de gas de purga ( $\text{CO}_2$ ) a una temperatura de  $500^\circ\text{C} - 1\text{h}$ , para luego ser utilizado como tratamientos de suelo contaminado con cadmio de una concentración inicial de 3.8 ppm, el cual se trató por un plazo de 15 días obteniendo los siguientes resultados, con el biochar de cascarilla de arroz al: 10% se redujo a 1.67 ppm de cadmio obteniendo la mayor reducción y al 20% del mismo se redujo 2.16 ppm; al tratar con biochar de tallos de algodón la mayor reducción con el tratamiento del: 10% se redujo a 1.98 ppm y al 20% redujo a 2.35 ppm, donde se determina que el biochar de cascarilla de arroz es una solución ambiental más eficiente con un 56% de capacidad de reducción para tratar suelos agrícolas contaminados con cadmio.

**Palabras clave:** adsorción, cadmio, suelo contaminado, biochar, eficiencia

## **Abstract**

Heavy metals in agricultural soils bring serious consequences to human health, therefore this research had as main objective to determine the efficiency of cadmium adsorption in agricultural soils using biochar from cotton stems and rice husks, its methodology was type applied, where the elaboration proceeded by the slow pyrolysis method in a muffle connected to a purge gas cylinder (CO<sub>2</sub>) at a temperature of 500°C - 1h, to then be used as treatments of soil contaminated with cadmium in one initial concentration of 3.8 ppm, which was treated for a period of 15 days, obtaining the following results, with the rice husk biochar at: 10% was reduced to 1.67 ppm of cadmium, obtaining the greatest reduction and 20% of it was reduced 2.16 ppm; When treating with biochar from cotton stems, the greatest reduction with the treatment of: 10% was reduced to 1.98 ppm and 20% reduced to 2.35 ppm, where it is determined that rice husk biochar is a more efficient environmental solution with a 56% reduction capacity to treat agricultural soils contaminated with cadmium.

**Keywords:** adsorption, cadmium, contaminated soil, biochar, efficiency



## I. INTRODUCCIÓN

La contaminación de suelos por metales pesados es una gran preocupación en todo el mundo, debido a que estos son persistentes, bioacumulables y de elevada toxicidad, de este modo hacen que se encuentren por períodos extensos en el ambiente, siendo difíciles de degradar (Rodríguez, 2017, p. 1). Los metales pesados en los suelos ocasionan cambios físicos, químicos y biológicos; haciendo que se aceleren los procesos de los metales en el suelo, causando una disminución en la productividad y el rendimiento, tal como la reducción y pérdida de especies nativas (Panéz, 2017, p.14).

Durante décadas la agricultura, es una de las necesidades más grandes de la humanidad, porque gracias a esta actividad se puede abastecer los mercados para su venta correspondiente de cada producto y sus derivados. Sin embargo, los suelos con fines agrícolas en el Perú, solamente se usan el 5.92% aptos para los cultivos (Ministerio de Agricultura y Riego, 2017, p.5). Pero, se debe tener en cuenta que, para la producción de cada cultivo se hace uso de fertilizantes, nutrientes e incluso pesticidas, generando como consecuencia que los suelos sean deteriorados por la presencia de metales pesados, causando efectos a corto plazo en el desarrollo y crecimiento natural de las plantas.

Por otro lado, la presencia de metales pesados en los suelos agrícolas no solo se debe a las actividades humanas como la minería, el refinamiento, los efluentes industriales, etc, sino que también repercute en la morfología del suelo, siendo los metales más frecuentes como cadmio (Cd), plomo (Pb), mercurio (Hg), níquel (Ni), cobre (Cu), los cuales luego son absorbidos por plantones. A lo que puede traer graves consecuencias a la salud de la población mediante su consumo, pero se debe tener en cuenta que los síntomas de alguna intoxicación o enfermedad por la presencia de estas sustancias en el cuerpo, no son inmediatos, ya que estos tardan hasta incluso muchos años después (Londoño, Londoño y Muñoz, 2016, p.1).

En el 2021, el Perú logró exportar 558,514 toneladas de producción de palta, siendo el mercado internacional que más demandan las paltas peruanas los Países Bajos, sin embargo, las altas concentraciones de cadmio están causando una gran

preocupación en los exportadores, donde la Unión Europea (EU) realizó una serie de análisis a los embarques de paltas procedentes de nuestro país, donde los valores permitidos de cadmio sobrepasan los 0.050 mg/kg, generando una limitación en la exportación de las paltas (Fresh Fruit, 2022, párr.2).

Asimismo, la región de San Martín es un gran exportador de cacao en el país, sin embargo, este producto está reportando altas concentraciones de cadmio, lo cual genera limitaciones en la exportación del grano. Esto causó preocupación en la Unión Europea, por ello, en el 2019 impuso que se cumpla con el límite máximo de Cd según su normativa, estableciendo que para el caso de los chocolates cuando contengan una cantidad de cacao entre 50% y 70%, los granos no deben estar por encima de los límites máximos de 0.6 ppm y 0.8 ppm de Cd, pero los resultados oscilaron entre 0.8 ppm y 0.9 ppm (Agencia Peruana de Noticias, 2020, párr.6 ).

La región Lambayeque posee bastantes áreas de cultivo, de las cuales 2 764. 41 hectáreas están destinadas para el cultivo de palta; entre las zonas de producción están los distritos de Olmos, Motupe, Zaña, Jayanca, Pítipo y Mesones Muro; siendo el propósito principal de estos distritos la agroexportación de palta (Servicio Nacional de Sanidad Agraria de Perú, 2021). Por ende, los productos tienen que ser totalmente ecológicos y de alta calidad, para ello, es fundamental realizar un monitoreo continuo de metales pesados, puesto que se ha encontrado presencia de cadmio en las paltas conteniendo niveles de 0.054mg/kg por lote (Agencia Peruana de Noticias, 2022, párr.3).

Frente a esta problemática se formuló la siguiente pregunta: ¿Cuál de los dos tipos de biochar de tallos de algodón y cascarilla de arroz es más eficiente para la adsorción de Cd en suelos agrícolas?

La presente investigación se justifica, dado que durante el desarrollo se obtuvieron resultados que serán muy necesarios para la mitigación del problema que aqueja a la agricultura y las empresas agroexportadoras, a causa de la presencia de cadmio que está afectando los suelos agrícolas, sino que también los cultivos para la producción de alimentos no se consideran aptos en el consumo humano por la presencia excesiva de este metal; generando que las empresas perdieran credibilidad además de pérdidas económicas, por ello, como Ingenieros

Ambientales estamos en la obligación de brindar una solución a esta problemática para el bienestar de la población y evitar mayores pérdidas de nuestros suelos agrícolas de la región, con la propuesta de la aplicación de dos tipos diferentes de biochar en la adsorción de cadmio, como alternativa ecológica viable. En el caso de las cascarilla de arroz, se brindó un aprovechamiento, puesto que muchas veces es desechado sin ningún otro uso, además de tener una presencia abundante, lo que resulta de bajo costo y de fácil disponibilidad en nuestra región de Lambayeque; y en caso de los tallos de algodón, se reaprovecharon los residuos de poda que se realizaron en la Universidad César Vallejo de la Filial de Chiclayo, con la finalidad de evaluar su eficiencia e incentivar a la población para el cultivo de esta especie y una mayor abundancia.

Durante el desarrollo de este proyecto de investigación se planteó como objetivo general, determinar la eficiencia de la adsorción de cadmio en suelos agrícolas utilizando biochar de tallos de algodón y cascarilla de arroz, para el cumplimiento de este se proponen los siguientes objetivos específicos: Determinar la concentración de cadmio en el suelo agrícola, producir biochar a partir de los tallos de algodón y cascarilla de arroz para la adsorción de cadmio, aplicar biochar de tallos de algodón y cascarilla de arroz para la adsorción de cadmio en suelos contaminados y finalmente comparar la eficiencia de las diferentes dosis de biochar de tallos de algodón y cascarilla de arroz para la adsorción de cadmio en suelos agrícolas.

En el desarrollo de la investigación se consideró la siguiente hipótesis, la adsorción de cadmio en suelos agrícolas es muy eficiente con la aplicación de biochar de cascarilla de arroz.

## II. MARCO TEÓRICO

Para el sustento de nuestro proyecto de investigación, se consideró pertinente citar las siguientes investigaciones como antecedentes que validen nuestra investigación de acuerdo los siguientes autores:

Velásquez et. al y Bethancourt et.al (2019) respectivamente, en sus investigaciones su principal objetivo fue evaluar y caracterizar el biochar de cascarilla de arroz en la aplicación de suelos agrícolas, poseen propiedades fisicoquímicas, donde elaboraron por medio de la técnica de carbonización hidrotérmica un experimento con una temperatura no mayor de 200°C y la otra a 935°C en un tiempo no mayor de 24 h. En los resultados de la primera investigación se identificaron que el suelo posee nutrientes como: (75.4 – 281.4) Mn, (77.1 – 238.3) Fe, (327 - 3530) K y (3067 – 4467) N y en la segunda investigación la productividad del suelo aumentó de 20.69% a un 29.35%, evidenciándose que al aumentar el flujo de aire se generó un efecto positivo en las propiedades fisicoquímicas del biochar producido, asimismo en el caso del fósforo hubo un aumento de 0.43 a 1.12%. En ambas investigaciones se recomienda la aplicación de biochar de cascarilla de arroz, debido a que se considera un excelente potenciador y mejora los suelos agrícolas.

Bandara et.al y Abid et.al (2017) respectivamente, en las investigaciones utilizaron plantaciones de tomate para poder determinar la eficiencia de la aplicación de biocarbón con residuos de algodón, el método de elaboración fue por medio de la pirólisis con una temperatura de entre 300 y 500°C, realizaron experimentos de macetas en un tiempo no mayor a los 2 meses con muestras de 0,22, 55 y 110 t ha. Los resultados variaron en ambas investigaciones, en la primera la cantidad más eficiente para los tratamientos con biocarbón BC500-110 como lo indican las eficiencias de inmovilización para Ni, Mn y Cd que fueron 68, 92 y 42 %, respectivamente y en el caso de la segunda aumentó el peso seco de las raíces en un 36% y los brotes en 52% a diferencias de las muestras sin biochar. La concentración de 1% de biochar disminuyó a un 33% de Cd. La materia orgánica del suelo aumentó en 1,2 veces, el pH y la CE aumentaron un 5 y un 47% respectivamente. Concluyeron que el biochar de tallos de algodón alivió la

presencia de Cd y mejoró el crecimiento y pigmentaciones de los plantones de tomate.

Shen et.al (2019) y Gao et.al (2019), investigaron las temperaturas óptimas de pirólisis del biochar a base de la cascarilla de arroz para la adsorción de cadmio presente en suelos agrícolas, siendo ambos estudios del diseño experimental, donde se utilizaron diferentes temperaturas de las cuales estas oscilaban entre los 300 y 700 grados °C con una limitación de aire, demostrando que el biochar de cascarilla de arroz tiene una mejor capacidad de adsorción de Cd; con un tratamiento del 10% de biochar se obtuvo una reducción del 41% en 40 días y 80.8 % en 60 días, además se logró disminuir el 43.2% con una cantidad de biochar al 20%, por otro lado, la temperatura de 700° fue es el más adecuado para la remediación del suelo contaminado por Cd, debido a que la eliminación es más rápida y alta, y la inmovilización de este metal es más estable para la remediación ambiental.

Marrugo (2016) y Zhu et al. (2021), en sus investigaciones realizaron experimentos donde emplearon diferentes dosis de biocarbón (1.5% y 3%) y de cadmio (1, 2 y 4 mg/kg<sup>-1</sup>), además de los tratamientos se establecieron testigos sin biocarbón obtenidos a partir de la gasificación de biochar en una pequeña escala. La metodología aplicada incluyó la caracterización fisicoquímica, análisis termogravimétricos y una investigación experimental haciendo uso de pirólisis. La adición de biocarbón ayudó en la transformación de Cd a carbonato de Cd unido a la materia orgánica del suelo a los 30, 60 y 90 días. Concluyeron que la adición de biocarbón disminuye la disponibilidad de Cd en cualquier parte de las plantas de algodón además se identificó que la cascarilla de arroz posee un marcado efecto en la captación de minerales a diferencia del proceso de gasificación, donde la adición de biocarbón disminuye la disponibilidad de Cd en cualquier parte de las plantas de algodón.

Younis et al.(2016) y Younis et al.(2015) en sus investigaciones evaluaron el biochar derivados de los tallos de algodón para remediar suelos agrícolas mejorando la tolerancia de cadmio en cultivos de espinacas, ambas investigaciones emplearon el proceso de pirolisis a una temperatura de 450°C por un tiempo de 2h

con una limitación de oxígeno, una vez obtenido el producto se aplicó un 5% de biochar de tallos de algodón a los suelos de cada tratamiento, donde los resultados de la primera investigación demostraron una reducción en la absorción de Cd de 5,42 mg/kg<sup>-1</sup> a 3,45 mg/kg<sup>-1</sup> y en la segunda investigación hubo una reducción de Cd de 14,2 mg/kg<sup>-1</sup> a 8,4 mg/kg<sup>-1</sup>, concluyendo que la aplicación de este biochar podría ser eficaz para reducir la absorción y la toxicidad de Cd en las espinacas.

Castro (2018) en su investigación evaluó el proceso de pirolisis en atmósfera de CO<sub>2</sub> con la finalidad de determinar la viabilidad del biochar en la producción de energía, puesto que se ejecutó el proceso de pirolisis a una temperatura de 470°C utilizando una cantidad de 300g de biomasa, donde colocó las muestras a un reactor y realizó el proceso de purga con un caudal de 28 ml/min de CO<sub>2</sub>, teniendo el horno apagado con un tiempo de 10 minutos, pasado ese periodo se encendió el horno hasta llegar a la temperatura establecida dejando quemar la biomasa por un periodo de tiempo de 1 hora, al finalizar el procedimiento, continuo con el mismo flujo contante del CO<sub>2</sub> con un tiempo 10 min después del apagado del horno. Concluye que la temperatura óptima para la elaboración de biochar es de 470°C, debido a que observo una alta perdida de % de masa, por lo que al ser una pirolisis lenta no puede superar los 650°C.

A continuación, se le detalla las bases teóricas de nuestra investigación para la mejor comprensión de nuestros resultados que se presentarán posteriormente.

El cadmio es un metal pesado de color blanco plateado de alta densidad, donde la intoxicación por cadmio en el cuerpo humano causa alteraciones fisiológicas, los síntomas van a depender de la ruta de exposición y cantidad de dosis que se absorba. Por otro lado, el Cd se encuentra distribuido en la corteza terrestre en bajos niveles, siendo su comportamiento similar a la del Zinc, donde es más movable en un ambiente ácido (Ministerio de Salud, 2015, p.1).

La movilidad del cadmio en el suelo va a depender de diferentes factores como es la cantidad de la materia orgánica y pH, que varían según los componentes físicos del ambiente del lugar, donde este metal pesado se adhiere en la materia orgánica permaneciendo de manera inmóvil en los suelos (Agencia de sustancias tóxicas y registro de enfermedades, 2016, párr.12).

El cadmio es un elemento químico gravemente peligroso, persistente y móvil en los suelos para el desarrollo agrícola, debido a que este metal pesado tiene la capacidad de bioacumularse en cultivos, especialmente se almacena en las partes comestibles de las plantas, causando una pérdida en la productividad de los cultivos, lo cual, puede generar consecuencias en la salud de la población (García, 2019, p.12).

Además, el cadmio se encuentra presente en el suelo de origen natural por la erosión de las rocas, incendios forestales, formación de sal marina; donde se han evidenciado en las zonas costeras altos niveles. Así mismo, se originan también por las actividades antropogénicas como es la aplicación de fertilizantes fosforados en los suelos de cultivo generando el aumento de este metal (MINSA, 2015, p.1).

El efecto del cadmio constituye una gran preocupación en la salud pública, debido a que se encuentra entre las 10 sustancias por su alto grado de toxicidad, es por ello que la presencia de cadmio en la retención de metales en los alimentos, hace que las personas estén expuestas, si la presencia de este metal está en niveles muy bajos, a lo largo del tiempo se verá afectado el riñón, ya que, este se acumula en dicho órgano, también genera enfermedades de tipo respiratorias e incluso en algunas investigaciones se han determinado la posibilidad de producir cáncer al pulmón (EsSalud, 2020, p.4).

Los suelos agrícolas, son considerados toda aquella área que se destina para la siembra, por su alto grado de materia orgánica y su capacidad de retener nutrientes en todo tipo de cultivos o plantaciones, en tal sentido, el suelo debe ser fértil para facilitar el desarrollo y crecimiento del cultivo para luego ser aprovechados por el hombre (FAO, 2019, p.3).

De acuerdo al Decreto Supremo N°011- 2017-MINAM, en el que se instauraron los niveles de concentraciones de sustancias y parámetros biológicos, físico-químicos máximos permisibles en el suelo sin poner en riesgo a la salud de la población. De acuerdo al uso agrícola del suelo el máximo permisible inorgánicos, es decir los metales pesados, en el caso del cadmio (cd), es de 1,4 mg/kg (SINIA-MINAM, 2017, p.14).

La conductibilidad eléctrica (CE) del suelo es un indicador que permite conocer la concentración de sales solubles, además proporciona la capacidad de conducir la corriente eléctrica. Asimismo, al medir la CE del suelo se puede conocer de manera indirecta las propiedades físicas y químicas, como el contenido de salinidad, carbono orgánico, capacidad de retención de agua, entre otros; para los cultivos de paltas se recomienda una CE no mayor a 3dS/m, porque la planta es más sensible a la salinidad. La presencia excesiva de sales en el suelo es muy perjudicial en las plantas, debido al alto contenido de sodio. Los suelos alcalinos oscilan entre un pH de 8.5 a 10, lo cual favorece en la dispersión de coloides, lo que genera una obstrucción en los poros y pérdida en la estructura (Mayol et.al, 2012, párr.06).

La cascarilla de arroz carbonizada, se considera como una gran aportadora de elementos, los cuales por medios de investigaciones se han identificado que mejora la calidad del suelo y de las plantas, obteniendo mejores producciones. Según el Gore estimó que nuestra región produce 324 610 t de arroz al año, lo que se puede determinar una abundancia de cascarilla de arroz al que se pueden brindar un segundo uso como es el biochar, además de que este resulta beneficioso por la presencia de silicio, mejorando la materia orgánica del suelo y se considera como un excelente absorbente.

Las características de los tallos de algodón han demostrado que pueden tener un gran potencial en la absorción de Cadmio (Cd) en los suelos, debido a que presentan un contenido moderado de humedad, además este material cuenta con componentes como la lignina, celulosa y hemicelulosa, sin embargo, para obtener un mejor incremento en el rendimiento de biochar, es necesario contar con un elevado porcentaje de lignina debido a que tiene la capacidad de producir un aumento en la estabilidad térmica (Escalante, 2016).

El Biochar o biocarbón, es aquel producto elaborado a base de biomasa vegetal, aquel sólido que se puede producir a través de pirólisis a una temperatura entre los 300 a 700°C, estos se pueden almacenar por largo tiempo y con una reducción de oxígeno, para luego ser aplicado en el suelo como método de recuperación, además de ser buen captador de contaminantes. El biocarbón es de grano fino y



ligeramente poroso, se convierte en un excelente mejorador, además retiene nutrientes y agua (De la Cruz, 2018, p.8).

Durante el proceso de pirólisis se obtienen gases, aceites y sólidos como el carbón. Dicho proceso consiste en un calentamiento de la biomasa lignocelulósica en transformación con el propósito de aumentar la formación de carbón. Estos calentamientos de materia orgánica se realizan en sin presencia de aire con temperaturas que no superan los 700°C. Se desarrolla en 4 etapas, se inició con el secado, en el que se evapora el agua a una temperatura no mayor a los 200°C, luego la deshidratación, que es aquella descomposición de la celulosa y hemicelulosa, los cuales generan CO<sub>2</sub> y esto se realiza a una temperatura no mayor a los 300°C; la pirolítica, se da a una temperatura entre los 300 y 600°C descomposición de polímeros y finalmente la carbonización, se genera a una temperatura no mayor a los 700°C en los que se forma el carbón vegetal (Zhang, 2013).

La aplicación del biocarbón en el suelo, tiene la capacidad de mejora de los suelos, para que los suelos no se queden sin carbón y estos continúan siendo fértiles, se conservará la flora y microflora del suelo con la aplicación del suelo (The International Biochar Initiative, 2018), reduce los lixiviados, capacidad de intercambio catiónico, estabilización de acidez, retención de agua y presenta mejoras en los suelos agrícolas.

Tabla 1: *Producción de biochar en proceso de la pirolisis*

Tipo de Pirolisis	Temperatura (C°)	Tiempo	Rendimiento
			Biochar %
Lenta	450 - 650	45 – 60 min.	35
Convencional	500 - 600	5 – 30 min.	20
Rápida	300 - 1000	5 min	12

Fuente: (Gómez y Quevedo, 2020, p.21) y (Ahmad et.al, 2013, p.3)

De acuerdo a la tabla 1, la producción de biochar se ve influenciado por las diferentes condiciones de temperaturas, tiempo y rendimiento, siendo el tipo de pirolisis rápida el que genera una reducción en el rendimiento con un 12%, por ello, se recomienda más la pirolisis lenta, debido a que se desea obtener mayores rendimientos para impedir al máximo la generación de sub residuos, ya que limita la producción de biochar. Además, los biochars que son producidos a temperaturas bajas, son ácidos y los producidos a temperaturas altas, son alcalinos.

La adsorción de metales pesados se da en la aplicación del biochar al suelo, este consiste en la adherencia del contaminante al adsorbente, en la que el biochar se acerca a la superficie y el contaminante migra a través de los poros en donde ocurre la adsorción, este método es rentable por sus costos bajos además de ser un proceso de captación de contaminantes de los iones del metal, este procedimiento se debe a las propiedades del biochar para la adsorción. El proceso de adsorción de cadmio se produce gracias a las características del biocarbón como el pH, además de que beneficia a la fertilidad del suelo, mayor retención de agua y de carbono, ayudando en la mitigación del cambio climático, evitando la desertificación de los suelos y así poder mantener un buen desarrollo sostenible (Laynes, 2021, p.35).

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Tipo y diseño de investigación**

Nuestro estudio fue del tipo aplicada, porque al identificar el problema se realizó una búsqueda de información y estrategias con la finalidad de brindar alternativas de solución para contribuir con la ciudadanía. Según Lozada (2014), afirma que la investigación aplicada es directa a mediano plazo en la sociedad o en el sector productivo.

La investigación tuvo un enfoque cuantitativo, porque, se obtuvieron datos estadísticos con respecto a la eficiencia de los dos tipos de biochar, donde Monje (2011), manifiesta que es aquella que tiende a medir ciertos grados con exactitud del objeto de estudio, estas se apoyan en datos estadísticos para examinar sus variables, también es aquella que se esfuerza por comprender cómo funcionan todas las partes juntas para formar un todo.

El diseño fue experimental, porque se realizó la manipulación de la variable independiente para analizar el comportamiento de la variable dependiente, debido a que en la investigación se usaron dos tipos diferentes de biochar para la adsorción de cadmio, realizándose la manipulación de ambas variables donde se pudieron relacionar a partir de los resultados. La investigación fue cuasi experimental, debido a que se identificó un grupo de investigación para realizar comparaciones con un grupo de tratamiento relacionadas con una misma característica de un estudio base (Centro de Investigaciones de UNICEF, 2014).

#### **3.2. Variables y operacionalización**

Las variables de nuestra investigación fueron las siguientes:

Variable independiente: Biochar de tallos de algodón y cascarilla de arroz

Variable dependiente: Adsorción de cadmio

### **3.3. Población, muestra, muestreo, unidad de análisis**

#### **Población**

La población que se estudió en nuestra investigación comprende todos los suelos agrícolas contaminados. Para ello, Bautista, Fernández y Hernández (2014) manifiestan que es un conjunto de individuos que comparten particularidades y un problema en común que se toma como base para realizar una investigación (p.174).

#### **Muestra**

La muestra de la investigación fue el suelo agrícola contaminado por cadmio, donde se tomaron 6.5 kg de suelo agrícola divididos en 13 partes iguales, al cual se le agregaron dos tipos diferentes de biochar con las dosis del 10% y 20% de la muestra de suelo.

#### **Muestreo**

El muestreo del presente estudio fue no probabilístico por conveniencia porque en la obtención de la muestra se determinó el área de recolección de suelo, según las características que se cumplan para el estudio.

#### **Unidad de análisis**

La unidad principal de análisis de investigación de este proyecto fue el suelo agrícola contaminado con cadmio.

### **3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **Técnicas**

La técnica a utilizar en nuestro trabajo de investigación, fue la observación y experimentación, puesto que la investigación es de tipo experimental, además como investigadores tenemos la capacidad de manipular las variables de acuerdo a los tratamientos de suelo con el uso de biochar de tallos de algodón y cascarilla de arroz.

## **Instrumento de recolección de datos**

Los instrumentos que se usaron en el estudio fueron las fichas para la recolección y registro de datos como:

- Ficha de la elaboración del biochar: En esta ficha el evaluador brindo los datos recolectados, fecha y hora de la elaboración, cantidad de residuos orgánicos (kg), temperatura, tiempo (horas) y la cantidad de dosis obtenida de biochar.
- Ficha de monitoreo del suelo (Cada 5 días): Esta ficha se proporcionó al evaluador la recolectar datos, fecha y hora del monitoreo, parámetro de evaluación como pH, conductividad eléctrica, tiempo (días) y la cantidad de concentración de cadmio (mg/kg).

### **3.5. Procedimientos**

#### **a) Recolección de los residuos orgánicos**

Los dos tipos de recursos orgánicos, se recolectaron con anticipación como es el caso de:

- **Tallos de algodón:** Estos se recolectaron de las podas de algodón (Gossypium) de la Universidad César Vallejo - Chiclayo, después se colocaron a pre-secaron a temperatura ambiente y finalmente se trituraron para elaborar el biochar.
- **Cascarilla de arroz:** Estas se consiguieron de los molinos piladores, previamente secados a temperatura ambiente en la región Lambayeque, para mayor facilidad de elaboración del biochar.

#### **b) Producción de lo biochar**

Después de la recolección de la materia prima para la elaboración del biochar, se hizo uso del laboratorio, con ayuda de una mufla donde se aplicó el método de pirólisis.

- Antes de la elaboración del biochar, se calculó la humedad de la cascarilla de arroz y tallo de algodón, posteriormente se puso a secar en la estufa por 24 horas a una temperatura no mayor a 80°C, para luego aplicar la siguiente formula y determinar la humedad.

$$\%humedad = \frac{Peso\ inicial - Peso\ final}{Peso\ inicial} \times 100$$

- Para la elaboración del biochar, los materiales fueron sometidos a una temperatura no mayor de los 500°C por un tiempo aproximado de 1 hora en una mufla, a este procedimiento se le llama pirólisis, luego se dejó secar por un tiempo aproximado de 24 horas a temperatura ambiente y finalmente fue tamizado y almacenado en bolsas esterilizadas para ser adicionadas a las muestras de suelo contaminado con cadmio.

### c) Producción de muestras

Para la preparación de las muestras de suelo, se pesó la tierra agrícola y después se contamina con cadmio para luego ser los análisis fisicoquímicos correspondientes para determinar su pH, conductividad eléctrica y temperatura.

Tabla 2: *Cantidades de muestras de cadmio*

N° de muestras	Solución de Cd	Suelo agrícola (kg)
M <sub>1</sub>		
M <sub>2</sub>	0.4 mg/L	6.5 kg
M <sub>3</sub>		
M <sub>4</sub>		

Fuente: Elaboración propia

#### **d) Tratamientos**

Se aplicaron 4 tratamientos con tres repeticiones con uso de biochar de tallos de algodón y cascarilla de arroz, se describe a continuación:

- Tratamiento 1: Tres repeticiones de la muestra 1 + 500g de suelo agrícola y 10% de biochar de tallos de algodón.
- Tratamiento 2: Tres repeticiones de la muestra 2 + 500g de suelo y 20% de biochar de tallos de algodón.
- Tratamiento 3: Tres repeticiones de la muestra 1 + 500g de suelo agrícola y 10% de biochar de cascarilla de arroz.
- Tratamiento 4: Tres repeticiones de la muestra 2 + 500g de suelo y 20% de biochar de cascarilla de arroz.

#### **e) Análisis de adsorción**

Se tomaron muestras para ser analizadas en un determinado periodo (5,10 y 15 días), para determinar la eficiencia de los dos tipos de biochar, se realizaron los análisis en un laboratorio de suelos certificado.

#### **f) Eficiencia de los dos tipos de biochar**

Para determinar la eficiencia, después de haber obtenido los resultados de los análisis de cada tratamiento, determinamos el % de la adsorción de cadmio de los suelos agrícolas, para ello se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ eficiencia} = \frac{\text{Concentración inicial} - \text{Concentración final}}{\text{Concentración inicial}} \times 100$$

### **3.6. Método de análisis de datos**

En la presente investigación se realizó un análisis de recopilación de datos e información, basada en la utilización de biochar con tallos de algodón y cascarilla de arroz para absorber cadmio, por lo tanto, se usaron programas estadísticos para la interpretación de los resultados en gráficos y tablas.

### **3.7. Aspectos éticos**

En el presente proyecto de investigación se proporcionó la autenticidad en los resultados realizados por los laboratorios durante los análisis del suelo. También, se consideraron ciertos aspectos éticos, donde la información presentada fue recolectada de fuentes verídicas, respetando la propiedad intelectual y derechos de autor, para ello, se realizó el cumplimiento adecuado de las normas de citación, sin alterar o plagiar su información. Con este proyecto se pretende optar por otras alternativas ambientales con la finalidad de contribuir en la sociedad.



## IV. RESULTADOS

### Determinar la concentración de cadmio en el suelo agrícola

Para determinar la concentración inicial, se realizó la recolección del suelo agrícola de cultivos de palta; estos se encuentran ubicados en diferentes distritos de la región Lambayeque, del cual la problemática principal se desarrolla en Jayanca, donde se sacaron muestras de suelo para luego ser analizadas en un laboratorio especializado.

#### - Jayanca – lugar de toma de muestra

El sector de Jayanca es una zona que se ve influenciada por el valle La Leche, donde la agricultura es su principal actividad económica, sin embargo, el mayor problema de esta zona es la escasez de agua para el riego, asimismo los suelos son ligeramente salinos, con drenaje deficiente y su capacidad de retención de agua es baja. De igual manera, estas dificultades no son impedimento para el desarrollo y crecimiento de las plantas, especialmente en el invierno no se ven afectadas. Además, durante el verano la capa freática del suelo se ve elevada por la abundancia del recurso hídrico en las áreas altas del valle (Ministerio de Agricultura, 2014).



Figura 1: Tomas de muestras de suelo en Jayanca (Fuente: Google Earth).

- **Características de toma de muestra**

Se obtuvieron muestras representativas del fundo exclusivamente para el cultivo de paltas en Jayanca con el propósito de analizar las concentraciones de cadmio para luego ser tratados con dosis de biochar. Se tomaron 4 muestras, 1 al inicio, 2 al centro y 1 al final del terreno, se anexa las fichas del registro de datos del muestreo de suelos establecido por la Resolución Ministerial N° 085-2014-MINAM (p.39) (**Anexo 4**).

- **Concentración inicial de cadmio**

Tabla 3: *Determinación de la concentración inicial de cadmio*

<b>Concentración Inicial</b>	
<b>Muestra</b>	<b>Resultado de análisis "Cd" (ppm)</b>
Suelo	3.8

Fuente: Elaboración propia

Los resultados del análisis de suelo en el laboratorio, nos indicó que el contenido de cadmio en nuestras muestras de suelo sobrepasan los ECAS establecidos por el MINAM, es por ello que se procedió a la aplicación de la alternativa ambiental, para la adsorción de esta en beneficio de la agricultura Lambayecana.

- **Parámetros de la concentración inicial.**

De las muestras de suelo agrícola se procedió a medir el pH, conductividad eléctrica y temperatura inicial, la cual fue tomada periódicamente.

Tabla 4: *Principales parámetros del suelo agrícola contaminado*

<b>Muestra</b>	<b>pH</b>	<b>Conductividad eléctrica</b>	<b>Temperatura</b>
Inicial	8.7	0.01646 dS/m	27°C

Fuente: Elaboración propia

## **Producir biochar a partir de los tallos de algodón y cascarilla de arroz**

Para la producción de biochar se aplicó el método de la pirolisis, donde se utilizó una mufla de vacío (Muffle - 1200°C – Taisite); en la parte posterior de la mufla se contó con una conexión que permitió la entrada del gas inerte, donde estuvo conectado a un tanque de gas y un regulador, por medio de una manguera de alta presión. Una vez realizada la instalación del equipo, se realizó la descomposición térmica a una temperatura de 500°C durante 1 hora, donde se agregaron aproximadamente 85g de biomasa en un total de 10 capsulas, para luego ser colocadas en la mufla.

Antes de comenzar el procedimiento se debe de realizar una purga de gas cuando el reactor este apagado, con un caudal de 25 ml/min con una duración de 10 min, una vez que se complete el tiempo establecido se procede al encendido de la mufla hasta alcanzar los 500°C de temperatura con una permanencia de 1 h, asimismo para poder garantizar una reacción completa se tuvo que mantener un suministro continuo de CO<sub>2</sub> por un tiempo de 10 min luego de que la mufla se encuentre apagada.

Durante el proceso de pirolisis se necesita de la presencia de un gas inerte o no reactivo, por lo que, se requiere particularmente de N<sub>2</sub>, Ar, CO<sub>2</sub>, entre otros; para poder reducir el contenido de oxígeno, donde, el gas estará bajo determinadas condiciones de temperatura, presión y flujo (Castro, 2018, p.21). Muchos estudios han utilizado el Ar y N<sub>2</sub> como gas de purga, pero por su elevada pureza genera un aumento en el costo del proceso, además de ser un desafío trabajar con estos gases. Por ello, se requiere buscar alternativas innovadoras como es el uso de CO<sub>2</sub> que contribuye en la conservación del carbono (Jung et.al, 2020, p.2). A pesar, que el CO<sub>2</sub> causa el calentamiento global, su uso como gas de purga permite valorizar los residuos en valiosos productos, como es el biochar (Islam et.al, 2021, p.2). El CO<sub>2</sub> es un gas que ha demostrado generar características beneficiosas, debido a su medio de reacción eficiente para la degradación térmica en el proceso de pirolisis, donde, se resalta que el CO<sub>2</sub> realiza una descomposición más profunda en la biomasa a diferencia del N<sub>2</sub> (Shen, Ma y Ge, 2021, p.1).

Finalmente se dejó enfriar por un tiempo aproximado de 24 horas, para luego poder retirar las muestras de biochar y limpiar la mufla con el fin de retirar algún componente sobrante y pesar para identificar cuanto de biochar se obtuvo finalmente.



Figura 2: Proceso de pirolisis para obtener biochar

Tabla 5: *Cantidades de materia y biochar obtenidos*

<b>Biochar de cascarilla de arroz</b>	<b>Biochar de tallos de algodón</b>
Peso inicial: 760g	Peso inicial: 980g
Biochar obtenido: 680 g	Biochar obtenido: 635 g



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los datos obtenidos de la tabla 5, para la elaboración del biochar de tallos de algodón se utilizó una mayor cantidad de biomasa durante el proceso de pirólisis, debido a que este presentó una considerable cantidad de humedad (resina), a diferencia de la biomasa de cascarilla de arroz que su humedad fue mínima.

### Aplicación del Biochar de tallos de algodón y cascarilla de arroz

Después de la producción del biochar, tanto de cascarilla de arroz y tallos de algodón, se procedió a su aplicación para tratar las muestras suelo agrícola contaminadas con cadmio.

- Para un mejor manejo y control de las muestras al momento de analizar los datos, se realizó siguiente codificación:

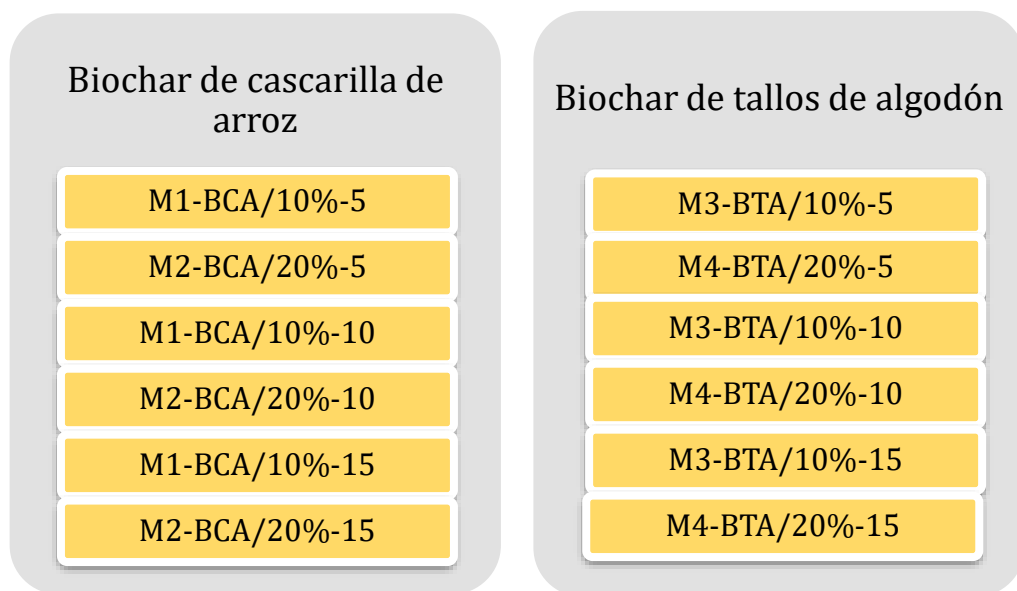


Figura 3: Codificación de muestras para analizar

- El biochar se aplicó por capas de la siguiente manera, para evitar que este se mezcle con el suelo y así poder obtener datos más precisos al momento de la toma de muestra. Se procedió a tomar una muestra de 500 gr de suelo, del cual, en la parte baja del macetero se agregó 400 gr, adicionándole el 10% o 20% correspondientemente de cada tipo de biochar y posteriormente se cubrió con 100 gr de suelo la parte superior del macetero.

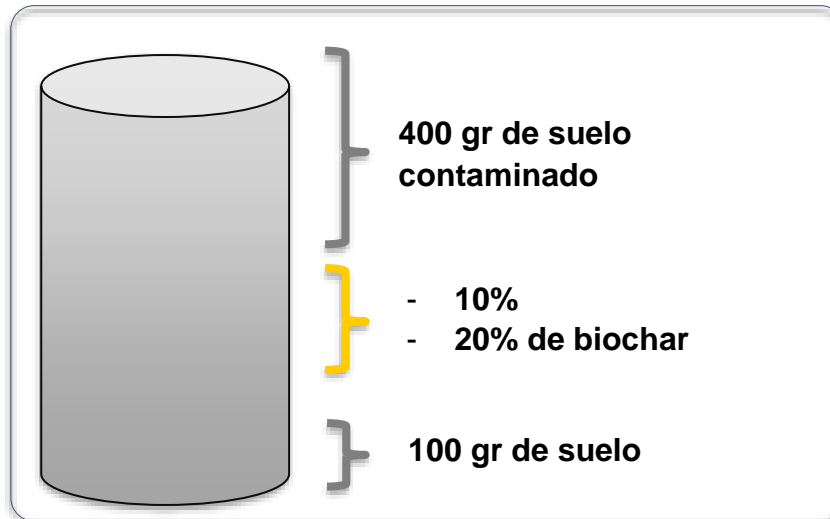


Figura 4: Aplicación del biochar por capas

- Después de haber aplicado el biochar para la adsorción, se procedió a realizar el riego, con agua destilada (cada 72 horas), a fin de evitar alguna alteración en los resultados y finalmente cada 5 días se tomo una muestra de 250 gr de suelo para enviar al laboratorio los análisis correspondientes.

### Comparar la eficiencia de las diferentes dosis de biochar de tallos de algodón y cascarilla de arroz para la adsorción de cadmio

Antes de comparar, se analizaron todos los resultados obtenidos por cada tipo de biochar, que permitió determinar el % y conocer cuál de los tipos de biochar es más eficiente para adsorber cadmio presente en el suelo agrícola.

Tabla 6: Adsorción del biochar de cascarilla de arroz

Adsorción Cd (ppm)/BCA				
Tratamiento	Concentración inicial	5 días	10 días	15 días
10%	3.8	2.82	2.57	1.67
20%		3.35	3.15	2.16

Fuente: Elaboración propia de acuerdo a los resultados del laboratorio

De acuerdo a los datos obtenidos y procesados en la tabla 6, se muestran una mayor adsorción de cadmio con el tratamiento del 10% de biochar de cascarilla de arroz durante un periodo de 15 días, logrando tener una concentración de 1.67 ppm, a diferencia del tratamiento de 20% en 15 días donde se obtuvo una concentración de un 2.16 ppm.

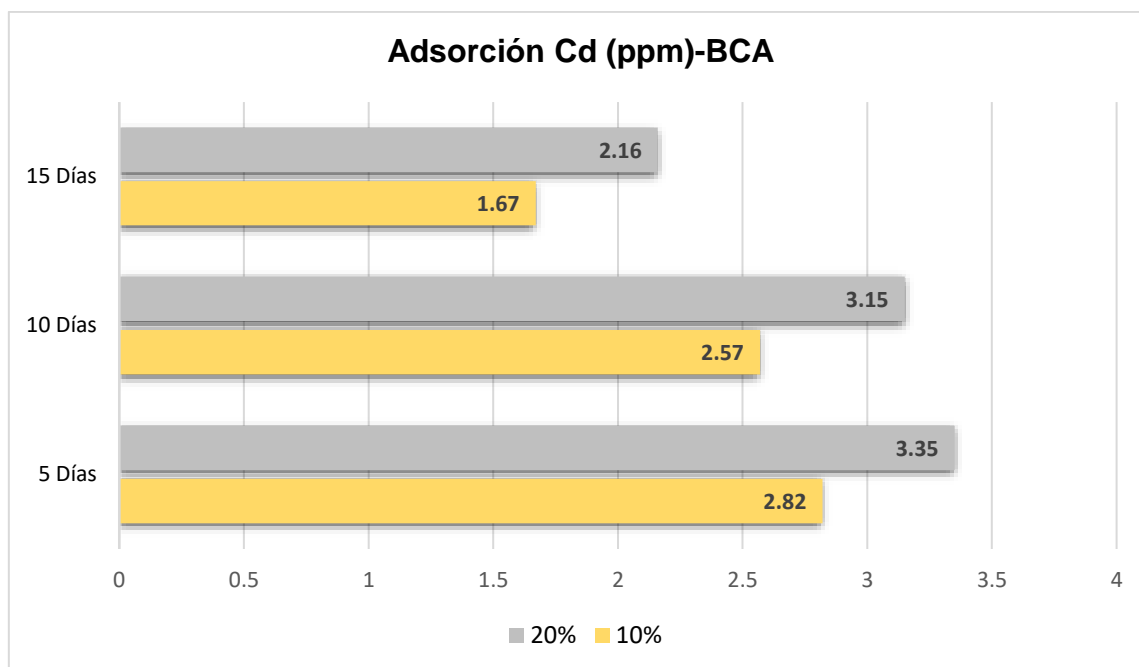


Figura 5: Adsorción del biochar de cascarilla de arroz

En la figura 5, se muestran las diferentes concentraciones de cadmio durante un tiempo de 5, 10 y 15 días, asimismo con un tratamiento de 10% y 20% de biochar de cascarilla de arroz, donde se muestra una mayor disminución de concentración de cadmio en el suelo agrícola en el periodo de 15 días para ambos tratamientos con biochar.

Tabla 7: Adsorción del biochar de tallos de algodón

Adsorción Cd (ppm)/BTA				
Tratamiento	Concentración inicial	5 días	10 días	15 días
10%	3.8	3.16	3.32	1.98
20%		3.40	3.20	2.35

Fuente: Elaboración propia de acuerdo a los resultados del laboratorio

En la tabla 7, se observa que el biochar tallos de algodón tuvo una mayor adsorción de cadmio durante un tiempo de 15 días con el tratamiento del 10% de biochar logrando tener una concentración de 1.98 ppm, a diferencia del tratamiento de 20% se obtuvo una concentración de un 2.35 ppm.

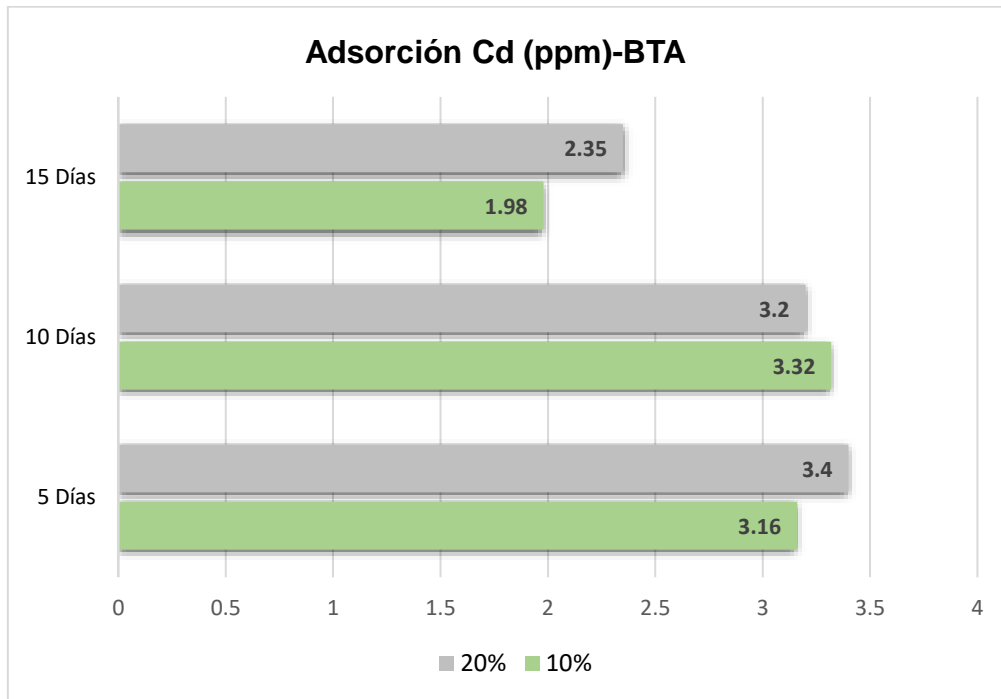


Figura 6: Adsorción del biochar de tallos de algodón

En la figura 6, se muestra las diferentes concentraciones de cadmio en un tiempo de 5, 10 y 15 días, con un tratamiento de 10% y 20% de biochar de tallos de algodón, donde se obtuvieron mejores resultados de disminución de concentración de cadmio en el suelo agrícola en el periodo de 15 días para ambos tratamientos de biochar con un 2.35 ppm y 1.98 ppm.

- **Eficiencia (%) de la adsorción de cadmio utilizando (BCA – BTA)**

Cálculo del % de eficiencia de adsorción de biochar de cascarilla de arroz y de tallos de algodón, aplicando la siguiente formula:

$$\% \text{ eficiencia} = \frac{\text{Concentración inicial} - \text{Concentración final}}{\text{Concentración inicial}} \times 100$$



Tabla 8: *Calculo de la eficiencia de la aplicación de los dos tipos de biochar's*

---

	$\% \text{ eficiencia} = \frac{3.8 - 1.67}{3.8} \times 100$
<b>10%</b>	$\% \text{ eficiencia} = 56.05$
<b>BCA</b>	
	$\% \text{ eficiencia} = \frac{3.8 - 2.16}{3.8} \times 100$
<b>20%</b>	$\% \text{ eficiencia} = 43.16$
	$\% \text{ eficiencia} = \frac{3.8 - 1.98}{3.8} \times 100$
<b>10%</b>	$\% \text{ eficiencia} = 47.89$
<b>BTA</b>	
	$\% \text{ eficiencia} = \frac{3.8 - 2.35}{3.8} \times 100$
<b>20%</b>	$\% \text{ eficiencia} = 38.16$

---

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 8, se realizaron los cálculos de acuerdo a la formula establecida para hallar el % de eficiencia de la adsorción del cadmio en el suelo, donde la concentración inicial del suelo agrícola fue de 3.8 ppm y la concentración final se tomó de los resultados de los 15 días de los dos tipos de biochar, permitiendo obtener los resultados demostrados en la tabla.

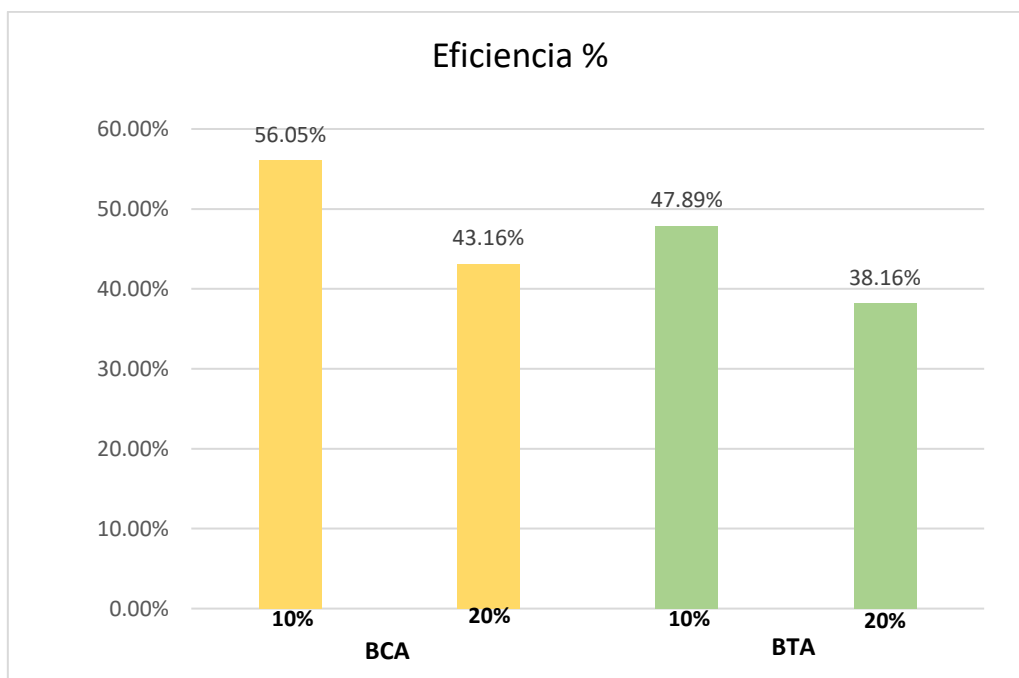


Figura 7: Eficiencia de la aplicación de los biochar's en %

De acuerdo a la figura 7, se logra identificar que el biochar tanto de cascarilla de arroz como tallos de algodón al 10% muestran una mayor eficiencia en la reducción de cadmio en el suelo; a diferencia del 20% que no muestran resultados tan alentadores, debido a que, a mayor cantidad de biochar genera saturación del suelo y no permite mayor adsorción. En el caso, del tipo de biochar de mayor eficiencia es el de cascarilla de arroz al 10%, ya que esta posee un alto contenido de silicio y lignina.

Tabla 9: Control de pH y C.E de las muestras de suelo

Parámetros de suelo			
Biochar de Cascarilla de Arroz - BCA			
Tratamiento	Días	pH	C.E (dS/m)
10%	5	8.61	0.0167
20%		8.38	0.0246
10%	10	8.13	0.0218
20%		8.04	0.0315
10%	15	8.08	0.0536
20%		8.22	0.0415

<b>Biochar de Tallos de Algodón - BTA</b>			
<b>Tratamiento</b>	<b>Días</b>	<b>pH</b>	<b>C.E (dS/m)</b>
<b>10%</b>	5	8.35	0.0354
<b>20%</b>		8.19	0.0340
<b>10%</b>	10	8.53	0.0225
<b>20%</b>		8.51	0.0175
<b>10%</b>	15	8.40	0.0196
<b>20%</b>		8.36	0.0232

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los análisis de parámetros de la tabla 9, nuestro suelo agrícola es alcalino, ya que oscilan entre 8 y 8.5, el cual tienen la capacidad de adsorción de metales pesados. Posteriormente, en las mediciones de C.E se consideraron en unidades dS/m; donde la C.E influye en la capacidad de ayudar a la raíz en la adsorción de nutrientes, en la que se recomienda no sobrepasar los 3 dS/m. Se puede decir que, a mayor conductividad eléctrica, mayor presencia de sales minerales. Acorde con los resultados obtenidos, se determina una relación, a menor cantidad de pH la conductividad eléctrica aumenta.

## V. DISCUSIÓN

Antes de determinar la concentración de cadmio presente el suelo agrícola, primero se realizó la contaminación con cadmio a 8kg de suelo agrícola con una solución de 0.4 mg/L de sales de cadmio, del cual se obtuvo un valor de 3.8 mg/kg como concentración inicial, a diferencia del Decreto Supremo N°011- 2017-MINAM, en el que se establece el estándar de calidad ambiental (ECA) para suelo agrícola contaminado por cadmio con una concentración de 1.4 mg/kg, por ende, el suelo estudiado sobrepasa el ECA permisible.

La investigación estuvo enfocada en comparar la eficiencia del biochar de tallos de algodón para la adsorción de cadmio, el cual fue producido a una temperatura de 500°C por un promedio de una hora. Con respecto a Younis (2015) y Younis (2016), de los cuales carbonizaron los tallos de algodón a una temperatura no mayor de los 450°, además en ambas investigaciones utilizaron un horno de acero en el que aseguran que no hay presencia de oxígeno, el cual no es certero, por lo tanto, en nuestra investigación se implementó el uso de un tanque de CO<sub>2</sub> como medio de purga y así desplace la presencia de oxígeno lo que rectifica la elaboración adecuada de biochar, basados en la teoría de Shen, Ma y Ge (2021) en que afirma que el CO<sub>2</sub> es un gas beneficioso, debido a su medio de reacción eficiente para la degradación térmica en el proceso de pirólisis, donde, se resalta que el CO<sub>2</sub> realiza una descomposición más profunda en la biomasa.

Se realizó el mismo procedimiento con respecto al tiempo, temperatura y el uso de un suministro para evitar la presencia de oxígeno y así se obtuvo biochar de cascarilla de arroz evitando que tenga alguna alteración, usando las mismas condiciones y suministros como el estudio de Castro (2018), en el que adicionó la información del caudal de gas noble que utilizó en la anterior discusión, basados en la producción de biochar utilizó; así mismo se pudo analizar que al citar Shen et.al. (2019), la producción de su biochar de cascarilla de arroz con limitación de oxígeno, pero sin uso de algún otro suministro en el que se certifique la poca presencia de oxígeno.

Para la adsorción de cadmio, se obtuvo buen resultado aplicando biochar de cascarilla de arroz a un 10% del total de la muestra de suelo a tratar, como en el caso de Shen et.al. (2019) tuvo una reducción del 41% con un tratamiento de 10% de biochar en un tiempo de 40 días a una temperatura de 500°C, en tanto en nuestra investigación en tan solo 15 días se obtuvo una reducción de 56.05% con el 10% de biochar a diferencia de Gao et.al. (2019) obtuvo una reducción de un 80.8 % 60 días, lo que no guarda relación y esto puede variar por los suministros y temperaturas de la elaboración del biochar.

La adsorción de cadmio con el 20% del total de biochar, no se obtienen resultados favorables en las investigaciones mencionadas anteriormente, por el exceso de tratamiento, a diferencia de Gao et. al (2019), en el que obtiene hasta un 43.2% de adsorción con una temperatura de 700°C, por tanto, la adsorción de cadmio varía de acuerdo a la temperatura que se carboniza la materia orgánica.

Para Younis et.al (2016) y Younis et.al (2015), trataron el suelo agrícola con biochar de tallos de algodón el cual se obtuvo una adsorción de 1.97 ppm con el 5% de biochar por un promedio de 52 días y 3.84 ppm en plazo de 40 días; a diferencia de nuestros resultados son 1.82 ppm con el 10% de biochar y 1.47 ppm con el 20% de biochar en un plazo de 15 días. Por otro lado, Bandara et.al (2017) y Abid et.al. (2017), que también trataron suelo agrícola, pero trabajaron con hectáreas obteniendo una adsorción de 42% en un tiempo no mayor a dos meses en el utilizó 1% de biochar en el que mejoró el crecimiento de los plantones mejora en los frutos, por lo tanto, se puede decir que a menor concentración de biochar, mayor es la absorción de cadmio.

## VI. CONCLUSIONES

1. Se determinó la concentración inicial de cadmio en el suelo agrícola de cultivos de palta recolectados de un fundo ubicado en el distrito de Jayanca – Lambayeque, cual le agregó 0.4 mg/L cloruro de cadmio haciendo un total de 3.8 ppm de cadmio en total.
2. La producción de biochar se realizó mediante el proceso de pirolisis lenta (500°C – 1h), al que se le adicionó de CO<sub>2</sub> como gas de purga para reducir en su mayor totalidad la presencia de oxígeno, permitiendo una mejor carbonización de la materia orgánica en lo que se obtuvo 680 g de biochar de cascarilla de arroz y 635 g de biochar de tallos de algodón.
3. La aplicación de biochar se dio por capas para una mejor separación y evitar que se mezcle con el suelo y surja alguna alteración en los resultados al tomar muestras de suelo y así se determinó la eficiencia de la aplicación del biochar.
4. Se obtuvo resultados positivos al tratar el suelo contaminado con cadmio, al ser tratados con el biochar de cascarilla de arroz la mayor reducción se dio a los 15 días de ser aplicado el tratamiento con un total del: 10% de biochar se redujo a 1.67 ppm de cadmio, al 20% de biochar se redujo 2.16 ppm; y al tratar con biochar de tallos de algodón la mayor reducción también se dio a los 15 días después de haber aplicado el tratamiento del: 10% de biochar redujo a 1.98 ppm y al 20% redujo a 2.35 ppm, donde se determina que el biochar de cascarilla de arroz es una solución ambiental viable para tratar suelos agrícolas contaminados con cadmio.
5. Finalmente se concluye que el tipo de biochar más eficiente fue M1-BCA/10%- 15 con adsorción del 56.05%, con un pH óptimo de 8.08 y una conductividad eléctrica 0.0536 dS/m, lo que permite un buen desarrollo del suelo en beneficio de los cultivos, además la Región Lambayeque cuenta con abundancia de esta materia prima que posee un gran potencial de silicio.

## **VII. RECOMENDACIONES**

1. Se recomienda que próximas investigaciones, utilicen estas dos alternativas de solución para tratar suelos contaminados con otro tipo de metal y determinar si cuentan con la misma o mejor capacidad de adsorción, el cual beneficiaría a los agricultores que tengan problemas con el exceso de metales en sus tierras de cultivo de nuestra región e incluso de nuestro país.
2. En próximos estudios, relacionados con el uso de biochar, se les recomienda realizar pruebas de NPK para identificar los beneficios adicionales que le aportarían al suelo en beneficios de los cultivos.
3. Se sugiere que para la elaboración del biochar a gran escala, se realice con un equipo de mayor capacidad y se compruebe la eficiencia del biochar con el uso de otro tipo de gases nobles.

## REFERENCIAS

ABID, Muhamamad [et al]. Biochar increased photosynthetic and accessory pigments in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants by reducing cadmium concentration under various irrigation waters. *Environ Sci Pollut Res*, 2017. DOI 10.1007/s11356-017-9866-8. Disponible en:

<https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2s2.085027031269&origin=reflist&sort=plff&src=s&st1=biochar+cotton%2c+cadmium%2c+soil&sid=2922d52d207ede4c40e73fc61d327dd&sot=b&sdt=b&sl=44&s=TITLEABSKEY%28biochar+cotton%2c+cadmium>

AGENCIA de sustancias tóxicas y registro de enfermedades. Resumen de Salud Pública: Cadmio (Cadmium) [en línea]. ATSDR, Estados Unidos, 6 de mayo de 2016. [Fecha de consulta: 30 de junio 2022]. Disponible en: [https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs5.html#:~:text=Respirar%20aire%20con%20niveles%20muy,altos%20puede%20producir%20enfermedad%20renal](https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs5.html#:~:text=Respirar%20aire%20con%20niveles%20muy,altos%20puede%20producir%20enfermedad%20renal).

AGENCIA peruana de noticias - ANDINA. Estudio logra reducir nivel de cadmio en el cacao de San Martín [en línea]. Lima: Noviembre de 2020. [Fecha de consulta: 1 de julio 2022]. Disponible en: <https://andina.pe/agencia/noticia-excelente-noticia-estudio-logra-reducir-nivel-cadmio-el-cacao-san-martin-822059.aspx>.

AGENCIA peruana de noticias – ANDINA. Senasa evalúa caso de palta de Lambayeque rechazada por Holanda tras detectar cadmio. [en línea]. Lima: Marzo de 2022. [Fecha de consulta: 1 de julio 2022]. Disponible en: <https://andina.pe/agencia/noticia-senasa-evalua-caso-palta-lambayeque-rechazada-holanda-tras-detectar-cadmio-886721.aspx>.

AHMAD, Mahtab et.al . Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: A review. *Chemosphere*, vol. 99, pp. 19 – 33, noviembre 2013. ISSN: 1879-1298. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2013.10.071. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/259107908\\_Biochar\\_as\\_a\\_sorbent\\_for\\_contaminant\\_management\\_in\\_soil\\_and\\_water\\_A\\_review](https://www.researchgate.net/publication/259107908_Biochar_as_a_sorbent_for_contaminant_management_in_soil_and_water_A_review)

BANDARA, Tharanga et.al (2017). Eficacia de la biomasa leñosa y el biocarbón



para aliviar la biodisponibilidad de metales pesados en suelos serpenteantes. Disponible en: [https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84975138429&origin=reflist&sort=plf-f&src=s&st1=biochar+cotton%2c+cadmium%2c+soil&sid=2922d52d207edde4c40e73fc61d327dd&sot=b&sdt=b&sl=44&s=TITLE-ABS-KEY%28biochar+cotton%2c+cadmium%2c+soil%29&featureToggles=FEATURE\\_NEW\\_DOC\\_DETAILS\\_EXPORT:1](https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84975138429&origin=reflist&sort=plf-f&src=s&st1=biochar+cotton%2c+cadmium%2c+soil&sid=2922d52d207edde4c40e73fc61d327dd&sot=b&sdt=b&sl=44&s=TITLE-ABS-KEY%28biochar+cotton%2c+cadmium%2c+soil%29&featureToggles=FEATURE_NEW_DOC_DETAILS_EXPORT:1)

BAPTISTA, María, FERNÁNDEZ, Carlos, HERNÁNDEZ, Roberto. Metodología de la investigación [en línea]. 6ª ed. Mexico: McGRAW-HILL, 2014. Disponible en: <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf> ISBN: 978-1-4562-2396-0

BETHANCOURT, Geomara et.al (2019) Carbonización de biomasa: producción y caracterización de biocarbón a partir de cáscaras de arroz, 2019. International Engineering, Sciences and Technology Conference (IESTEC), p. 40 - 45, DOI: 10.1109/IESTEC46403.2019.00016. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8943766>

DE LA CRUZ, Lidia. Eficiencia del biochar a partir de residuos de poda para inmovilizar plomo en el suelo a nivel laboratorio UCV [en línea]. Lima: Universidad César Vallejo, 2018. [Fecha de consulta: 1 junio 2022]. Disponible en: [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/20520/DE\\_LA\\_CRUZ\\_CL.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/20520/DE_LA_CRUZ_CL.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

CASTRO, Diana. Evaluación del proceso de pirólisis aplicado al material lignocelulosico residual proveniente del pino Patula en atmosfera de dióxido de carbono. Bogota: Universidad Libre de Colombia, 2018. [Fecha de consulta: 05 octubre 2022]. Disponible en: <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/11025/TRABAJO%20DE%20GRADO%20FINAL%20DIANA%20CATHERINE%20CASTRO%20JIM%20C3%2089NEZ%20.pdf?sequence=1>

FRESH Fruit. Hallazgo de cadmio en lote de palta preocupa a los exportadores. [en línea]. Abril del 2022. [Fecha de consulta: 30 junio 2022]. Disponible en:

<https://freshfruit.pe/2022/04/03/hallazgo-de-cadmio-en-lote-de-palta-preocupa-a-los-exportadores/>

GAO, Li Yang et.al. Relative distribution of Cd<sup>2+</sup> adsorption mechanisms on biochars derived from rice straw and sewage sludge. *Sciencedirect*, vol.272, 2019. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852418313993>

GARCÍA, Jenifer. Comparación de la concentración de Cadmio en Plantaciones de Cacao en los distritos de Huicungo y San Martín de Alao - 2018. Tesis (Título profesional de Ingeniera Ambiental). Tarapoto: Universidad César Vallejo, 2019. [Fecha de consulta: 27 mayo 2022]. Disponible en: [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/39344/García\\_RJN.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/39344/García_RJN.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

GÓMEZ, Katalina, QUEVEDO, Nubia. Evaluación del biochar obtenido por pirólisis del retamo espinoso para remover cromo del agua. Tesis (Título profesional de Ingeniera Ambiental y Sanitaria). Bogotá: universidad de la Salle, 2022). [Fecha de consulta: 03 agosto 2022]. Disponible en: [https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=2868&context=ing\\_ambiental\\_sanitaria](https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=2868&context=ing_ambiental_sanitaria)

ISLAMA, Shahinoor, KWAK, Jin, NZEDIEGWU, Christopher et.al. Biochar heavy metal removal in aqueous solution depends on feedstock type and pyrolysis purging gas. *Environmental Pollution*, vol.281, julio 2021. ISSN: 0269-7491. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117094>

LAYNEZ, Flor. Remediación de suelos salinos contaminados con cadmio mediante biocarbón de la cascarilla de arroz (*Oryza sativa*) Perú, 2021. Tesis (Título profesional de Ingeniera Ambiental). Lima – Perú, 2021. [Fecha de consulta: 05 junio 2022]. Disponible en: [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/72350/Laynes\\_QFJ-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/72350/Laynes_QFJ-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

LONDOÑO, Luis, LONDOÑO, Paula y MUÑOZ, Gerardo. Los riesgos de los

metales pesados en la salud humana y animal. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, vol. 14, no. 2, 2016. DOI 10.18684/BSAA(14)145-153

LOZADA, José. Investigación Aplicada: Definición, Propiedad Intelectual e Industria. *Revista de divulgación científica de la Universidad Tecnológica Indoamérica* [en línea]. Diciembre 2014, vol. 3, nº. 1. [Fecha de consulta: 25 de octubre de 2012]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6163749> ISSN:1390-9592

MAYOL, Matías, COSTA, José, CABRIA, Fabián, APARICIO, Virginia. Relación entre la variabilidad espacial de la conductividad eléctrica y el contenido de sodio del suelo. *Scielo, Ciencia del suelo*, 2012. Disponible en: [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1850-20672012000200003](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672012000200003)

MARRUGO, Gloria (2015). Efectos de los cambios estructurales de diferentes biomásas pirolizadas, sobre las características del gas de síntesis, obtenido a partir de la gasificación del biochar – Colombia. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/56490/1017171447.2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

MINISTERIO de agricultura y riego - MIDAGRI. Programa presupuestal multisectorial 0089: «reducción de la degradación de los suelos agrarios» [en línea]. 2017. [Fecha de consulta: 01 de junio 2022]. Disponible en: <https://www.midagri.gob.pe/portal/download/programas-presupuestales/inf-programa/anexo2-pp89-2017.pdf>

MINISTERIO de Salud - MINSA. Guía de práctica clínica para el diagnóstico y tratamiento de la intoxicación por cadmio RM N° 757 - 2013/ MINSA. Biblioteca Central del Ministerio de Salud [en línea]. mayo de 2015. [Fecha de consulta: 4 junio 2022]. Disponible en: <http://bvs.minsa.gob.pe/local/MINSA/3244.pdf>

MINISTERIO del ambiente – MINAM. Guía para muestreo de suelos, RM N°085-2014-MINAM [en línea]. Marzo de 2014. [Fecha de consulta: 03 octubre 2022]. Disponible en: <https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/GUIA-PARA-EL-MUESTREO-DE-SUELOS>

MONJE, Carlos. Metodología de la investigación cuantitativa y cualitativa. Neiva: Universidad Surcolombiana, 2011. Disponible en: <https://www.uv.mx/rmipe/files/2017/02/Guia-didactica-metodologia-de-la-investigacion.pdf>

PANÉZ, Lizeth. Aplicación de biochar de restos Vegetales para la inhibición de labiodisponibilidad de Cadmio (Cd) en Suelos Contaminados -2017 [en línea]. Lima: Universidad César Vallejo, 2017. [Fecha de consulta: 10 junio 2022]. Disponible en: [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/32367/Panez\\_DL.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/32367/Panez_DL.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

RODRÍGUEZ, Dunia. Intoxicación ocupacional por metales pesados. Revista Médica de Santiago de Cuba [en línea]. Vol. 21, no. 12, diciembre de 2017. [Fecha de consulta: 2 junio 2022]. Disponible en: <http://www.medisan.sld.cu/index.php/san/article/view/1089/pdf>

SEGURO Social de Salud del Perú – EsSalud. Resolución de Gerencia General N°173-GG-ESSALUD-2020. Disponible en: [http://www.essalud.gob.pe/transparencia/pdf/informacion/RGG\\_0173\\_GG\\_ESSALUD\\_2020.pdf](http://www.essalud.gob.pe/transparencia/pdf/informacion/RGG_0173_GG_ESSALUD_2020.pdf)

SERVICIO Nacional de Sanidad agraria del Perú - SENASA. Lambayeque: Productores de palta listos para exportar a mercados internacionales. [en línea]. Marzo del 2021. [Fecha de consulta: 1 julio 2022]. Disponible en: <https://www.senasa.gob.pe/senasacontigo/lambayeque-productores-de-palta-listos-para-exportar-a-mercados-internacionales/>.

SHEN, Yafei, MA, Dachao, GE, Xinlei. CO<sub>2</sub>-looping in biomass pyrolysis or gasification. Sustainable Energy Fuels, pp. 1700-1729, junio 2017. ISSN: 2398-4902. DOI: <https://doi.org/10.1039/C7SE00279C>

SHEN, Zhengtao, FAN, Xiaoliang, HOU, Deyi, JIN, David, TSANG, Daniel y ALESSI, Daniel. Risk evaluation of biochars produced from Cd-contaminated rice straw and optimization of its production for Cd removal. Chemosphere, vol. 233, pp.

149-156, octubre 2019. ISSN 0045-6535. DOI 10.1016/J.CHEMOSPHERE.2019.05.238.

SINIA-MINAM, Decreto Supremo N°011- 2017 Estandares de calidad ambiental para suelo.p.14. Diciembre del 2017. [Fecha de consulta: 13 septiembre 2022]. Disponible en: <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-calidad-ambiental-eca-suelo-0>

INTERNATIONAL BIOCHAR INITIATIVE (2018). Standardized Product Definition and Product Testing Guidelines for Biochar 7 That Is Used in Soil. [Fecha de consulta: 09 de septiembre 2022]. Disponible en: [https://www.biochar-international.org/wp-content/uploads/2018/04/IBI\\_Biochar\\_Standards\\_V2.1\\_Final.pdf](https://www.biochar-international.org/wp-content/uploads/2018/04/IBI_Biochar_Standards_V2.1_Final.pdf)

VELAZQUES, Yasmin et.al (2019) Contracción nutrimental de biocarbón de cascarilla de arroz. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-73802019000200129](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802019000200129)

YOUNIS,Uzma, MALIK, Saeed, RIZWAN, Muhammad, QAYYUM, Muhammad, SHAH, Muhammad, REHMAN, Rabia, AHMAD, Niaz.Biochar enhances the cadmium tolerance in spinach (*Spinacia oleracea*) through modification of Cd uptake and physiological and biochemical attributes. *Environmental Science and Pollution Research* [en línea]. Vol. 23,no. 21,pp. 21385-21394, agosto de 2016. [Fecha de consulta: 30 junio 2022]. ISSN 1614-7499. DOI 10.1007/S11356-016-7344-3. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-016-7344-3>.

YOUNIS,Uzma, QAYYUM, Muhammad, SHAH, Hasnain, Raza, DANISH, Subhan, SHAHZAD, Ahmad, MALIK, Saeed y MAHMOOD, Seema.Growth, survival, and heavy metal (Cd and Ni) uptake of spinach (*Spinacia oleracea*) and fenugreek (*Trigonella corniculata*) in a biochar-amended sewage-irrigated contaminated soil. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* [en línea]. Vol. 178, no. 2, pp. 209-217,

abril de 2015. [Fecha de consulta: 30 de junio 2022]. ISSN 1522-2624. DOI 10.1002/JPLN.201400325. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/jpln.201400325>

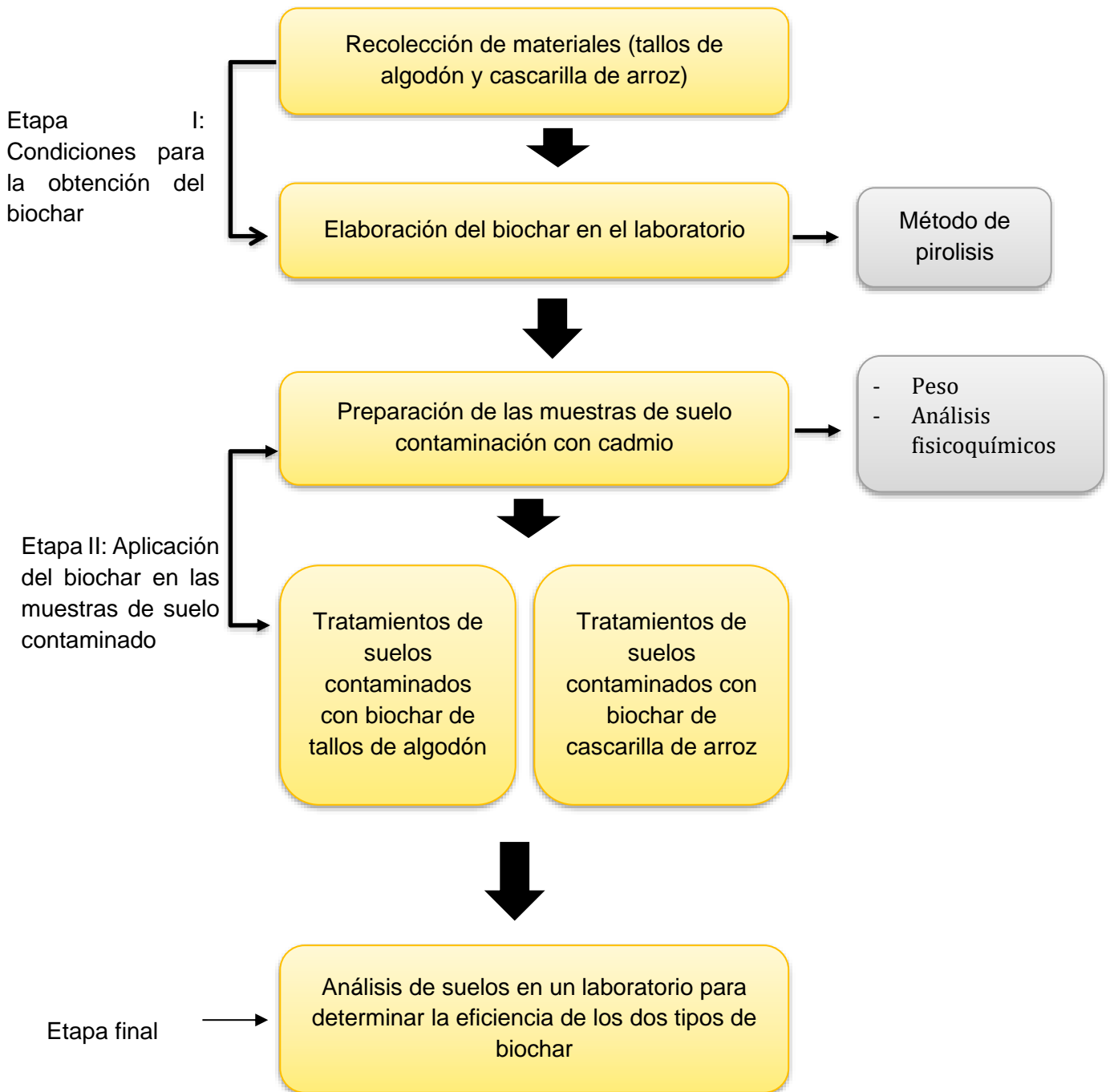
ZHU, Y.Q et.al (2021). Effect of biochar on soil cadmium content and cadmium uptake of cotton (*Gossypium hirsutum L.*) grown in northwestern – China. Applied Ecology and Environmental Research. p.3533-3549. DOI: [http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1905\\_35333549](http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1905_35333549). Disponible en: [https://aloki.hu/pdf/1905\\_35333549.pdf](https://aloki.hu/pdf/1905_35333549.pdf)

## ANEXOS

Anexo 01: Matriz de operacionalización de variables:

Variables de estudio	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicadores	Escala de medición
<b>VI: Biochar de tallos de algodón y cascarilla de arroz</b>	El biochar o biocarbón es el producto obtenido de la descomposición térmica de materia orgánica con escaso o limitado suministro de oxígeno (pirólisis), siendo este usado para fines agrícolas, como mejorador del suelo, debido a su capacidad de retener agua o almacenar carbono (Silva, 2018).	Se usarán tallos de algodón y cascarilla de arroz para la elaboración de biochar, sometiéndolo al método de pirólisis para obtener carbón vegetal	Característica de los residuos orgánicos	Masa (kg)	Razón
			Características de los biochars	Temperatura (T°) Tiempo (hrs)	
			Dosis de biochar	10% 20%	
<b>VD: Adsorción de cadmio</b>	La adsorción está relacionada con la transferencia de masa de un adsorbato con el suelo agrícola, donde se identifica el metal o contaminante a remover (De la Cruz, 2018).	Se medirá en diferentes dosis de biochar para ver qué tipo es más eficiente para la adsorción de Cd.	Concentraciones de Cd	Inicial (mg/kg) Final (mg/kg)	Razón
			Parámetros	pH	
				Conductividad eléctrica	
				Tiempo (Días)	

Anexo 02: Flujo grama de actividades:





Anexo 03: Recolección de tallos de algodón en la Universidad César Vallejo  
– Chiclayo



Anexo 4: Fichas de registro de muestreo

**Ficha de muestreo de suelo**

Datos generales:

<b>Nombre del sitio en estudio:</b> Fundo Jayanca	<b>Departamento:</b> Lambayeque
<b>Uso principal:</b> Cultivo de paltas	<b>Provincia:</b> Lambayeque

Datos del punto de muestreo:

<b>Nombre del punto de muestreo:</b> P1	<b>Operador:</b> Wilmer Ballena
<b>Coordenadas</b> X: 634295.17 Y: 9293919.14	<b>Descripción de la superficie:</b> Grumosa
<b>Temperatura:</b> 28°C	<b>Precipitación:</b> Sin precipitaciones
<b>Técnica de muestreo:</b> Muestras representativas del terreno	<b>Instrumentos usados:</b> Pala y envases para almacenamiento
<b>Profundidad final:</b> 20 cm	

Datos de la muestra:

<b>Fecha:</b>	14-10-2022
<b>Hora:</b>	9:30 am
<b>Profundidad:</b>	20 cm
<b>Color:</b>	Marrón
<b>Olor:</b>	Inoloro

## Ficha de muestreo de suelo

Datos generales:

<b>Nombre del sitio en estudio:</b> Fundo Jayanca	<b>Departamento:</b> Lambayeque
<b>Uso principal:</b> Cultivo de paltas	<b>Provincia:</b> Lambayeque

Datos del punto de muestreo:

<b>Nombre del punto de muestreo:</b> P2	<b>Operador:</b> Wilmer Ballena
<b>Coordenadas</b> X: 634317.00 Y: 9293940.00	<b>Descripción de la superficie:</b> Grumosa
<b>Temperatura:</b> 28°C	<b>Precipitación:</b> Sin precipitaciones
<b>Técnica de muestreo:</b> Muestras representativas del terreno	<b>Instrumentos usados:</b> Pala y envases para almacenamiento
<b>Profundidad final:</b> 20 cm	

Datos de la muestra:

<b>Fecha:</b>	14-10-2022
<b>Hora:</b>	9:38 am
<b>Profundidad:</b>	20 cm
<b>Color:</b>	Marrón
<b>Olor:</b>	Inoloro

## Ficha de muestreo de suelo

Datos generales:

<b>Nombre del sitio en estudio:</b> Fundo Jayanca	<b>Departamento:</b> Lambayeque
<b>Uso principal:</b> Cultivo de paltas	<b>Provincia:</b> Lambayeque

Datos del punto de muestreo:

<b>Nombre del punto de muestreo:</b> P3	<b>Operador:</b> Wilmer Ballena
<b>Coordenadas</b> X: 634306.00 Y: 9293946.00	<b>Descripción de la superficie:</b> Grumosa
<b>Temperatura:</b> 28°C	<b>Precipitación:</b> Sin precipitaciones
<b>Técnica de muestreo:</b> Muestras representativas del terreno	<b>Instrumentos usados:</b> Pala y envases para almacenamiento
<b>Profundidad final:</b> 20 cm	

Datos de la muestra:

<b>Fecha:</b>	14-10-2022
<b>Hora:</b>	9:45 am
<b>Profundidad:</b>	20 cm
<b>Color:</b>	Marrón
<b>Olor:</b>	Inoloro

## Ficha de muestreo de suelo

Datos generales:

<b>Nombre del sitio en estudio:</b> Fundo Jayanca	<b>Departamento:</b> Lambayeque
<b>Uso principal:</b> Cultivo de paltas	<b>Provincia:</b> Lambayeque

Datos del punto de muestreo:

<b>Nombre del punto de muestreo:</b> P4	<b>Operador:</b> Wilmer Ballena
<b>Coordenadas</b> X: 634328.00 Y:9293971.00	<b>Descripción de la superficie:</b> Grumosa
<b>Temperatura:</b> 28°C	<b>Precipitación:</b> Sin precipitaciones
<b>Técnica de muestreo:</b> Muestras representativas del terreno	<b>Instrumentos usados:</b> Pala y envases para almacenamiento
<b>Profundidad final:</b> 20 cm	

Datos de la muestra:

<b>Fecha:</b>	14-10-2022
<b>Hora:</b>	10:01 am
<b>Profundidad:</b>	20 cm
<b>Color:</b>	Marrón
<b>Olor:</b>	Inoloro

Anexo 5: Recolección de muestras de suelo – Jayanca



Anexo 6: Aplicación de biochar de cascarilla de arroz de 10% y 20%.



Anexo 7: Aplicación de biochar de tallos de algodón de 10% y 20%.



Anexo 8: Aplicación del biochar por capas en los maceteros





## Anexo 9: Resultados del laboratorio



EXPEDIENTE N° 201-2022/OHL

### INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : Flores Arevalo Jenifer  
Santa Maria Lozano Zully  
DIRECCIÓN : -  
FECHA DE RECEPCIÓN : Lima, 20 de octubre del 2022

PROYECTO : Adsorción de cadmio en suelos agrícolas utilizando biochar de tallos de algodón y cascarilla de arroz.  
UBICACIÓN : Departamento de Lambayeque  
FECHA DE EMISIÓN : Lima, 22 de octubre del 2022

#### REFERENCIAS DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : Suelo/T-M0  
DESCRIPCIÓN : -  
PRESENTACIÓN : 01 Bolsa de polietileno.  
CANTIDAD : 250 g

USEPA 3051

MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO TOTAL DE METALES PESADOS

#### CONDICIONES AMBIENTALES

TEMPERATURA : 19,9 °C  
TEMPERATURA DE LA MUESTRA : 18,9 °C  
H. RELATIVA : 45,1 °C

DENOMINACIÓN DE LA MUESTRA	RESULTADO DE ANALISIS Cd (%)
SUELO / T-M0	0,00038

#### Referencia:

USEPA 3051 2002 Método validado con suelo patron: PPS-46. Lot. No 249. Priority Pollutn T/CLP Inorganic Soils.

#### OBSERVACIONES:

- Muestra tomada e identificada por el solicitante.

  
ERICK DONALDO  
ZEGARRA BARANDA  
Reg. C.P. N° 112038  
OHL INGENIEROS S.A.C.

Dirección: Mz "C" Lt "4" Urb. Mi Casa - Comas - Lima



EXPEDIENTE N° 216-2022/OHL

### INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : Flores Arevalo Jenifer  
Santa Maria Lozano Zully

PROYECTO : Adsorción de cadmio en suelos agrícolas utilizando biochar de tallos de algodón y cascavilla de arroz.

DIRECCIÓN : --

UBICACIÓN : Departamento de Lambayeque

FECHA DE RECEPCIÓN : Lima, 17 de noviembre del 2022

FECHA DE EMISIÓN : Lima, 23 de noviembre del 2022

#### REFERENCIAS DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : Suelo / M-2 / BCA / 20% - 10

PRESENTACIÓN : 01 Bolsa de polietileno.

DESCRIPCIÓN : --

CANTIDAD : 250 g

USEPA 3051

MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO TOTAL DE METALES PESADOS

#### CONDICIONES AMBIENTALES

TEMPERATURA : 19,5 °C

H. RELATIVA : 45,0 °C

TEMPERATURA DE LA MUESTRA : 18,7 °C

DENOMINACIÓN DE LA MUESTRA	RESULTADO DE ANALISIS Cd (ppm)
Suelo / M-2 / BCA / 20% - 10	3.15

#### Referencia:

USEPA 3051 2002 Método validado con suelo patron-PPS-46. Lot. No 249. Priority Pollutin T/CLP Inorganic Soils.

#### OBSERVACIONES:

- Muestra tomada e identificada por el solicitante.

  
ERICK OSVALDO  
ZEGARRA ARANDA  
Reg. C.P. N° 112038  
OHL INGENIEROS S.A.C.

Dirección: Mz "C" Lt "4" Urb. Mi Casa - Comas - Lima  
Teléfonos: 0511 - 4978169 / 979023001



EXPEDIENTE N° 216-2022/OHL

### INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : Flores Arevalo Jenifer  
Santa Maria Lozano Zully

PROYECTO : Adsorción de cadmio en suelos agrícolas utilizando biochar de tallos de algodón y cascarilla de arroz.

DIRECCIÓN : --

UBICACIÓN : Departamento de Lambayeque

FECHA DE RECEPCIÓN : Lima, 17 de noviembre del 2022

FECHA DE EMISIÓN : Lima, 23 de noviembre del 2022

#### REFERENCIAS DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : Suelo / M-3 / BTA / 10% - 15

PRESENTACIÓN : 01 Bolsa de polietileno.

DESCRIPCIÓN : --

CANTIDAD : 250 g

USEPA 3051

MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO TOTAL DE METALES PESADOS

#### CONDICIONES AMBIENTALES

TEMPERATURA : 19,5 °C

H. RELATIVA : 45,0 °C

TEMPERATURA DE LA MUESTRA : 18,7 °C

DENOMINACIÓN DE LA MUESTRA	RESULTADO DE ANALISIS Cd (ppm)
Suelo / M-3 / BTA / 10% - 15	1,98

#### Referencia:

USEPA 3051 2002 Método validado con suelo patron: PPS-46. Lot. No 249. Priority Pollutn T/CLP Inorganic Soils.

#### OBSERVACIONES:

- Muestra tomada e identificada por el solicitante.

  
ERICK OSWALDO  
ZEGARRA BARANDÍA  
Reg. C.P. N° 112038  
OHL INGENIEROS S.A.C.

Dirección: Mz "C" Lt "4" Urb. Mi Casa - Comas - Lima



EXPEDIENTE N° 216-2022/OHL

### INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : Flores Arevalo Jenifer  
Santa Maria Lozano Zully

PROYECTO : Adsorción de cadmio en suelos agrícolas utilizando biochar de tallos de algodón y cascavilla de arroz.

DIRECCIÓN : --

UBICACIÓN : Departamento de Lambayeque

FECHA DE RECEPCIÓN : Lima, 17 de noviembre del 2022

FECHA DE EMISIÓN : Lima, 23 de noviembre del 2022

#### REFERENCIAS DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : Suelo / M-4 / BTA / 20% - 15

PRESENTACIÓN : 01 Bolsa de polietileno.

DESCRIPCIÓN : --

CANTIDAD : 250 g

USEPA 3051

MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO TOTAL DE METALES PESADOS

#### CONDICIONES AMBIENTALES

TEMPERATURA : 19,5 °C

H. RELATIVA : 45,0 °C

TEMPERATURA DE LA MUESTRA : 18,7 °C

DENOMINACIÓN DE LA MUESTRA	RESULTADO DE ANALISIS Cd (ppm)
Suelo / M-4 / BTA / 20% - 15	2.35

#### Referencia:

USEPA 3051 2002 Método validado con suelo patron: PPS-46. Lot. No 249. Priority Pollutn T/CLP Inorganic Soils.

#### OBSERVACIONES:

- Muestra tomada e identificada por el solicitante.

  
ERICK OSWALDO  
ZEGARRA BARANDÍA  
Reg. C.P. N° 112038  
OHL INGENIEROS S.A.C.

Dirección: Mz "C" Lt "4" Urb. Mi Casa - Comas - Lima



EXPEDIENTE N° 216-2022/OHL

### INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : Flores Arevalo Jenifer  
Santa Maria Lozano Zully

PROYECTO : Adsorción de cadmio en suelos agrícolas utilizando biochar de tallos de algodón y cascarilla de arroz.

DIRECCIÓN : --

UBICACIÓN : Departamento de Lambayeque

FECHA DE RECEPCIÓN : Lima, 17 de noviembre del 2022

FECHA DE EMISIÓN : Lima, 23 de noviembre del 2022

#### REFERENCIAS DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : Suelo / M-1 / BCA / 10% - 15

PRESENTACIÓN : 01 Bolsa de polietileno.

DESCRIPCIÓN : --

CANTIDAD : 250 g

USEPA 3051

MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO TOTAL DE METALES PESADOS

#### CONDICIONES AMBIENTALES

TEMPERATURA : 19,5 °C

H. RELATIVA : 45,0 %

TEMPERATURA DE LA MUESTRA : 18,7 °C

DENOMINACIÓN DE LA MUESTRA	RESULTADO DE ANALISIS Cd (ppm)
Suelo / M-1 / BCA / 10% - 15	1,67

#### Referencia:

USEPA 3051 2002 Método validado con suelo patron: PPS-46. Lot. No 249. Priority Pollutn T/CLP Inorganic Soils.

#### OBSERVACIONES:

- Muestra tomada e identificada por el solicitante.

  
ERICK OSWALDO  
ZEGARRA BARANDA  
Reg. C.P. N° 112038  
OHL INGENIEROS S.A.C.

Dirección: Mz "C" Lt "4" Urb. Mi Casa - Comas - Lima



EXPEDIENTE N° 216-2022/OHL

### INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : Flores Arevalo Jenifer  
Santa Maria Lozano Zully

PROYECTO : Adsorción de cadmio en suelos agrícolas utilizando biochar de tallos de algodón y cascarilla de arroz.

DIRECCIÓN : --

UBICACIÓN : Departamento de Lambayeque

FECHA DE RECEPCIÓN : Lima, 17 de noviembre del 2022

FECHA DE EMISIÓN : Lima, 23 de noviembre del 2022

#### REFERENCIAS DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : Suelo / M-4 / BTA / 20% - 10

PRESENTACIÓN : 01 Bolsa de polietileno.

DESCRIPCIÓN : --

CANTIDAD : 250 g

USEPA 3051

MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO TOTAL DE METALES PESADOS

#### CONDICIONES AMBIENTALES

TEMPERATURA : 19,5 °C

H. RELATIVA : 45,0 °C

TEMPERATURA DE LA MUESTRA : 18,7 °C

DENOMINACIÓN DE LA MUESTRA	RESULTADO DE ANALISIS Cd (ppm)
Suelo / M-4 / BTA / 20% - 10	3.20

#### Referencia:

USEPA 3051 2002 Método validado con suelo patron: PPS-46. Lot. No 249. Priority Pollutn T/C/LP Inorganic Soils.

#### OBSERVACIONES:

- Muestra tomada e identificada por el solicitante.

ERICK OSVALDO  
FLORES AREVALO  
Reg. C.P.N° 113639  
OHL INGENIEROS S.A.C.

Dirección: Mz "C" Lt "4" Urb. Mi Casa - Comas - Lima



EXPEDIENTE N° 216-2022/OHL

### INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : Flores Arevalo Jenifer  
Santa Maria Lozano Zully

PROYECTO : Adsorción de cadmio en suelos agrícolas utilizando biochar de tallos de algodón y cascarrilla de arroz.

DIRECCIÓN : --

UBICACIÓN : Departamento de Lambayeque

FECHA DE RECEPCIÓN : Lima, 17 de noviembre del 2022

FECHA DE EMISIÓN : Lima, 23 de noviembre del 2022

#### REFERENCIAS DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : Suelo / M-1 / BCA / 10% - 10

PRESENTACIÓN : 01 Bolsa de polietileno.

DESCRIPCIÓN : --

CANTIDAD : 250 g

USEPA 3051

MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO TOTAL DE METALES PESADOS

#### CONDICIONES AMBIENTALES

TEMPERATURA : 19,5 °C

H. RELATIVA : 45,0 °C

TEMPERATURA DE LA MUESTRA : 18,7 °C

DENOMINACIÓN DE LA MUESTRA	RESULTADO DE ANALISIS Cd (ppm)
Suelo / M-1 / BCA / 10% - 10	2.57

#### Referencia:

USEPA 3051 2002 Método validado con suelo patron: PPS-46. Lot. No 249. Priority Pollutn T/CLP Inorganic Soils.

#### OBSERVACIONES:

- Muestra tomada e identificada por el solicitante.

ERICK OSWALDO  
ZEGARRA ARANDA  
Reg. C.P. N° 112039  
OHL INGENIEROS S.A.C.

Dirección: Mz "C" Lt "4" Urb. Mi Casa - Comas - Lima



EXPEDIENTE N° 216-2022/OHL

### INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : Flores Arevalo Jenifer  
Santa Maria Lozano Zully

PROYECTO : Adsorción de cadmio en suelos agrícolas utilizando biochar de tallos de algodón y cascavilla de arroz.

DIRECCIÓN : --

UBICACIÓN : Departamento de Lambayeque

FECHA DE RECEPCIÓN : Lima, 17 de noviembre del 2022

FECHA DE EMISIÓN : Lima, 23 de noviembre del 2022

#### REFERENCIAS DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : Suelo / M-3 / BTA / 10% - 10

PRESENTACIÓN : 01 Bolsa de polietileno.

DESCRIPCIÓN : --

CANTIDAD : 250 g

USEPA 3051

MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO TOTAL DE METALES PESADOS

#### CONDICIONES AMBIENTALES

TEMPERATURA : 19,5 °C

H. RELATIVA : 45,0 °C

TEMPERATURA DE LA MUESTRA : 18,7 °C

DENOMINACIÓN DE LA MUESTRA	RESULTADO DE ANALISIS Cd (ppm)
Suelo / M-3 / BTA / 10% - 10	3.32

#### Referencia:

USEPA 3051 2002 Método validado con suelo patron: PPS-46. Lot. No 249. Priority Pollutn T/C/LP Inorganic Soils.

#### OBSERVACIONES:

- Muestra tomada e identificada por el solicitante.

  
ERICK OSVALDO  
ZEGARRA BARAHONA  
Reg. C.P. N° 112039  
OHL INGENIEROS S.A.C.

Dirección: Mz "C" Lt "4" Urb. Mi Casa - Comas - Lima





EXPEDIENTE N° 216-2022/OHL

### INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : Flores Arevalo Jenifer  
Santa Maria Lozano Zully

PROYECTO : Adsorción de cadmio en suelos agrícolas utilizando biochar de tallos de algodón y cascavilla de arroz.

DIRECCIÓN : --

UBICACIÓN : Departamento de Lambayeque

FECHA DE RECEPCIÓN : Lima, 17 de noviembre del 2022

FECHA DE EMISIÓN : Lima, 23 de noviembre del 2022

#### REFERENCIAS DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : Suelo / M-2 / BCA / 20% - 15

PRESENTACIÓN : 01 Bolsa de polietileno.

DESCRIPCIÓN : --

CANTIDAD : 250 g

USEPA 3051

MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO TOTAL DE METALES PESADOS

#### CONDICIONES AMBIENTALES

TEMPERATURA : 19,5 °C

H. RELATIVA : 45,0 °C

TEMPERATURA DE LA MUESTRA : 18,7 °C

DENOMINACIÓN DE LA MUESTRA	RESULTADO DE ANALISIS Cd (ppm)
Suelo / M-2 / BCA / 20% - 15	2.16

#### Referencia:

USEPA 3051 2002 Método validado con suelo patron:PPS-46. Lot. No 249. Priority Pollutn T/C/LP Inorganic Soils.

#### OBSERVACIONES:

- Muestra tomada e identificada por el solicitante.

  
ERICK OSVALDO  
ZEGARRA BARAHONA  
Reg. C.P. N° 112039  
OHL INGENIEROS S.A.C.

Dirección: Mz "C" Lt "4" Urb. Mi Casa - Comas - Lima



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

### **Declaratoria de Autenticidad del Asesor**

Yo, MONTEZA ARBULÚ CÉSAR AUGUSTO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - CHICLAYO, asesor de Tesis titulada: "Adsorción de cadmio en suelos agrícolas utilizando biochar de tallos de algodón y cascarilla de arroz", cuyos autores son FLORES AREVALO JENIFER, SANTA MARIA LOZANO ZULLY, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 7.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

CHICLAYO, 30 de Noviembre del 2022

<b>Apellidos y Nombres del Asesor:</b>	<b>Firma</b>
MONTEZA ARBULÚ CÉSAR AUGUSTO <b>DNI:</b> 16681280 <b>ORCID:</b> 0000-0003-2052-6707	Firmado electrónicamente por: MARBULUCA el 12- 12-2022 09:52:31

Código documento Trilce: TRI - 0463137