



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

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

**Revisión sistémica: remediación de suelos salinos contaminados  
con cadmio mediante biocarbón de la cascarilla de arroz (*Oryza  
sativa*) Perú, 2021**

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

**AUTORA:**

Laynes Quevedo, Flor Johana (ORCID - 0000-0003-2877-8407)

**ASESOR:**

MSc. Quijano Pacheco Wilber Samuel (ORCID -0000-0001-7889-7928 )

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Tratamiento y gestión de los residuos

LIMA — PERÚ

2021

## **Dedicatoria**

A mis padres que me dieron la vida y les debo todo.

A mi hija Luciana, hermanos y mi adorado esposo Luis Rojas por su incondicional apoyo a fin de cumplir mi meta trazada.

## **Agradecimiento**

A Dios que siempre está conmigo y es mi guía.

A mi nueva casa de estudios Universidad César Vallejo.

A mi docente MSc. Wilber Samuel Quijano Pachecho por brindarme sus conocimientos que contribuyeron a lograr mi objetivo y culminar de manera correcta en el proceso de la investigación; a todos quedo muy agradecida.

## Índice de contenidos

Carátula .....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento .....	iii
Índice de contenidos .....	iv
Índice de tablas.....	vi
Índice de gráficos y figuras.....	vii
Resumen .....	viii
Abstract.....	ix
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MARCO TEÓRICO .....	5
III. METODOLOGÍA .....	29
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	29
3.2. Categorías, subcategorías y matriz de categorización.....	29
3.3. Escenario de estudio.....	30
3.4. Participantes.....	30
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	31
3.6. Procedimiento .....	31
3.7. Rigor científico .....	34
3.8. Método de análisis de datos.....	34
3.9. Aspectos éticos.....	35
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	36
V. CONCLUSIONES.....	54

VI. RECOMENDACIONES.....	55
REFERENCIAS .....	56
ANEXOS.....	69

## Índice de tablas

Tabla 1. Antecedentes de la investigación .....	5
Tabla 2. Criterios de selección de artículos potenciales. ....	322
Tabla 3. Producción de biocarbón de cascarilla de arroz .....	36
Tabla 4. Grado de acuerdo entre el parámetro de temperatura y los autores de la muestra.....	41
Tabla 5. Grado de acuerdo entre el parámetro de tiempo y los autores de la muestra. ....	42
Tabla 6. Características de adsorción del biocarbón de la cáscara de arroz que influyen en la adsorción de cadmio en suelos salinos. ....	43
Tabla 7. Grado de acuerdo entre el contenido de carbono y los autores de la muestra.....	45
Tabla 8. Grado de acuerdo entre el contenido de hidrógeno y los autores de la muestra.....	46
Tabla 9. Grado de acuerdo entre el área superficial y los autores de la muestra. ....	47
Tabla 10. Grado de acuerdo entre el pH y los autores de la muestra. ....	48
Tabla 11. Grado de acuerdo entre la eficiencia de remoción de cadmio y los autores de la muestra. ....	51

## Índice de gráficos y figuras

Figura 1. Procesos del suelo y acumulación de sal en capas de zonas radiculares de suelos sódicos .....	21
Figura 2. Porosidad de cáscaras de arroz y de biochar derivado de cáscara de arroz.....	22
Figura 3. Relación de macronutrientes entre la materia prima y su respectivo biochar .....	23
Figura 4. Biochar como tecnología de emisión negativa. ....	24
Figura 5. Flujograma de los procedimientos de la revisión sistémica. ....	33
Figura 6. Temperatura de producción de biocarbón según los artículos revisados. ....	38
Figura 7. Tiempo de producción de biocarbón según los artículos revisados. ....	38
Figura 8. Técnica de producción de biocarbón según los artículos revisados .....	39
Figura 9. Rendimiento de productos de pirólisis .....	40
Figura 10. Histograma de la temperatura .....	41
Figura 11. Histograma de la tiempo.....	42
Figura 12. Porosidad de biocarbón crudo y modificado con cistamina.....	45
Figura 13. Histograma de la composición de carbono en el biocarbón.....	46
Figura 14. Histograma de la composición de hidrógeno en el biocarbón.....	47
Figura 15. Histograma del área superficial en el biocarbón .....	48
Figura 16. Histograma del pH en el biocarbón.....	49
Figura 17. Modificación química de biochar con Permanganato de potasio.....	50
Figura 18. Modificación química de biochar con cistamina .....	51
Figura 19. Histograma de la eficiencia del biocarbón para la remoción de cadmio. ....	52

## Resumen

El presente trabajo tuvo como objetivo realizar una revisión bibliográfica para evaluar la remediación de suelos salinos contaminados con cadmio mediante biocarbón de la cascarilla de arroz. Es aplicada, enfoque cualitativo, de revisión sistémica con la metodología narrativa, de diseño no experimental. Los resultados obtenidos de la revisión de los 40 artículos indexados mostraron para la metodología del proceso de producción del biocarbón, siendo el más utilizado la pirólisis, con su variación lenta; donde en 78% de los artículos desarrollaron una temperatura promedio de 600 °C de una variación de 200 °C a 1000 °C y el tiempo estimado fue 55 minutos de una variación de 15 a 240 minutos, asimismo el equipo mayormente empleado fue el horno de mufla. Se concluye que 17 artículos de la muestra han descrito la descontaminación por cadmio, los cuales en un 47.1% indicaron que la remoción fue menor a 50%, mientras que el 52.9% sostuvieron niveles de remoción mayores de 50%, asimismo algunos autores que emplearon los productos sin modificación química, mientras que, otros utilizaron diferentes químicos para potenciar la capacidad de absorción de biocarbón, para ambos casos se requirió un tiempo de contacto variable desde 30 minutos hasta inclusive 180 días con un porcentaje promedio de remoción de 49.8%.

**Palabras claves:** Cadmio, biocarbón, cascarilla de arroz, suelos salinos.



## **Abstract**

The aim of this study was to carry out a literature review to evaluate the remediation of saline soils contaminated with cadmium by biofuel from rice husks. It is applied, qualitative approach, systemic review with narrative methodology, nonexperimental design. The results obtained from the review of the 40 indexed articles show for the methodology of the biofuel production process, being the most used pyrolysis, with its slow variation; where in 78% of the articles developed an average temperature of 600 °C from a variation of 200 °C to 1000 °C and the estimated time is 55 minutes from a variation of 15 to 240 minutes, the most commonly used equipment is the muffle oven. It is concluded that 17 articles in the sample have described cadmium decontamination, which in 47.1% indicate that removal is less than 50%, while 52.9% maintain levels of removal greater than 50%, also some authors using the products without chemical modification, while others use different chemicals to enhance the absorption capacity of biofuel, For both cases, a variable contact time was required from 30 minutes to even 180 days with an average removal percentage of 49.8%.

**Keywords:** Cadmium, biochar, rice husk, saline soil

## I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo agroindustrial genera consecuencias desfavorables para la naturaleza, lo que también hace que sea vulnerable frente al deterioro ambiental, sin embargo, dentro de la misma se puede obtener subproductos potenciales para las soluciones de los problemas, efectuando un agro sistema circular para la adaptación al cambio climático. Un ejemplo de esta realidad es la industria arroceras, tanto en el cultivo y la generación de residuos que es causante y a la vez afectado por la salinización y la contaminación de cadmio, como en la producción de biocarbón de la cascarilla que es el remediador de cadmio en los suelos salinos (Obando et al., 2019).

En el Perú es el tercer país productor de arroz con más de tres millones de toneladas de arroz cáscara con sistemas de siembra por trasplante y riegos de inundación durante todo el cultivo cuyos volúmenes asignados por hectárea varían de 12,000 a 20,000 m<sup>3</sup>/ha, en los valles arroceros de la costa y selva alta (Heros, 2018), así tan solo durante el período enero a mayo de 2020 se mostró un crecimiento de la producción en 18,7% con 1 011 mil toneladas de arroz pilado, respecto al mismo período del año anterior que tuvo una producción de 852 mil toneladas (Romero, 2020), cuyo rendimiento productivo promedio es de 8.100 kilos de arroz cáscara por hectárea, siendo superado solo por Estados Unidos y Uruguay (León, 2020).

La generación de cáscara de arroz representa entre el 20 - 25 % de la producción total del cultivo, ocasionando que la evacuación y el transporte del residuo sea un problema considerable por los costos elevados y el impacto de contaminación en los suelos (FAO, 2021), debido a que en su estado natural tiene poca degradabilidad, por lo que en su mayoría es eliminado mediante su incineración, aunque a veces se maneja como combustible de calor debido a su valor calorífico, es un material totalmente inadecuado para este uso, pues tiene una elevada resistencia al fuego, contaminado el ambiente por la emisión de cenizas y gases que producen el cambio climático.

Por otro lado, respecto a la contaminación de cadmio en los sistemas de arroz se encontraron investigaciones tanto de Fernandez y Fernandez (2020), donde se obtuvieron concentraciones en aguas de riego con 2.58 mg/L de cadmio, asimismo en suelos con 35.02 mg/kg de cadmio y en granos de arroz con 0.859 mg/kg de cadmio. Mientras que Méndez (2016) se descubrieron valores de concentración en cáscaras de arroz de hasta 0,21mg/kg, lo cual para ambos casos representan un riesgo para la salud, pues la dosis máxima de 0.025 mg/kg de ingesta de cadmio tolerable mensual recomendada por el Comité de la Organización de las Naciones Unidas (Sanchez Barrón, 2016).

Por lo tanto, un consumo que supere esos límites ocasionan perturbaciones en los sistemas endócrinos y daños renales, hepáticos, óseos, membranas y en el ADN (Rodríguez, McLaughlin y Pennock, 2019), debido a que el contaminante cadmio no permite ser fácilmente digerido y descompuesto por microorganismos por lo que se convierte en un compuesto con elevada residencia en el ambiente (Cai et al., 2020). De esta manera, en el Perú el cultivo de arroz es influenciado por presencia de suelos ácidos, de insectos y enfermedades que cada vez son más problemáticos por el cambio climático que impulsa a los agricultores a desarrollar aplicaciones reiteradas de plaguicidas, ampliando los costos de generación.

Además, la elevada utilización del agua, tanto de fuentes superficiales y subterráneas como aguas de riego procedentes de desechos líquidos municipales e industriales (Rodríguez, McLaughlin y Pennock, 2019), y la emisión de metano con el impacto del uso excesivo de agroquímicos demuestran que el cultivo de arroz no es económico ni sustentable (Heros, 2018), pues se proyectan no solo a incrementar la mercadería para alcanzar el beneficio económico, sino también a evitar pérdidas de la inversión financiera (Silva, 2019), sin condiserar la alteración negativa en las propiedades naturales del suelo agrícola.

En general, existe demasiada información al respecto de la contaminación del suelo por cadmio, asimismo como se puede evidenciar en la realidad problemática, diversas investigaciones han demostrado los efectos perjudiciales en

la salud humana, por eso lo que motiva al presente estudio es exactamente determinar cuánto ha sido la contaminación del cadmio mediante la revisión bibliográfica, donde se ordenan trabajos de investigación, los cuales por supuesto se encuentran dispersos y la finalidad será sistematizarlo para la comprensión del proceso de descontaminación del suelo con el biocarbón y esto evite desarrollarse en él, lo cual servirá como cimiento para que otros investigadores observen y analicen los resultados de la revisión.

Por lo antes mencionado se plantea el **problema general** de la investigación será ¿cómo es la remediación de suelos salinos contaminados con cadmio mediante biocarbón de la cascarilla de arroz? y los **problemas específicos** serán ¿cuáles son las metodologías de producción de biocarbón de cascarilla de arroz?, ¿cuáles son las características del biocarbón de la cascarilla de arroz que influyen en la adsorción de cadmio? Y ¿cómo es el proceso de la aplicación del biocarbón en los suelos salinos?. Asimismo el **objetivo general** será evaluar la remediación de suelos salinos contaminados con cadmio mediante biocarbón de la cascarilla de arroz, mientras que los **objetivos específicos** se orientarán a describir las metodologías de producción de biocarbón de cascarilla de arroz, identificar las características de adsorción del biocarbón de la cáscara de arroz que influyen en la adsorción de cadmio en suelos salinos y describir el proceso de la aplicación del biocarbón en los suelos salinos.

Por ende, la **justificación teórica** se enfoca en aportar la referencia necesaria en el ámbito académico de la ingeniería ambiental sobre la remoción de cadmio en sistemas de agricultura circular, mientras que la **justificación práctica** se sustenta en la utilidad de los resultados de la revisión para comenzar investigaciones en el Perú con respecto a la posible aplicación del biocarbón de cascarilla de arroz, pues en la **justificación ambiental** se ha demostrado que la sílice amorfa y zinc son los principales componentes del biocarbón (Goodman, 2020), los cuales permiten reducir las concentraciones de cadmio en los tejidos comestibles (Rodríguez, McLaughlin y Pennock, 2019), y por ende en la **justificación social**, el biocarbón como producto potencial para salvaguardar la

seguridad alimentaria, mientras que en la **justificación económica**, el costo es menor a comparación de otros procesos de remediación convencional y en uso de agroquímicos, pues el biocarbón presenta estructura con alta porosidad que lo convierte en un medio para mejorar la fertilidad del suelo y la productividad de los cultivos (Azeem et al., 2019).

## II. MARCO TEÓRICO

Luego de la revisión de artículos sobre el estudio de remediación de suelos salinos contaminados con cadmio mediante biocarbón de la cascarilla de arroz (*Oryza sativa*), en la siguiente Tabla N° 1, se presentan el resumen de dichas investigaciones realizadas entre los años 2016 al 2021 como antecedentes:

**Tabla 1.**

Antecedentes de la investigación

Autor	Objetivos	Metodología	Resultados	Conclusiones
Jiao et al 2018	Proporcionar una base teórica para la remediación de biocarbón de Cd.2+ contaminación y aprovechamiento integral de la biomasa.	La cáscara de arroz y la paja de algodón se lavaron con agua desionizada. Las materias primas se colocaron en un crisol de cerámica para pesar. A continuación, el crisol se calentó en un horno de mufla (Nabertherm LT40, velocidad de calentamiento: 15 ° C / min; velocidad de ventilación: 2 ml de N 2 / min) a 300, 400, 500, 600 o 700 ° C durante 3 h, y luego se retira después de enfriar a temperatura ambiente.	La eliminación con biocarbón obtenido por pirólisis a alta temperatura se debió principalmente al Cd2+ precipitación causada por el aumento del pH (en nuestro estudio, RH700 fue capaz de eliminar más del 90% de Cd2+ en 0,5 h.	El rendimiento de ambos materiales de biocarbón disminuyó gradualmente al aumentar la temperatura. Como cáscara de arroz contiene SiO2, el rendimiento del biocarbón de cáscara de arroz superó con creces al del biocarbón de paja de algodón mecanismo de adsorción puede deberse al intercambio iónico y catiónico.π interacciones. Además, es obvio que la gran superficie específica de biocarbón también debe desempeñar un papel importante en el Cd2+ proceso de adsorción.
Khum-in et al., (2020)	Evaluar si el uso de la combinación de biocarbón y hierro de valencia cero (BZVI) como enmienda del suelo en comparación con el uso de biocarbón (BC) y hierro de valencia cero (ZVI) solo puede lograr la reducción de Cd mientras se mantiene la concentración de Fe y Zn	Los experimentos de campo implicaron dos pasos. Primero, se preparó suelo de arroz contaminado con Cd labrando a una profundidad de 15 cm con un tractor pequeño. Luego, los diferentes mejoradores del suelo se mezclaron con el suelo preparado en campos experimentales específicos. En segundo lugar, se cultivaron plántulas de arroz en el	Las concentraciones de Cd en las muestras de suelo de la CE fueron relativamente estables durante el período experimental, donde la concentración promedio de Cd en el suelo en la CE aumentó ligeramente de 31,92 ± 7,22 mgkg-1 to36.18±7,43 mgkg-1 a los 28 días, luego se redujo ligeramente a	La adición de BC junto con ZVI tiene enormes efectos sinérgicos, beneficiosos no solo para la reducción de Cd sino también para el enriquecimiento de Fe y Zn en el grano de arroz integral. Primero, la presencia de carbono de BC en el BZVI puede acelerar la corrosión del ZVI, que forma rápida y extensamente estructuras de óxido / hidróxido de hierro, el sitio de adsorción para la inmovilización del Cd

	en el grano de arroz.	suelo de arroz tratado	30.12 ± 11,86 mg kg <sup>-1</sup> a los 84 días.	
Zhang et al., (2020)	Investigar los mecanismos primarios de inmovilización inducida por biochar y P de Cu (II), Cd (II) y As (V) en los suelos de los arrozales; 2) explorar la influencia del tipo de materia prima en la carga de P en el biochar y, por tanto, el rendimiento de la rehabilitación del suelo	La muestra de la primera capa superficial de suelo (0-20 cm), se muestreó la mezcla en cada botella. después de 10, 30 y 60 días. Al final de la incubación, la muestra restante en cada La botella se transfirió a un tubo de centrifuga de 100 ml y se mezcló con 50 ml desionizados. agua y se centrifugó durante 10 minutos a una velocidad de 3000 r / min. El biocarbón-agua superior se separó la suspensión y el biocarbón se filtró con un filtro de jeringa de 0,2 µm y secados al aire para su posterior caracterización.	Los biocarros de cáscara de arroz y tallo de maíz modificados tienen en promedio un 14-24% y un 19-33% más de eficiencia de inmovilización para Cd (II) y Cu (II) que los otros dos biocarros asistidos por P. Sin embargo, independientemente de la materia prima, tanto la extracción como la movilidad de As (V) aumentaron con el fósforo.	Los biocarros modificados con fósforo llevaron a la transformación de Cu (II) y Cd (II) de formas solubles en ácido a formas más estables. La impregnación con P disminuyó la extractabilidad de Cu (II) y Cd (II) de 2 a 3 veces, a través de la formación de precipitados de fosfato metálico y complejaciones. El m-CSBC y m-RHBC tienen una inmovilización mucho mayor. eficiencia para Cd (II) y Cu (II) que m-WBC y m-BBC.
Chen et al., (2018)	Desarrollar y optimizar un nuevo fertilizante a base de biocarbón compuesto de biocarbón de cáscara de arroz y peróxido de urea-hidrógeno (UHP), que simultáneamente puede liberar nitrógeno e inmovilizar cadmio (Cd) lentamente.	Se preparó biocarbón mediante pirólisis lenta de cáscaras de arroz a 500 ° C. A continuación, se colocó el biocarbón en una solución de UHP durante 24 h a temperatura ambiente. Después del procedimiento de impregnación, las muestras de fertilizante a base de biocarbón se transfirieron a un horno de secado termostático eléctrico a 60 ° C durante 24 h.	La prueba de adsorción mostró que la adsorción de Cd en fertilizantes a base de biocarbón alcanzó rápidamente el equilibrio con una cantidad de adsorción de equilibrio (Q <sub>e</sub> ) de 6.3279 mg · g <sup>-1</sup> con una concentración inicial de 10 mg · L <sup>-1</sup> . En comparación con el biocarbón original, la capacidad de inmovilización de Cd del fertilizante a base de biocarbón fue significativamente mejor. La adsorción de Cd en	La morfología y la caracterización de los componentes mostraron que el UHP se adhirió a la superficie porosa del biocarbón, lo que dio lugar a un nuevo fertilizante a base de biocarbón. La adsorción de Cd en fertilizantes a base de biocarbón alcanzó el equilibrio, con una cantidad de adsorción de equilibrio de 6.3279 mg · g <sup>-1</sup> siguiendo el modelo de pseudo-segundo orden con la concentración inicial de Cd (10 mg · L <sup>-1</sup> ). La capacidad de adsorción del fertilizante a base de biocarbón hacia Cd aumentó significativamente en un 48,98% en comparación con la del biocarbón.

			fertilizantes a base de biocarbón se basa principalmente en un comportamiento de adsorción de monocapa.	
Abbas et al., (2018)	Producir varios biocarbón en una amplia gama de condiciones operativas y tamaños de partículas para optimizar los parámetros de pirólisis en relación con las características fisicoquímicas del biocarbón y la viabilidad económica.	Los resultados indicaron que el rendimiento de biocarbón disminuyó notablemente con aumentos de temperatura de 300 a 700 ° C, mientras que el rendimiento de bioaceite aumenta en la etapa inicial (300-500 ° C) luego se redujo a 700 ° C. Los rendimientos óptimos de biochar ~39% y bioaceite ~El 19% se obtuvo a una temperatura de 500 ° C.	Los resultados revelaron que la temperatura tiene una influencia más pronunciada en el rendimiento de los productos en comparación con las otras condiciones operativas. El rendimiento de biocarbón disminuye de 57,13 ± 5,37% a 37,19 ± 2,05% y el rendimiento de la fase gaseosa aumenta de 25,64 ± 0,93% a 42,50 ± 4,58% con un aumento de temperatura de 300 ° C a 700 ° C.	Cuando se aplica a suelos altamente contaminados con Cd (Cd total = 5,82 mg / kg), los biocarros reducen el Cd intercambiable <sup>2+</sup> fracción de inicialmente 2,40 a 1,98 (RHB300), 1,90 (RHB500) y 1,54 mg / kg (RHB700) después de la incubación durante 35 días, y el suelo ácido mejoró eficazmente de 5,49 a 6,56 después de la adición de RHB700 durante 5 días.
Sun et al., (2018)	Caracterizar el biocarbón magnético (FBC) y KMnO <sub>4</sub> -biocarbón magnético tratado (FMBC), (2) evaluar la adsorción capacidad de conversión de FMBC a Pb (II) y Cd (II) en comparación con FBC, (3) determinar el efecto de los parámetros de la solución inicial sobre el rendimiento de adsorción de FMBC, y (4) investigue el mecanismo de adsorción de FMBC para la adsorción de Pb (II) y Cd (II).	Se empapó biocarbón magnético (FBC) de 2,0 g con 100 ml KMnO <sub>4</sub> solución; la relación de peso de KMnO <sub>4</sub> a FBC se seleccionó como 1: 2 (50%). La suspensión se mezcló por ultrasonidos cally durante 2 h y luego se secó en horno a 105 ° C. La mezcla de FBC y KMnO <sub>4</sub> se calentó a 600 ° C durante 0,5 h bajo N <sub>2</sub> para producir KMnO <sub>4</sub> -biocarbón magnético tratado (FMBC).	Los minerales que incluyen las especies de manganeso y las especies de hierro desempeñaron un papel más importante durante la adsorción de Pb (II) y Cd (II) por FMBC. Esto podría atribuirse a la gran afinidad por los metales pesados de los óxidos de manganeso, que se cargaron con éxito en la superficie del biocarbón magnético.	La mejora de la capacidad de adsorción de FMBC podría atribuirse a la carga exitosa de óxidos de manganeso y al aumento de los grupos funcionales de oxígeno como el COOH en la superficie del biocarbón. El FMBC puede mantener sus propiedades de adsorción cuando el pH es superior a 2,5 y 3,5 para Pb (II) y Cd (II), respectivamente.



Meng et al., (2018) tuvo el objetivo de realizar el experimento de campo que consistió en cinco tratamientos de enmienda: dos cultivares de arroz y tres réplicas de cada tratamiento. Las cinco enmiendas fueron control no reparado, biochar a 40 t ha<sup>-1</sup>, compost a 40 t ha<sup>-1</sup>, cal a 1.33 t ha<sup>-1</sup>, y escoria de carburo a 2.33 t ha<sup>-1</sup>. Las tasas de aplicación de biochar y compost fueron las utilizadas por Chen et al. (2016) y Lee et al. (2004), respectivamente. El suelo se ajustó a un pH aproximado de 7 con cal o escoria de carburo y se registraron sus tasas de aplicación. Todos los tratamientos sólo se aplicaron una vez antes de la siembra de arroz. La parcela de 5 m x 3 m se organizó en bloques aleatorizados triplicados, y las parcelas adyacentes se separaron entre sí a lo largo de cada lado por crestas de 0,2 m de ancho cubiertas con película de plástico blanco.

Bashir et al., (2019) tuvo como objetivo evaluar la eficiencia comparativa de enmiendas sobre el comportamiento de lixiviación de Cd dentro del perfil del suelo, asimismo se propuso determinar el efecto de las enmiendas sobre fraccionamiento de Cd y biodisponibilidad dentro de la columna de suelo. La metodología se basó en la recolección de suelo de arroz natural contaminado con Cd de la provincia de Hunan, China. Las muestras de suelo se transfirieron al laboratorio y luego fue procesado y preparado para la columna de estudio. De acuerdo con los hallazgos obtenidos, las enmiendas de suelo BC, ZE y SL mostraron la reducción significativa en Cd lixiviable con el aumento significativo del pH del lixiviado. Este estudio concluyó que la selección de varios materiales alcalinos para la inmovilización de Cd en contaminantes el suelo tratado se considera un enfoque eficaz para mejorar la seguridad alimentaria.

Hong Yan et al.,(2019)(Hong Yan et al., 2019) en su investigación tuvo como objetivo explorar las capacidades y mecanismos de biocarbón cargado de birnessita para adsorción y co-adsorción de As (As (V) o As (III)) y Cd. La metodología para la preparación de biocarbón de cáscara de arroz cargado de birnessita consta en secar la cáscara de arroz en horno a 60 ° C durante la noche y luego se lizado en un horno de mufla en un ambiente de N<sub>2</sub> aumentando la temperatura a una velocidad de 20 ° C por minuto y manteniendola a temperatura máxima a 600 ° C durante 4 h. Los

resultados de la combinación de SEM, FTIR y XRD con XPS mostró que Cd ocupó principalmente en sitios vacantes entre capas formando complejo con grupos funcionales y átomos de O en estructura de birnessita, mientras que As se formó principalmente compuesto de superficie plex por coordinación con grupos funcionales. Se concluye indicando que se cargó con éxito un biocarbón con una capa de lámina birnessita y aumento de grupos funcionales.

Bicalho et al., (2017) en su trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto del biocarbón en las propiedades del suelo y la producción y nutrición de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). La metodología consistió en la filtración de biofertilizantes porcinos de un biodigestor anaeróbico, después de llenar los filtros con el biofertilizante sólido, los medios de filtración de cáscara de arroz, aserrín se retiraron los ensilajes de sorgo y se secaron al aire. Los resultados indicaron que los valores de pH del suelo aumentaron linealmente después de la adición del biocarbón producido a partir de la filtración de material de desechos. A la dosis más alta (10 L m<sup>-3</sup> de volumen de suelo), BRHF,BSF y BSSF aumentaron el pH del suelo en 0,76, 1,17 y 1,68 unidades, respectivamente. Por lo tanto, se concluye que el biocarbón actúa en el suelo como corrector de acidez, indicando así como un efecto positivo del biocarbón, particularmente en suelos ácidos.

Huang et al., (2020) en su trabajo de investigación tuvo como objetivo caracterizar la adsorción para Cd<sup>2+</sup> de agua y suelo mediante biocarbón producido a partir de cáscara de arroz a diferentes temperaturas de pirólisis. La metodología empleada se basó en secar la materia prima, primero al aire y luego se secaron al horno a 80 ° C, seguido de trituración y paso por un tamiz para obtener partículas de 2.0 mm. Los resultados indicaron que el contenido de los ocho biocarbonos varían desde 1,87 mg/g en biocarbón de estiércol de caballo hasta 139,56 mg/g en biocarbón de cáscara de arroz. Se concluye que el biocarbón de cáscara de arroz no sólo podía adsorber eficazmente Cd<sup>2+</sup> en agua solución, pero también sirven como un papel doble para inmovilizar los metales pesados y mejorar la acidificación del suelo.

Yang, Liu y Lu (2021) examinaron las características de los poros de los biocarros de paja de arroz (RSB) y los biocarros de tallo de canola (CSB) producidos a temperaturas de pirólisis de 250, 350, 450, 550 y 650 ° C, y evaluó los efectos de los biocarros en las propiedades de los poros del suelo. La metodología se desarrollo con la mezcla de cada biocarbón con en dos suelos (Ultisol y Alfisol) a una tasa del 1% (p / p), luego las mezclas de suelo-biocarbón se incubaron durante 90 días. Los resultados demostraron que la clase de poro más grande para RSB fue el macroporo (> 75 µm). Se concluye que la temperatura de pirólisis de alrededor de 450 °C era la condición óptima para producir biocarbón poroso con mayor porosidad.

Ghorbani, Asadi y Abrishamkesh (2019) tuvieron el objetivo de evaluar los efectos de diferentes biochar niveles de en varias propiedades físico-químicas del suelo en dos tipos de suelo arcilloso arena y arcilla bajo condiciones de invernadero y húmedo-seco de los ciclos. La metodología se realizó mediante un estudio aleatorizado de diseño con tres niveles (0, 1%, 3%) de biochar producido a partir de la cáscara de arroz en 500 °C. Los resultados mostraron que las propiedades del bicarbón fueron 9.18 pH, 0.347 dS/m de conductividad eléctrica, 47,8 % de carbono total y 2.43% de contenido de hidrógeno. Se concluye que la aplicación de biocarbón de cáscara de arroz no es una amenaza para el desarrollo de la alcalinidad o la salinidad en el suelo.

Singh et al., (2018) tuvo el objetivo de evaluar los efectos del biochar en cáscara de arroz en la producción de arroz en condiciones de campo, para ello la metodología se llevó a cabo bajo suministro limitado de oxígeno (pirólisis controlada) en un tambor a temperatura de 250-300 °C durante 40 min °C. Los resultados demostraron que las características morfológicas de los originales de la cáscara de arroz se sigue persistiendo en RHB después de la combustión con numerosos macro y meso-poros, donde el pH se presenta en un nivel de 8.2. Se concluye que la generación de biocarbón de cáscara de arroz y su aplicación en el suelo pueden ser sostenibles en el cultivo de arroz con respecto a la gestión de residuos como una

opción para mejorar el estado de los nutrientes, de la comunidad microbiana y de arroz de la productividad de los pobres en nutrientes de la agricultura los suelo.

Jia et al., (2018) tuvo el objetivo de examinar las características de la superficie y los mecanismos de adsorción de varias muestras de biocarbón para la remediación de biocarbón de la contaminación por  $\text{Cd}^{2+}$  y la utilización integral de la biomasa. En la metodología se utilizaron temperaturas de pirólisis de 300, 400, 500, 600 y 700 ° C para preparar biocarbó. Los resultados evidencian que el rendimiento de biocarbón de la cáscara de arroz fue de 37,52 a 23,32%, además la cáscara de arroz también contiene grandes cantidades de Si que no se pierden durante el proceso de pirólisis. Se concluye que al aumentar las temperaturas de carbonización, el pH del biocarbón, el área superficial específica y la aromaticidad aumentaron, mientras que su estructura se volvió más estable y su hidrofiliidad y polaridad disminuyeron, asimismo, la cantidad de  $\text{Cd}^{2+}$  adsorbido en el biocarbón aumentó.

Li et al., (2019) tuvo el objetivo examinar el efecto de la aplicación de diferentes modificaciones, incluyendo el biocarbón de cáscara de arroz, y comprender la relación entre los cambios en los agregados del suelo y el alivio de la fitotoxicidad de Cd en el arroz. La metodología aplico las enmiendas en el suelo con tres tasas de dosis (1, 3, y 5%) en un suelo contaminado con cadmio en  $1.490 \pm 0,36 \text{ mg kg}^{-1}$ , la cáscara de arroz fue carbonizada a alta temperatura (800 °C) y fue modificada con nitrato ferroso ( $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$ ). Los resultados indican que hubo una tendencia al alza en el Cd de la concentración con la disminución de micro-tamaño de los agregados. Se concluye que la adición de 3% de enmiendas disminución de la Cd de movilidad en el suelo y la acumulación de Cd en los granos de arroz hasta 41-62%, comparado con el control (sin enmienda de adición).

Lu et al., (2017) tuvo los objetivos de investigar (1) el efecto de la aplicación del biochar en la redistribución de Cd, Cu, Pb y Zn en varias fracciones del suelo, (2) el efecto del tipo de biochar, la tasa de aplicación y el tamaño de partículas en la redistribución de Cd, Cu, Pb y Zn, y (3) la comparación de diversas técnicas de extracción para controlar la redistribución y biodisponibilidad de los metales pesados

en el suelo. La metodología se enfocó en la producción de biochar de paja de arroz utilizando una máquina de pirólisis lenta continua a una temperatura final de 500 °C con un tiempo de retención de 30 min. Los resultados evidencian que se aumentó las fracciones de materia orgánica unidas de Cd, Cu y Pb, pero sólo el 1% de tratamiento biochar de paja de arroz aumentó la fracción de materia orgánica unida de Zn. Se concluye que el biochar de paja de arroz al 5% fue el más efectivo para disminuir los metales biodisponibles en el suelo.

Velázquez-Maldonado et al., (2019) tuvo el objetivo de evaluar la concentración nutrimental en biocarbón elaborado con cascarilla de arroz y adicionado con ácido cítrico, maleico y propiónico al 5 y 10 % como catalizadores. La metodología se elaboró con la técnica de carbonización hidrotérmica a 200 °C durante 19 h. Se determinó el rendimiento de biocarbón, concentración de materia orgánica y de N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn, Si y Na. Los resultados mostraron mayores rendimientos de biocarbón (66 %) cuando se añadieron los ácidos maleico y cítrico al 10 %. Se concluye que los tres macronutrientes con mayor concentración fueron Ca, N y K, mientras que para micronutrientes los de mayor concentración fueron Fe y Mn, así como el Na.

Deng et al., (2020) tuvo el objetivo de investigar el comportamiento competitivo de adsorción y los mecanismos de Cd<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup> y NH<sub>4</sub><sup>+</sup> por biocarros frescos. La metodología implica la producción de biocarbón a partir de paja de arroz a 400 y 700 °C envejecidos artificialmente. Los resultados demuestran que la competencia de Cd<sup>2+</sup> y Ni<sup>2+</sup> aumentó las proporciones de coprecipitación mineral y otros mecanismos potenciales pero disminuyó la del mecanismo de intercambio catiónico. Se concluye que el envejecimiento del biocarbón aumenta la contribución del mecanismo de complejación superficial, especialmente para los biocarros de baja temperatura.

Rehman et al., (2020) tuvo el objetivo de probar la mitigación del estrés por Cd en el arroz mediante el biocarbón modificado químicamente. La metodología se desarrolló a través del biocarbón de cáscara de arroz tratado con tres ácidos (HCl, HNO<sub>3</sub>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>), cada uno aplicado al 2% haciendo un total de 8 tratamientos que

incluyen 2 controles (contaminados / enriquecidos y no contaminados). Los resultados han mostrado el incremento más significativo en el crecimiento del arroz (altura de la planta 48.8%, longitud de la espiga 36.4%, longitud de la raíz 58.8%, peso seco de la raíz 234%, rendimiento de paja 132.9%, rendimiento de arroz 61.7%) , también disminuyó el Cd biodisponible en el suelo en un 87% y su acumulación en brotes y arrozales en un 83,4% y 95,7%, respectivamente, en comparación con el control contaminado. Se concluye que el tratamiento con  $\text{PO}_4^{3-}$  es más eficiente, mientras que HCl es tóxico debido al exceso de cloruro.

Wang et al., (2020)<sup>b</sup> tuvo el objetivo de investigar la viabilidad de usar biocarbón mejorado con KOH para la estabilización del Cd y Pb del suelo. La metodología utilizó microscopía electrónica de barrido por emisión de campo para análisis de adsorción-desorción y espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier para revelar la influencia en las propiedades fisicoquímicas del biocarbón, asimismo la inmovilización se examinó mediante el procedimiento de lixiviación. Los resultados indicaron que el biocarbón de cáscara de arroz pirolizado a una temperatura relativamente baja en 300 ° C y activado por concentraciones alcalinas moderadas con KOH produjo un rendimiento de estabilización óptimo. Se concluye que la complejación de la superficie entre metales tóxicos y grupos funcionales que contienen oxígeno en lugar del enalado o la precipitación es el mecanismo fundamental de estabilización.

Zhang et al., (2020)<sup>b</sup> tuvieron el objetivo de evaluar los efectos de biocarbón modificado sobre la biodisponibilidad del cadmio en el suelo y sobre su acumulación y translocación en el arroz. La metodología de la preparación fue mediante la coprecipitación de nano- $\text{Fe}_3\text{O}_4$  en una superficie de biocarbón de cáscara de arroz, el cual fue adicionado en un experimento en macetas con 7 tasas de aplicación (0.05–1.6%, p/p). Los resultados evidencian que las concentraciones de Cd del arroz integral se redujeron significativamente en un 48,9%, 35,6% y 46,5%, mientras que la disponibilidad de Cd en el suelo disminuyó en un 6,81% –25,0%. Se concluye que los tratamientos con BC-Fe al 0,8–1,6% promovieron el transporte de Cd a las hojas, lo que podría aumentar el riesgo de acumulación de Cd en el arroz integral.

Long et al., (2019) tuvo el objetivo de evaluar la eficacia de la utilización segura en un suelo de arrozal ligeramente moderadamente contaminado con Cd. La metodología utilizó cuatro enmiendas del suelo, incluido el biochar de cáscara de arroz, combinadas con dos cultivares de arroz en diferentes capacidades de acumulación de Cd. Los resultados mostraron que las enmiendas al suelo aumentaron significativamente el pH del suelo y redujeron la biodisponibilidad de Cd en comparación con el control, también las concentraciones de Cd de grano de arroz utilizado se redujeron en 45 a 88% y las modificaciones de suelo de 55 a 88% para dos cultivares. Se concluye que la inmovilización in situ combinada con cultivo de arroz de baja acumulación de Cd es un enfoque efectivo para la seguridad alimentaria en arrozales.

Chen et al., (2019) tuvo el objetivo de examinar las propiedades de adsorción de los biocarros modificados para Cd (II). La metodología permitió la preparación de un biocarbón de cáscara de arroz de superficie modificada químicamente con abundantes grupos amino y enlaces disulfuro para la eliminación de cadmio utilizando diclorhidrato de cistamina como ligando de modificación y glutaraldehído como reticulante. Los resultados demostraron que la capacidad de adsorción máxima teórica de los biocarros modificados (81,02 mg g<sup>-1</sup>) fue casi 10 veces mayor que el de los biocarros crudos (8,347 mg g<sup>-1</sup>) para Cd (II). Se concluye que los biocarros modificados con cistamina presenta una afinidad seis veces mayor por el Cd (II) que el Zn<sup>2+</sup>.

Suksabye et al., (2016) tuvo el objetivo de evaluar los efectos de la adición de biocarbón y microorganismos en el cultivo de arroz en suelos contaminados con Cd. La metodología empleada indica una concentración inicial de Cd de aproximadamente 650 mg kg<sup>-1</sup>, por lo que se realizó la adición de 1% (p / p) de diferentes biocarros, como cenizas volantes de aserrín (SDFA), cenizas volantes de bagazo (BGFA) y cáscara de arroz (RHA), este último se obtuvo pirolizado de un molino a 400 °C. Los resultados mostraron que el SDFA era el mejor biocarbón en términos de reducir la acumulación de cadmio en los granos de arroz en comparación con BGFA y RHA en

las mismas condiciones. Se concluye que se pueden utilizar microorganismos y biocarros para resolver el problema de la contaminación por cadmio en los granos de arroz.

Ultra, Nunez y Lee (2016) tuvieron el objetivo de evaluar el potencial de la enmienda del suelo a base de carbón vegetal para aliviar la toxicidad del cadmio (Cd) en el arroz cultivado en arrozales con baja disponibilidad de nitrógeno. La metodología se llevó a cabo en un experimento de cultivo en macetas utilizando un suelo enriquecido con Cd con combinaciones de tratamiento que incluían dos tipos de enmiendas de carbón vegetal: cáscara de arroz carbonizada (CRH) y carbón vegetal (WC); y tres niveles de concentración de Cd (0, 10 y 20 mg kg<sup>-1</sup>). Los resultados muestran que las enmiendas redujeron el rendimiento de materia seca, la altura de la planta, el número de tallos y el Cd<sup>2+</sup> en el suelo se redujo significativamente ( $p < 0.01$ ). Se concluye que la CRH fue más eficaz que la WC para reducir la disponibilidad y absorción de Cd por las plantas de arroz.

Yunilasari, Sufardi y Zaitun (2020) tuvieron el objetivo de mejorar la fertilidad del suelo en las tierras secas mediante la aplicación de biocarbón y estiércol de vaca como enmiendas del suelo. La metodología utilizó un diseño de bloques aleatorios no factoriales con 3 repeticiones con tratamientos de cáscara de arroz y biocharas de coco, los cuales en condición seca fueron quemado en combustión tambor a 400-600 °C por una hora, cada uno se combinó con estiércol de vaca. Los resultados mostraron que la aplicación de biochar y estiércol de vaca puede aumentar el pH del suelo en un 9,8%, C orgánico del suelo en un 0,4%; N total 0,03%; C:Nratio en un 54,38%; suelo disponible-P<sub>by</sub> 51,93% y suelo intercambiable- K en un 466,04%. Se concluye que en temperatura de 600 °C se obtiene un biocarbón con características eficientes para mejorar la fertilidad del suelo.

Oladele (2019) tuvo el objetivo de analizar los cambios en las propiedades fisicoquímicas y el índice de calidad de un suelo después de tres años de enmienda de biocarbón en secuencia de cultivo de maíz. La metodología abordó una prueba de campo con la aplicación de biochar producido a partir de materia prima de cáscara de



arroz a una temperatura de pirólisis de 350-400 °C en un reactor. Los resultados demuestran un contenido total de carbono, nitrógeno y potasio del biochar fue de 511 g kg<sup>-1</sup>, 3,0 g kg<sup>-1</sup> y 9,2 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente, y el pH fue de 8,50. Se concluye que la enmienda de biocarbón en dosis de 6 a 12 t ha<sup>-1</sup>. Se recomienda para mejorar la calidad del suelo a largo plazo en el área de estudio y las regiones del mundo con tipos de suelo y condiciones climáticas similares.

Linam et al., (2020) tuvo el objetivo de comparar la cáscara sin carbonizar con los biocarros de cáscara de arroz pirolizados para las diferencias en la velocidad de disolución de Si y la adsorción de Cd. La metodología de preparación de biocarbón se produjo a temperaturas de 450, 600, 750, y 900 ° C, de los cuales los resultados demostraron que la liberación de Si disminuyó con la temperatura de pirólisis en el orden general: cáscara sin carbonizar > 450 ° C > 600 ° C = 750 ° C = 950 ° C, además, la adsorción de Cd se favoreció en biocarbón de temperatura más alta (950 ° C). Se concluye que el biocarbón a elevadas temperaturas no tuvo impacto en las concentraciones de agua intersticial de Cd, mientras que el biocarbón de cáscara de arroz a baja temperatura (450 ° C) condujo a la relación Si: As más alta.

Rizwan et al., (2019) tuvo el objetivo de explorar la eficiencia de las nanopartículas de óxido de hierro (Fe NPs) y el biochar en la absorción de cadmio en el arroz. La metodología se desarrolla en condiciones de un suelo contaminado con y sin adición de biochar (1,0% p/p) que fue preparado con materia prima de cáscara de arroz pirolizado a 450 °C, y se rociaron diferentes concentraciones de 0, 10, 20, 30 mg/l en diferentes intervalos de tiempo durante el crecimiento de la planta. Los resultados indican que la co-presencia de FeNPs disminuye significativamente el cd en brotes de arroz en 31 y 42% y en raíces de arroz con la aspersion doliar a 30 mg/L con y sin aplicación de biocarbón. Se concluye que para tratar los sitios contaminados con CD, el uso de PNA de biochar y foliares de Fe podría ser una buena opción para reducir el CD en los cultivos en el futuro.

Molecules (2020) tuvo el objetivo de mejorar el rendimiento del biocarbón de paja de arroz, para ello la metodología abordó la preparación de biocarbón modificado

con MgO a diferentes temperaturas, tiempo de pirólisis y concentraciones de MgCl<sub>2</sub>. Los resultados mostraron que la superficie específica (de 9.663 a 250.66 m<sup>2</sup>/g) y el volumen de poros (de 0,042 a 0,158 cm<sup>3</sup>/g) aumentaron a medida que la temperatura subió de 300 a 600 °C. Sin embargo, se observó que las concentraciones de MgCl<sub>2</sub> y el tiempo de pirólisis no tenían una influencia significativa sobre la estructura de los poros de los biochars. Se concluye que a mayor temperatura de pirólisis, aumenta el pH y se formaban más grupos funcionales y sales minerales que contenían oxígeno, mientras que el rendimiento modificado con MgO, la materia volátil, el contenido total de hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, la porosidad y el diámetro medio de los poros disminuyen.

Zheng et al., (2017) tuvo el objetivo de investigar la influencia del biocarbón de paja de arroz (RSB) en la disponibilidad y acumulación de cadmio (Cd) en el suelo en la lechuga. La metodología se llevó a cabo experimentos en invernaderos, donde el biocarbón se carbonizó en ausencia de aire durante 1 h después de que la temperatura del horno se elevara a 500 °C por calentamiento durante aproximadamente 3 h, luego se esparció en el suelo con concentraciones de Cd que variaban de 1,70-3,14 µg g<sup>-1</sup>. Los resultados evidenciaron que los niveles de Cd en los brotes de lechuga se redujeron hasta en un 57% con el aumento de la tasa de aplicación de RSB (0, 6, 12, 18 t ha<sup>-1</sup>). Se concluye que la aplicación de biocarbón representa una oportunidad para reducir a la mitad el costo del biocarbón mientras se conserva un buen efecto de remediación.

Wang et al., (2020)<sup>a</sup> tuvo el objetivo de analizar el papel del biocarbón en la co-inmovilización de cadmio Cd (II) y arseniato As (V) y la disponibilidad de nutrientes del suelo relacionada. La metodología se llevó a cabo en pruebas de remediación con tres tipos de biochar (arroz, trigo y paja de maíz) modificado con tricloruro férrico (FeCl<sub>3</sub>) con tasas de aplicación de 1, 5 y 10% (w/w) y la incubación de 1, 7, 10 y 15 días. Los resultados demuestran que el contaminante fue removido en 63,46% con la adición de biocarbón de cáscara de arroz, por lo tanto se concluye que la aplicación de biochar reduce la movilidad ambiental de los metales en el suelo contaminado con Cd-As,

mientras que también aumenta el pH del suelo y la movilidad de los nutrientes disponibles.

Li et al., (2019)<sup>b</sup> tuvo el objetivo de explorar el efecto de las bacterias resistentes a los metales pesados y el biocarbón sobre la reducción de la acumulación de metales pesados. En la metodología se estudio *Bacillus thuringiensis* (HC-2), biocarbón (BC) y BC + HC-2 por su capacidad para inmovilizar Cd y Pb en solución de cultivo, asimismo la producción de biocarbón se realizó a partir de cáscara de arroz, que se pirolizó a 500 ° C durante 30 min en un horno de mufla. El BC producido tenía un tamaño de partícula de 0,5 a 1 mm, un pH de 7,84 ± 0,13 y un contenido de materia orgánica de 29,5 ± 1,2 g/kg. Los resultados demostraron que el tratamiento con BC + HC-2 redujo las concentraciones de Cd (28–94%) y Pb (22–63%) en las raíces de rábano. Por lo tanto, se concluye que esta combinación puede garantizar la seguridad vegetal in situ para la biorremediación de tierras agrícolas contaminadas con metales pesados.

Wang et al., (2017) tuvo el objetivo de investigar las características del biocarbón derivado de la paja de arroz, así en la metodología se utilizaron muestras de biocarbón derivadas de paja de arroz que se pirolizaron a 300, 500 y 700 ° C, donde la temperatura de pirólisis se elevó a una velocidad de 26 ° C/min hasta la temperatura objetivo y luego se mantuvo durante 2 h. De esta manera los resultados mostraron una área superficial relativamente alta de la muestra R700 con 27,66 m<sup>2</sup>/g, además presenta un 56,00% de contenido de carbono, 1,29% de contenido de hidrógeno. Estos resultados experimentales destacan que el biocarbón derivado de la paja de arroz es un candidato prometedor para la eliminación de contaminantes a bajo costo.

Kameyama, Miyamoto y Iwata (2019) tuvieron el objetivo de evaluar la influencia del tipo de materia prima y la temperatura de pirólisis, para ello se produce biocarbón a partir de Astillas de madera [cedro (CE) y ciprés (CY)]; bambú (MB); cáscara de arroz (RH); bagazo de caña de azúcar (SB), los cuales se añadieron en un reactor de horno eléctrico con forma cilíndrica horizontal que se purgó con nitrógeno gaseoso. Luego, se pirolizó la materia prima, calentándola a una velocidad

de 2 ° C min <sup>-1</sup> y manteniéndola a 400, 600 y 800 °C durante 2 horas. Después de enfriar, el biocarbón se homogeneizó moliéndolo y tamizándolo en fracciones de 0,5 a 2 mm de tamaño. Los resultados indican que cuando aumentó la temperatura de pirólisis, disminuyó el índice de hidrofobicidad, por tanto se concluye que la temperatura de pirólisis no afectó la distribución de los poros de rango micrométrico.

Jing et al., (2020) tuvo el objetivo de determinar si la aplicación de biocarbón tiene un impacto significativo en los nutrientes del suelo o cambia las actividades de las enzimas del suelo, así la metodología se aplicó mediante experimentos en macetas, se estudiaron los efectos de diferentes biocarros de paja (trigo, arroz, maíz) obtenidos por pirólisis a 500 ° C a una velocidad de calentamiento de 15 ° C min <sup>-1</sup> en 2 h, con suministro limitado de oxígeno sobre el carbono orgánico del suelo. Los resultados mostraron que la adición de biocarbón aumentó el contenido de carbono orgánico del suelo, que disminuyó gradualmente con la extensión del período de crecimiento del arroz, se concluye que la respuesta de la actividad enzimática al biocarbón depende de la materia prima de biocarbón y de la etapa de crecimiento del arroz.

Erdem (2021) tuvo el objetivo de determinar el efecto de los biocarros producidos a diferentes temperaturas de pirólisis sobre la absorción de Cd de plantas de tabaco cultivadas bajo dosis crecientes de tratamientos con Cd. Para ello se pirolizaron mazorcas de maíz molidas y cáscaras de arroz a 400, 500 y 600 ° C en un reactor ingeniosamente desarrollado, donde la tasa de calentamiento de la biomasa fue de aproximadamente 10 ° C min <sup>-1</sup> (pirólisis lenta) durante 4 a 6 h. Los resultados revelaron que el área de superficie específica que ha sido modificada significativamente por la temperatura de pirólisis es el carácter más importante de los biocarros en el éxito de la rehabilitación de suelos ricos en Cd, por tanto se concluye que los biocarros producidos a temperaturas de pirólisis más altas dieron como resultado un mejor crecimiento del tabaco debido a la inmovilización de iones de Cd en las superficies de biocarbón.

Tsai, Lin y Huang (2021) tuvieron el objetivo de realizar la valorización de la cascarilla de arroz para la producción de biocarbón poroso, para ello se produjeron biocarros a diferentes temperaturas de pirólisis de 400 a 900 ° C y tiempos de mantenimiento de 0 a 90 min en un horno eléctrico vertical de lecho fijo, además, las variaciones en los rendimientos y las propiedades de los poros de los biocarros resultantes estaban relacionadas con estas condiciones de proceso. Los resultados mostraron que las propiedades máximas de los poros con una superficie BET de alrededor de 280 m<sup>2</sup>/g y una porosidad de 0,316 se pueden obtener a partir de las condiciones a 900 ° C durante un tiempo de retención de 90 min. Con base en los hallazgos de este trabajo, se concluye que el biocarbón a base de HR podría usarse como material en aplicaciones ambientales para la conservación del agua, el tratamiento de aguas residuales y la enmienda del suelo.

Alhinai et al., (2018) tuvo el objetivo de realizar la caracterización termoquímica de variedades de cáscara de arroz en Brunei Darussalam, para ello se llevó a cabo un extenso análisis proximal y elemental de las muestras obtenidas, además, se producen tres etapas de descomposición térmica tanto durante la pirólisis como durante la combustión. El hidrocarburo se convierte en volátiles en la segunda y tercera etapas de descomposición térmica mediante pirólisis en un reactor de lecho fijo, así para la segunda y tercera etapas tanto de pirólisis como de combustión, las temperaturas oscilan entre 250 ° C a 400 ° C, y 430 ° C a 900 ° C en la primera, a 350 ° C y 350 ° C a 900 ° C, respectivamente. Se encuentra que el rendimiento máximo de biocarbón es 49,5% en peso a 400 ° C, así se concluye que las cáscaras de arroz pueden utilizarse como materia prima para el proceso de pirólisis a fin de producir productos biológicos.

La parte teórica para el cultivo de arroz es una especie anual, la cual está acostumbrada a desarrollarse bajo condiciones semi-acuáticas y acuáticas, con tallos cilíndricos y huecos formados por varios nudos y entrenudos, con hojas largas y angostas, formadas por vaina, limbo y cuello (Ruiz-Sánchez et al., 2016), asimismo en su desarrollo generalmente se emplean aguas de riego contaminadas y

agroquímicos que generan la dispersión de metales pesados, los cuales terminan ingresando a la planta de arroz, donde son transformados y acumulados en los estratos superiores, sin embargo cuando la concentración del contaminante supera la capacidad de adsorción de este vegetal, se produce estrés oxidativo que reduce el crecimiento y la actividad fotosintética hasta ocasionar la muerte del cultivo, como se muestra en la figura 1.

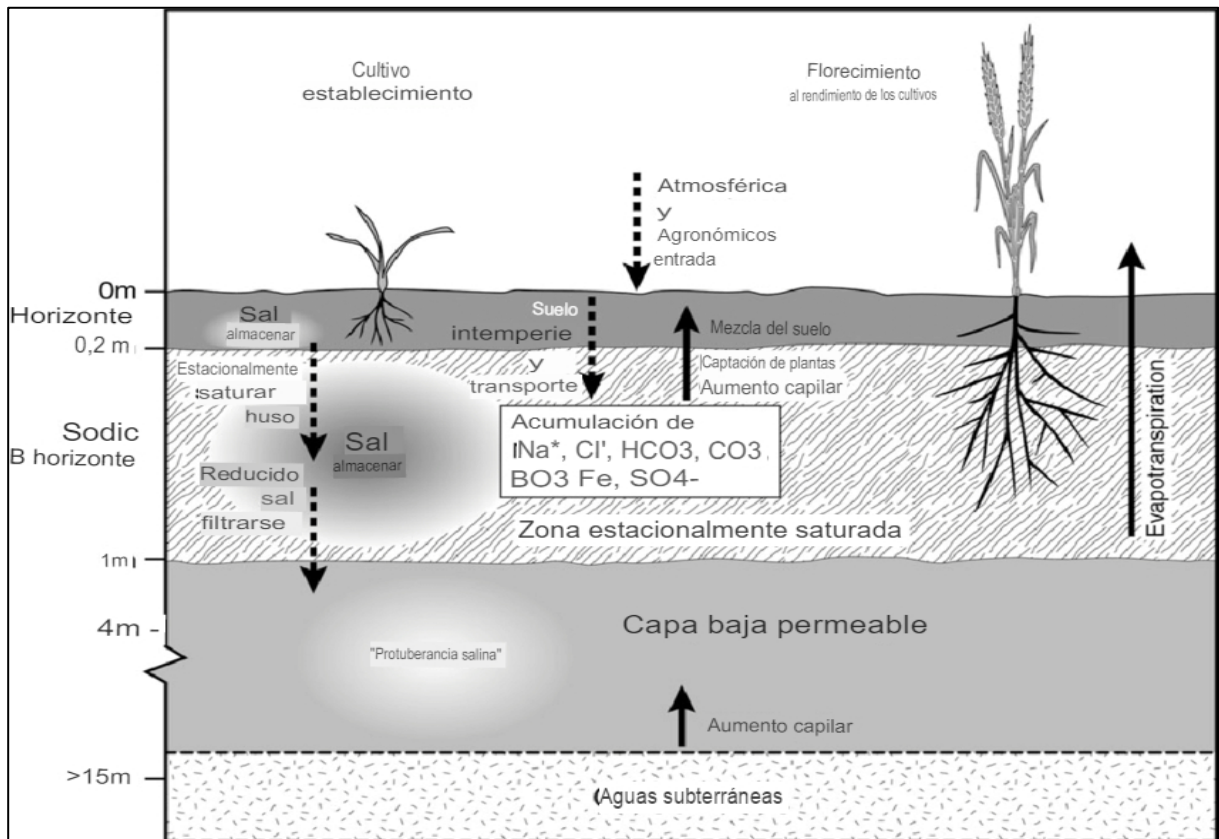
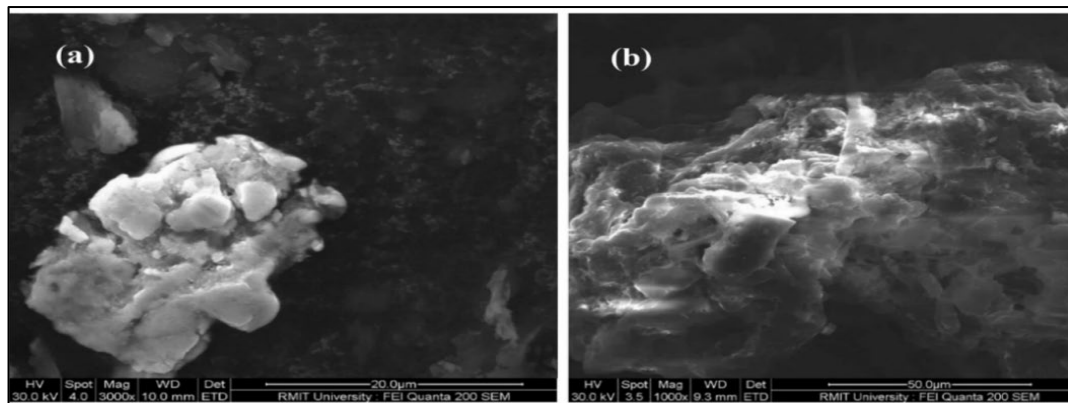


Figura 1. Procesos del suelo y acumulación de sal en capas de zonas radicales de suelos sódicos. Fuente: (Rengasamy, 2006).

El biochar es un sólido de color negro con una composición irregular de láminas de carbono con espacios que definen su porosidad, la cual es una parte fundamental del biocarbón que va a depender del tipo de materia prima a partir de la cual fue procesada, por ejemplo la porosidad tanto de la cáscaras de arroz como del biochar derivado de cáscara se muestra en la figura 2. Además generalmente es alcalino con elevada composición de carbono, cargas variables y varios grupos funcionales (Sun

et al., 2010 citado en Pariona-Palomino et al., 2020), asimismo el tamaño de los poros condiciona una densidad aparente del biochar baja, en promedio de  $0.3 \text{ mg m}^{-3}$ , y una elevada área superficial, por lo que la aplicación de biochar reduce la densidad aparente total del suelo y favorece el crecimiento de diversas especies vegetales (Guerra, 2015).



*Figura 2. Porosidad de cáscaras de arroz (a) y de biochar derivado de cáscara de arroz(b). Fuente: (Hossain et al., 2020)*

Por otra parte la estructura del biochar puede variar en complejidad, desde estructuras tipo grafito hasta anillos aromáticos de alto peso molecular que otorgan al biochar una estabilidad biológica y química prolongada frente a la degradación microbiana, pues contienen principalmente minerales como calcio, magnesio y carbonatos inorgánicos (Guerra, 2015), para el caso de biocarbón de cáscara de arroz producido a  $550\text{-}600^\circ\text{C}$  se expone en la figura 3 que contiene macronutrientes de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre y sodio, cuyos valores son menores a comparación del biocarbón de cáscara de cacao, residuos agroindustriales de Palma y cáscara de Inchi.

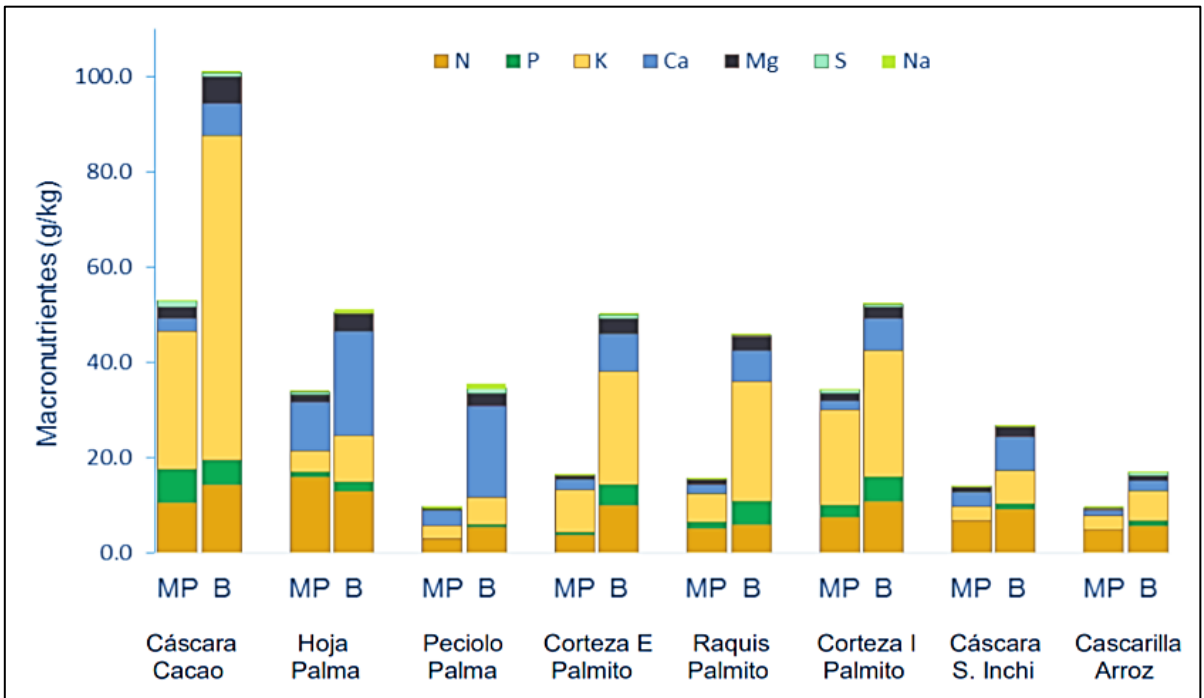


Figura 3. Relación de macronutrientes (g/kg) entre la materia prima (MB) y su respectivo biochar (B). Fuente: (Guerra, 2015)

El biocarbón se produce a través de varias metodologías termoquímicas tales como el pirólisis (lenta, rápida y ultrarrápida), gasificación y conversión hidrotérmica. Así el proceso de pirólisis de la biomasa se condiciona a temperaturas que fluctúan entre los 400 a 600 °C en condiciones muy bajas de oxígeno (Pariona-Palomino et al., 2020), en la cual se obtienen productos sólidos, líquidos y/o vapores en proporciones completamente diferentes, en el caso de los productos sólidos se clasifican en biocarbón y ceniza, mientras que los fluidos líquidos son mayormente biocombustibles o bioaceites, por último, los elementos gaseosos son no condensables, como el dióxido de carbono otros como se muestra en la figura 4, donde se especifica que las aplicaciones de estos productos son para energía y enmiendas en suelos.



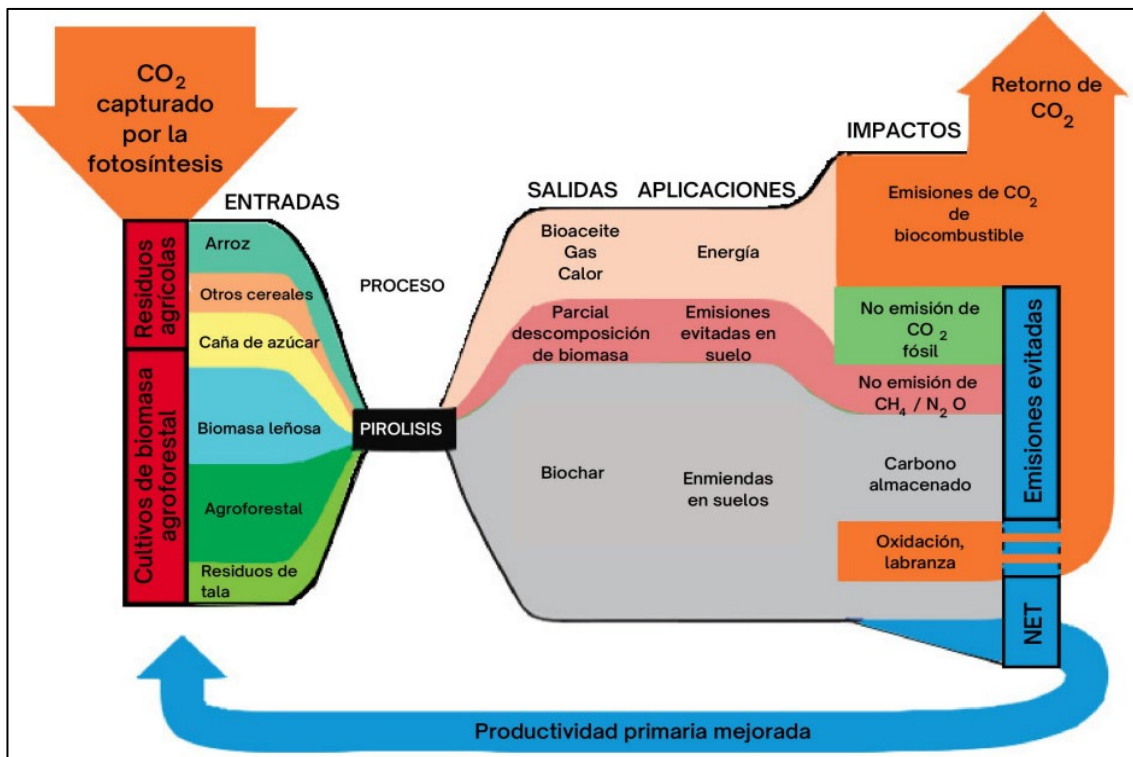


Figura 4. Biochar como tecnología de emisión negativa. Fuente: Woolf et al., 2010 citado por Pariona-Palomino et al., (2020)

Además cuando se desarrolla un proceso de pirólisis a altas temperaturas de hasta 600 °C se obtiene un biochar con elevada composición de carbono, lo cual determina su capacidad recalcitrantes, pero cuando la temperatura de producción es menor a 400 °C se conservan compuestos volátiles en la estructura (Pariona-Palomino, 2020). Mientras que, en la gasificación, la materia residual es incinerada, generando una reacción en el cambio del desperdicio al carbón, cuyo cambio es el mismo que en la pirólisis moderada, y otra reacción con la temperatura más alta, después de la formación del carbón produciéndose el cambio a ceniza (Escalante et al., 2016).

La conversión hidrotérmica consiste en someter el material a temperaturas altas, sumergido en agua, sin permitir que haya ebullición, se ha observado que con este tipo de reacción es posible carbonizar materiales de cáscara de arroz sólidos y se obtienen como productos materiales carbonosos nanoestructurados, de tal manera,

entre los factores que afectan el mecanismo y la cinética de las reacciones en la producción de biocarbón, se encuentran la composición del sustrato (material vegetal), intervalo de calentamiento, temperatura y presión del biorreactor, la atmósfera ambiental presente y el uso de catalizadores, estas variables tienen un efecto profundo en la secuencia y cinética de las reacciones termoquímicas y, por tanto, en el rendimiento de los productos formados (Kambo y Dutta, 2015 citado en Escalante et al., 2016).

Asimismo Liu et al., (2018) indica que tanto la temperatura del proceso de conversión térmica alta como la baja tienen efectos tanto positivos como negativos sobre la absorción de contaminantes en el suelo, uno por mayor superficie y el otro por un gran número de grupos funcionales, en este sentido la naturaleza y el mecanismo básico que explique las interacciones entre cosecha, tipo de suelo, tipo de materia prima es importante para la aplicación de biochar en suelos. Por otro lado, la adsorción es el método que permite eliminar compuestos orgánicos y metales pesados que se encuentren en un medio, presentando una alta eficiencia y es de fácil manejo.

Por consiguiente, el desarrollo de esta enmienda es de bajo costo sirviendo en diversas aplicaciones en la industria química y en el laboratorio mediante la extracción de un tipo de materia de una fase para que esta se concrete en la superficie de otra, la cual mayormente es sólida, de esta manera la sustancia que es adsorbida se le denomina como “adsorbato” mientras que el material que absorbe se le conoce como “adsorbente” (Valladares-Cisneros et al., 2017). Así también los factores que afectan el proceso del método de adsorción son, pH, temperatura, tamaño del bioadsorbente, el tipo y concentración inicial del contaminante, en cuanto al biochar de cáscara de arroz como adsorbente se observaron aumentos de 21-41% en la sorción de Cadmio en suelos saturados y 38-54% en suelos de tierras altas (Khan et al., 2018).

El pH determina el efecto y comportamiento de los metales pesados en el suelo, pues cuando existe un pH bajo, los metales en forma de cationes aumentan su solubilidad en la solución del suelo, mientras que cuando el pH aumenta en el suelo,

también aumenta la capacidad de intercambio catiónico, favoreciendo una lenta permeabilidad e impidiendo la buena absorción de nutrientes (Reyes et al. , 2016). Generalmente el agua que cae sobre los suelos alcalinos se estanca en la superficie haciéndolos buenos receptores de plantas gramíneas o arrozales, asimismo el aumento de la temperatura disminuye considerablemente la adsorción mientras que el tamaño del bioadsorbente condiciona la adsorción física a través de la superficie interna sólida de los poros, donde las moléculas son adsorbidas.

Respecto al tipo y concentración inicial del contaminante se determina la eficiencia del proceso de adsorción, pues cada uno presenta diferentes propiedades químicas y movilidad en el medio, en el caso del cadmio se ha reportado como uno de los elementos químicos contaminantes más tóxicos y prominentes en el suelo, que en su forma de metal puro es blando, dúctil y maleable, de color plateado claro, mientras que en la tabla periódica se identifica con un número atómico de 48 y se ubica en el grupo 12 junto con el mercurio y el zinc, con este último tiene una estrecha relación de asociación en la naturaleza, pero puede sustituir a ambos debido a su carga similar causando inhibición en las actividades de las metaloenzimas de las plantas (Hernández-Baranda et al., 2019).

Además la movilidad del Cd entre diferentes fracciones del suelo puede verse significativamente afectada por ciertas pedovariables como la materia orgánica del suelo y/o la salinidad del suelo, donde la fracción de cadmio fitodisponible puede describirse como la proporción disponible en el suelo que es realmente accesible por las raíces y disponible para la absorción de las plantas (Filipović et al., 2018), para lo cual el cadmio generalmente se transforma en  $Cd^{2+}$  para ingresar a los tejidos vegetales, pues sus iones quelatos no están disponibles tanto para la absorción en las raíces como para la descomposición por microorganismos en el ecosistema, convirtiéndose en un contaminante con alto tiempo de residencia en los suelos (Hernández-Baranda et al., 2019).

Ante ello, el biocarbón de cascarrilla de arroz presenta propiedades que actúan como una emmienda para reducir la movilidad y disponibilidad de cadmio en aquellos

suelos contaminados y a la vez evita la absorción de este contaminante por las plantas (Bashir et al., 2019). De esta manera, la remediación es un método para recuperación de suelo contaminado con el objetivo de separar los cationes de metales pesados de la matriz del suelo, mediante procesos fisicoquímicos, térmicos o biológicos (Gambini, 2020) cuya aplicabilidad en el campo presenta numerosos obstáculos, como un tiempo de operación prolongado, un alto costo químico, un gran consumo de energía, contaminación secundaria y degradación del suelo.

Sin embargo la reciente implicación de la economía circular estimula una demanda de utilización de materiales de desecho para generaciones de productos de valor agregado a escala comercial, a través de una remediación económica y eficiente de las tierras urbanas y agrícolas contaminadas para una perspectiva de desarrollo sostenible (Hossain et al., 2020). Por lo tanto, la remediación con manejo de sistemas biológicos se caracteriza por ser más amigable con el ambiente porque los recursos no son tóxicos y son biodegradables, pues las enzimas microbianas están involucradas directamente en la transformación o degradación de contaminantes (Cota-Ruiz et al., 2018).

Así se incluyen biomineralización mediante síntesis de minerales por organismos vivos o biomateriales, fitoestabilización a través de la inmovilización en raíces de plantas, hiperacumulación por la concentración excepcional de metales en brotes de plantas, bioestimulación que estimula la población microbiana viva, rizorremediación a través de plantas y microbios, micorremediación por medio de la estimulación de hongos vivos y ultrafiltración micelial, cianorremediación que es la estimulación de la masa de algas, la genoremediación a través de un gen estimulante y finalmente la biosorción de biomasa agrícola renovable y microorganismos (Garzón, Rodríguez y Hernández, 2017), donde se encuentra agrupado el biocarbón de cáscara de arroz que permite la absorción de cadmio en el suelo.

El mecanismo de adsorción del biochar, se produce gracias a la relación de las características del biocarbón como su superficie, pH, abundantes grupos funcionales y estructura altamente aromática, las cuales son beneficiosas para la naturaleza del

suelo contribuyendo en la mejora la fertilidad y favorece el secuestro de carbono para mitigar el cambio climático, además permite el control del almacenamiento de agua porque alteran las características de los poros en el suelo (Azeem et al., 2019), es decir, el biocarbón tiene poros dentro de las partículas (intraporos) que proporcionan un espacio adicional para el almacenamiento de agua más allá del espacio poroso entre las partículas (interporos), de esta manera las partículas finas de biocarbón pueden llenar los poros entre las partículas gruesas del suelo, disminuyendo el tamaño de los poros y cambiando la forma interpolara (Liu et al., 2017).

En relación con eso, se ha demostrado que después de un tratamiento con biochar activado, la concentración de agua porosa y agua de poros de Cd en el suelo disminuyó en un 71% y 49%, respectivamente (Lu et al., 2018), además el biocarbón de la cascarilla de arroz, contiene en su estructura tres componentes importantes como la lignina que es un polímero indispensable para potenciar la rigidez de las paredes celulares vegetales, también se encuentra el silicio que se ha reportado como un mineral que mejora la absorción de los nutrientes presentes en el suelo y protege a la planta de la toxicidad por metales como aluminio, cadmio, hierro y manganeso.

En este contexto, Huang et al., (2020) menciona que los minerales que contienen Si dentro del biocarbón favorecieron el intercambio de cationes y la precipitación, que contribuyeron conjuntamente del 59,55% con biocarbón producido a 300 °C al 76,05% con biocarbón producido a 700 °C de la adsorción total, asimismo se ha reportado que la cascarilla de arroz esta compuesta por zinc, el cual ha demostrado reducir las concentraciones de cadmio en tejidos vegetales a través de una absorción competitiva del zinc sobre el cadmio (Rodríguez, McLaughlin y Pennock, 2019). Por ejemplo, Khum-in et al., (2020) consiguio aumentar la concentración de Zn en el grano de arroz en un 14% y un 8%, respectivamente, comparado con el biochar modificado con hierro de valencia cero y biochar sin modificar.

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. Tipo y diseño de investigación

La investigación fue **tipo aplicada** debido a que tuvo el interés en la aplicación o utilización de los conocimientos logrados por la investigación básica o teórica para la solución de problemas inmediatos (Sánchez, Reyes y Mejía, 2018) a través de la sistematización de estudios donde los resultados se orientaron a solucionar la contaminación por cadmio.

El enfoque fue **cualitativo** y de **metodología narrativo** debido a que se utilizó la recolección, análisis de datos, la observación y la descripción de los fenómenos estudiados mediante un nivel longitudinal porque los estudios primarios ya sucedieron los fenómenos (Ñaupas et al., 2018).

El diseño fue **no experimental**, pues los datos se recolectaron sin la manipulación de variables para evitar sesgos en los resultados, por lo que los objetos de estudio fueron los diversos conceptos, factores, características y componentes de la cuestión, los cuales serán explicados según las categorías y subcategorías (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018), mediante un proceso de revisión en bases de datos como ScienceDirect, NCBI y ProQuest para obtener información relevante.

#### 3.2. Categorías, subcategorías y matriz de categorización

Como el trabajo de investigación tuvo enfoque cualitativo se requirió de la categorización de las variables, pues fue uno de los procesos básicos en la distribución o división de los temas a tratar a partir de la organización y recopilación de la información, donde las categorías denotaron un tópico en sí mismo, mientras que las subcategorías detallaron los tópicos en micro aspectos a partir de los puntos

más importantes que surgieron de la formulación de problemas y objetivos de la investigación (Herrera, Guevara y Munster, 2015).

### **3.3. Escenario de estudio**

La investigación de revisión sistémica no estuvo sumergida en un escenario de estudio específico, más que las condiciones de producción de biocarbón de cascarilla de arroz, según la metodología por cada autor de los participantes, las cuales ayudaron al investigador a sumergirse en los elementos que estructuran el fenómeno para poder obtener comprensión y que los lectores se sientan identificados con el investigador favoreciendo la empatía, confianza y seguridad (Guerrero-Castañeda, Menezes y Ojeda, 2017).

### **3.4. Participantes**

En el presente trabajo no se asumen participantes directos sino que se tuvieron los participantes de acuerdo a la línea de investigación que están buscando por tanto estos fueron los estudios primarios. Los cuales estuvieron accesibles en línea en las bases de datos como ScienceDirect, NCBI y ProQuest que se obtuvieron mediante la utilización de ecuaciones y conectores de búsqueda establecidos según las palabras claves con el fin de conseguir los artículos investigaciones primarias ideales para la revisión (García-Peñalvo, 2017) que cumplieron los criterios de inclusión, de esta manera se resumio estructuradamente la información disponible en múltiples artículos y fuentes de datos con altos niveles de confiabilidad para responder los objetivos de la investigación (Moreno et al., 2018).

De esta manera, las estrategias iniciales de búsqueda identificaron un total de 2 692 referencias de artículos, las cuales fueron objeto de sucesivos filtros conforme a los objetivos de la revisión, resultando 908 artículos correspondientes a estudios primarios, que nuevamente fueron filtrados y examinados en la etapa de selección de acuerdo con el título y resumen obteniendo así 130 artículos relevantes, luego se revisaron el contenido completo de 73 estudios hasta que finalmente se consideraron 40 investigaciones que pasaron a revisión sistémica.

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

La técnica empleada en la investigación fue la observación indirecta de análisis documental mediante un procesamiento analítico y sistemático que incorporó la descripción bibliográfica de las fuentes para obtener información de la realidad documentada, organizándola mediante un conjunto de estrategias de forma sistematizada en un registro de la observación de la investigación y facilitar la comprensión (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018).

El instrumento que fue empleado para la recolección de datos se desarrolló en una ficha de revisión de contenido que se encuentra detallado en el Anexo N°1, el cual recopiló el año, lugar de publicación, tipo de investigación, autor, palabras claves, problema, objetivos, resultados, y todo que fue relevante para la investigación, estos estuvieron sistematizados y ordenados adecuadamente, para obtener los resultados que se requirieron (García-Perdomo, 2018).

### **3.6. Procedimiento**

El protocolo de búsqueda emprendió con la planificación previa que se basa en describir las preguntas, los objetivos, los términos claves y los criterios de inclusión para garantizar su alineación en los métodos de revisión en las bases de datos (Lockwood, 2019) así se registró las palabras claves “adsorción”, “cadmio”, “biocarbón” y “cascarilla de arroz” en idioma inglés con una estrategia de búsqueda más eficiente aplicando operadores lógicos (adsorption AND cadmium AND biochar AND rice AND husk).

En una primera etapa, los artículos fueron obtenidos mediante una replicación literaria de los datos especificados de acuerdo con las categorías y subcategorías planteadas mediante una selección de palabras de texto contenidas en el título y el resumen, y el artículo, mientras que en la segunda etapa se desarrolló lecturas tanto directas que requirió la auditoría secuencial de los datos obtenidos dentro de las fuentes bibliográficas, como transversales que permitió la comparación de las fuentes



de las categorías conectadas para reconocer los vacíos y deficiencias de investigación, así como la cantidad y calidad de los datos sobre el tema estudiado.

Para ello se consideraron criterios de inclusión y exclusión con el fin de suprimir los sesgos de selección como se muestra en la tabla 3, de tal manera se incluyeron artículos publicados en los últimos cinco años, con respecto a la remediación de suelos salinos contaminados con cadmio mediante biocarbón de la cascarilla de arroz, considerando tanto las metodologías de producción como las características de adsorción del biocarbón y los impactos positivos y negativos de la aplicación del biocarbón en los suelos salinos, por el contrario se excluyeron los estudios de aplicación de biochar en suelos sin estrés salino y aquellos publicados en revistas no indexadas porque no representaron confiabilidad en sus resultados.

**Tabla 2.**  
Criterios de selección de artículos potenciales.

<b>Criterios de inclusión</b>	<b>Criterios de exclusión</b>
Investigaciones publicadas en el período 2016-2021	Investigaciones publicadas antes del periodo 2016
Investigaciones publicadas en revistas indexadas	Investigaciones publicadas en revistas no indexadas
Investigaciones publicadas en idioma inglés y español	Investigaciones publicadas en otros idiomas
Investigaciones sobre remediación de cadmio.	Investigaciones de remediación de otros contaminantes
Investigaciones sobre suelos contaminados.	Investigaciones sobre receptores de contaminación.
Investigaciones publicadas a nivel mundial	Investigaciones que no contengan controles apropiados

Finalmente, en la tercera etapa se desarrolló el análisis de la información mediante observaciones sobre los descubrimientos dentro de las fuentes, los cuales fueron expuestos sistémicamente en los resultados, discusiones y conclusiones de la investigación según los requerimientos necesarios, como se muestra en la figura 5.

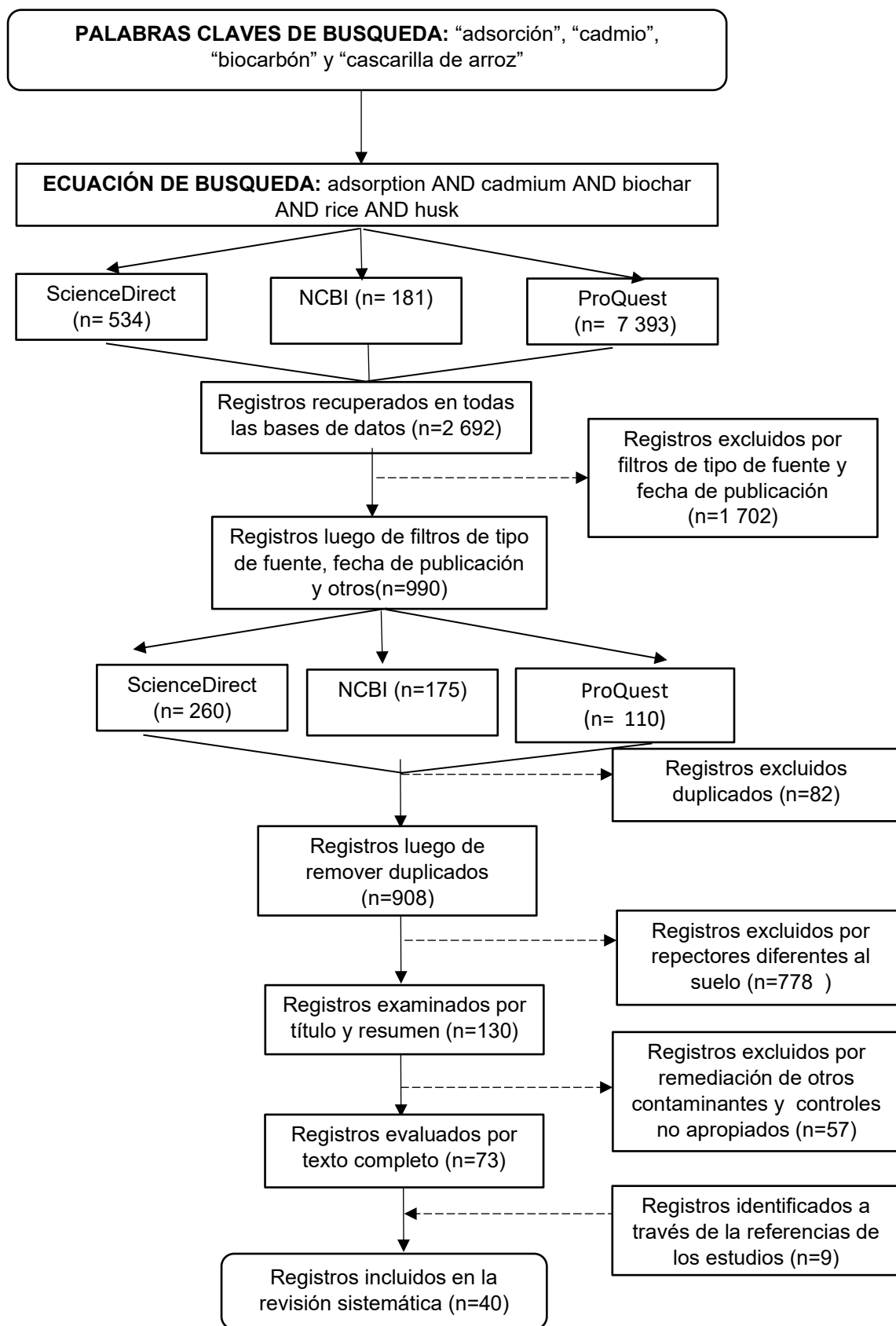


Figura 5. Flujograma de los procedimientos de la revisión sistemática.

### **3.7. Rigor científico**

La evaluación de la calidad de los estudios seleccionados se relacionó con el proceso de rigor científico. En este aspecto, Peersman (2014) consideró que los aspectos de calidad de los datos son:

- Validez: los datos miden lo que se pretende que midan los valores de remoción de cadmio en suelos salinos.
- Fiabilidad: los datos se miden y recopilan de forma coherente de acuerdo con las definiciones estándar y metodologías de producción de biocarbón de cascarilla de arroz.
- Exhaustividad: se incluyen todos los elementos de datos sobre el proceso de la aplicación del biocarbón en los suelos salinos.
- Precisión: los datos tienen suficiente detalle en relación con las características de adsorción del biocarbón de la cáscara de arroz que influyen en la adsorción de cadmio en suelos salinos.
- Integridad: los datos están protegidos contra prejuicios deliberados o manipulación por motivos políticos o personales.
- Puntualidad: los datos están actualizados ya que se obtienen datos de artículos publicados en los últimos cinco años.

### **3.8. Método de análisis de datos**

El análisis método de análisis que se aplicó en la investigación fue el análisis crítico durante las lecturas generalizadas de los estudios primarios para construir un pensamiento crítico, evitar errores sistemáticos en todas las etapas de la investigación y reconocer vacíos a indagar para nuevos pensamientos modernos (García-Perdomo, 2018), para ello se elaboraron diferentes tablas de excel en función de lo que estaba especificado en la matriz de categorización que con la finalidad de agrupar cada tipo de datos en referencia con los objetivos planteados para facilitar la comprensión de la sistematización sobre el proceso de remediación de cadmio mediante la aplicación de biocarbón de cascarilla de arroz de acuerdo a las categorías y subcategorías para

servir de referencia bibliográfica para los lectores interesados en desarrollar tal tecnología de remediación en experimentaciones in situ o ex situ.

Asimismo, se desarrolló el análisis descriptivo e interpretativo de manera narrativa con métodos sistemáticos y explícitos, que se eligieron con el fin de minimizar sesgos, aportando resultados más fiables para poder extraer conclusiones y tomar decisiones (Elliott et al., 2017), indicando un tópico de los elementos significativos en los microaspectos para el desarrollo de los objetivos formulados (Herrera et al., 2015). Así se realizó un proceso riguroso y transparente en la búsqueda minuciosa de investigaciones primarias con el objetivo de representar situaciones experimentadas con disimilitudes en las variables que suceden de manera natural entre dos o varios casos más en unidades de estudio.

### **3.9. Aspectos éticos**

En todo lo mencionado en este proyecto de investigación, se ha respetado el derecho de autor, con citas de información claras y puntuales para poder así relacionarlas con nuestro tema de investigación según la norma vigente de la Universidad César Vallejo que regulan la honestidad, sinceridad y lealtad de los investigadores, además, a través de la política ambiental todo proyecto y ejecución de los trabajos se realizará siempre teniendo presente ser amigable con el ambiente. También la autora del presente trabajo de investigación, estará sometido a recibir las sanciones e infracciones (Universidad César Vallejo, 2020).

Asimismo, la información expuesta fue utilizada únicamente para el desarrollo de este proyecto de investigación, siendo real y original porque se ha comprado en un análisis de plagio por el turnitin que realizó un reporte de similitud con otros documentos que forman parte de la base de datos del sistema, de esta manera la investigación tuvo una similitud de 12%, el cual se encuentra dentro de los rangos menores del 25%, demostrando así que la presenta investigación tuvo una originalidad de información.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Metodologías de producción de biocarbón de cascarilla de arroz

En la Tabla 3, producción de biocarbón de cascarilla de arroz, se describió los principales efectos que ocasiona el uso de agroquímicos en el recurso suelo:

**Tabla 3.**

Producción de biocarbón de cascarilla de arroz

Autor	Técnica de producción	Temperatura (°C)	Equipos	Tiempo (min)
Yang, Liu y Lu, (2021)	Pirólisis lento	650	Mufle horno	60
Bicalho et al., (2017)	Pirólisis lento	430	No se encontró datos.	210
Ghorbani, (2019)	Pirólisis lento	500	No se encontró datos.	45
Singh et al., (2018)	Pirólisis lento	300	Tambor	40
Zhang et al., (2020)	Pirólisis lento	550	Reactor de lecho fijo	60
Abbas et al., (2018)	Pirólisis lento	700	Horno de tubo	90
Sun et al., (2018)	Pirólisis lento	600	No se encontró datos.	30
Jia et al., (2018)	Pirólisis lento	700	horno de mufla	180
Huang et al., 2020	Pirólisis lento	700	horno de mufla	60
Li et al., (2019)	Pirólisis lento	600	Horno	60
Lu et al., (2017)	Pirólisis lento	500	No se encontró datos.	30
Velázquez-Maldonado et al., (2019)	carbonización hidrotérmica	200	Reactor	19
Deng et al., (2020)	Pirólisis lento	350	Tanque	60
Rehman et al., (2020)	Pirólisis al vacío	460	horno de tubo	90
Wang et al., (2020) <sup>b</sup>	Pirólisis lento	500	Microondas	180
Zhang et al., (2020) <sup>b</sup>	Pirólisis lento	250	Horno de mufla	60
Long et al., (2019)	Pirólisis lento	600	No se encontró datos.	60
Chen et al., (2018)	Pirólisis lento	200	Microondas monomodo	30

Khum-in et al., (2020)	No se encontró datos.	600	No se encontró datos.	No se encontró datos.
Chen et al., (2019)	Gasificación	1000	No se encontró datos.	100
Suksabye et al., (2016)	Pirólisis lento	550	Barril	120
Ultra, Nunez y Lee, (2016)	Pirólisis rápida	400	Reactor	60
Yunilasari, Sufardi y Zaitun, (2020)	Pirólisis lento	600	Tambor	60
Oladele, (2019)	Pirólisis lenta	400	Reactor	No se encontró datos.
Linam et al., (2020)	Gasificación	900	Horno	130
Rizwan et al., (2019)	Pirólisis lento	450	Horno de mufla	120
Meng et al., (2018)	Pirólisis lento	500	Microondas	180
Jiao-Feng et al (2018)	Pirólisis lento	250	Horno de mufla	60
Hong Yan et al., (2019)	Pirólisis lento	300	Horno	240
Molecules, (2020)	Carbonización	600	Horno	60
Zheng et al., (2017)	Carbonización	500	Horno	180
Bashir et al., (2019)	Pirólisis lento	350	Horno de mufla	30
Wang et al., (2020) <sup>a</sup>	Gasificación	800	Horno de carbonización	120
Li et al. (2019) <sup>b</sup>	Pirólisis lento	500	Horno de mufla	30
Wang et al (2017)	Pirólisis lento	700	No se encontró datos.	60
Kameyama et al. (2019)	Pirólisis lento	800	Horno eléctrico	60
Jing et al. (2020)	Pirólisis lento	500	No se encontró datos.	120
Erdem (2021)	Pirólisis lento	600	No se encontró datos.	60
Tsai et al. (2021)	Pirólisis lento	900	horno de lecho fijo	90
Alhinai et al. (2018)	Pirólisis lento	400	horno de lecho fijo	180

Las metodologías de producción condicionan las características del biocarbón que influyen en el proceso de absorción del cadmio en el suelo, de esta manera es importante determinar la temperatura y tiempo de calentamiento. Así luego de la revisión sistémica de los artículos se identifico que los valores de temperatura varía

desde 200 a 1000 °C, como se puede apreciar en la figura 6. Además se identificó que el tiempo de producción de biocarbón se encuentra en el rango de 15 minutos a 240 minutos como se muestra en la figura 7, lo cual en función con la temperatura que permite determinar el tipo de proceso realizado en la obtención de biocarbón.

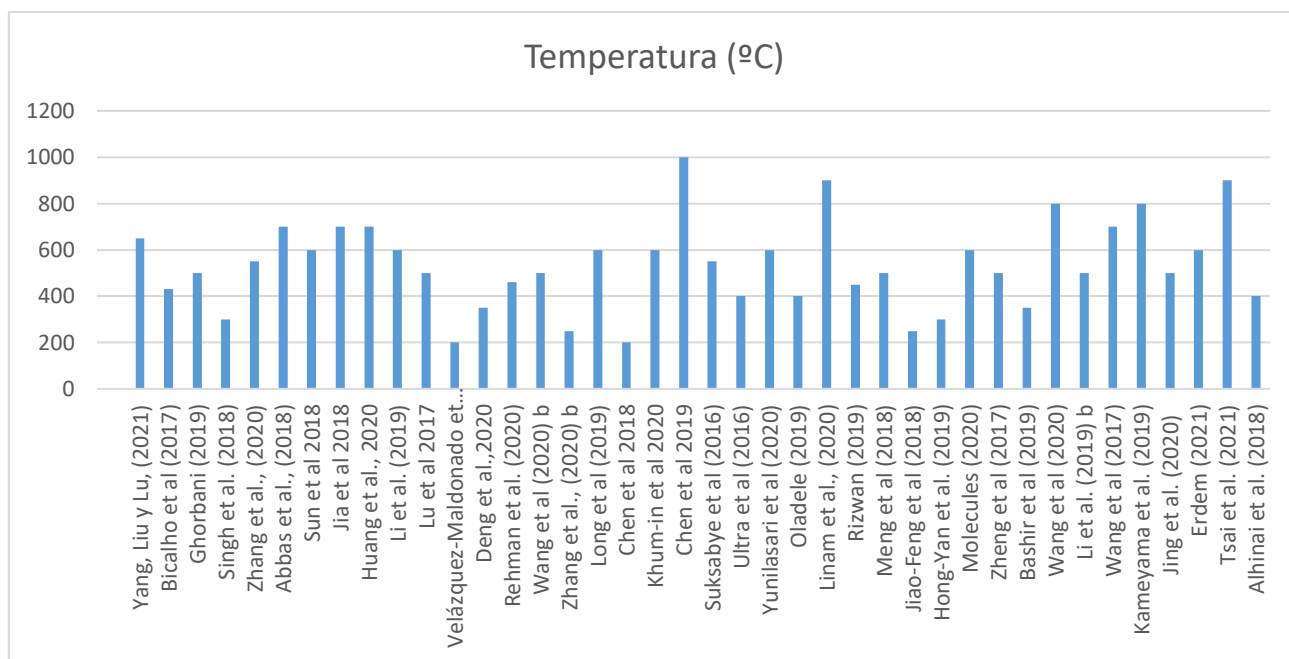


Figura 6. Temperatura de producción de biocarbón según los artículos revisados.

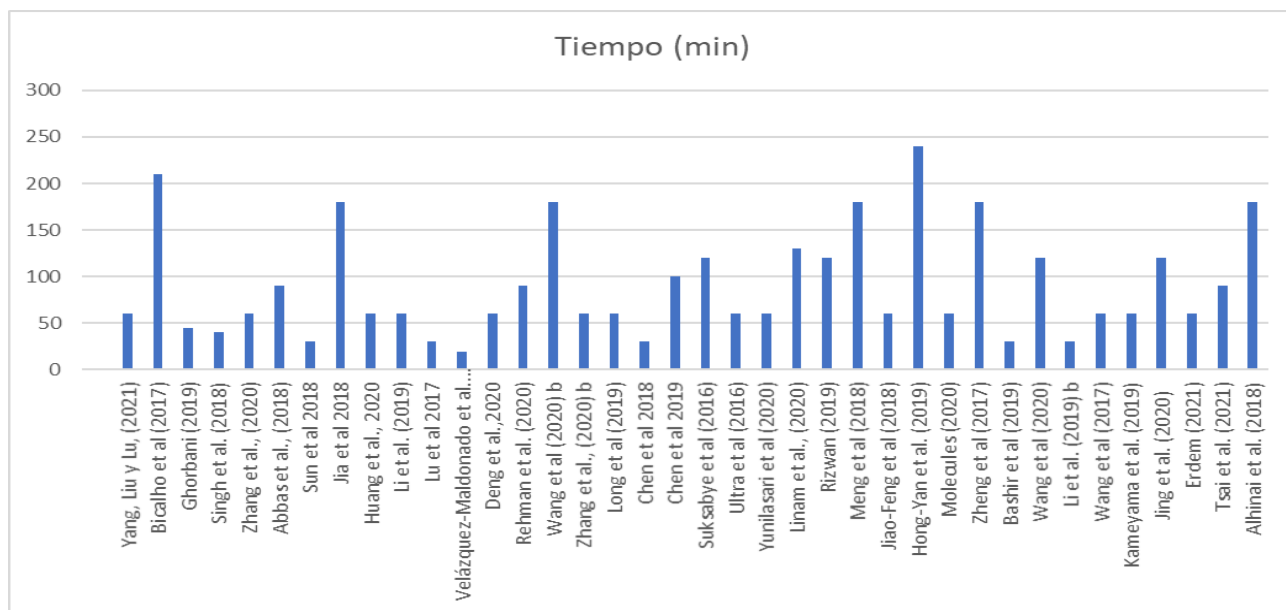


Figura 7. Tiempo de producción de biocarbón según los artículos revisados.

Por otro lado, con respecto a los equipos para la producción de biocarbón de cáscara de arroz, según las referencias bibliográficas se emplea hornos muflas, microondas, reactores, tanques y barriles. Asimismo de manera general se puede evidenciar que el tipo de método principal para la conversión térmica de cáscara de arroz fue pirólisis lento con la finalidad de obtener mejores resultados en las características del producto de biocarbón.

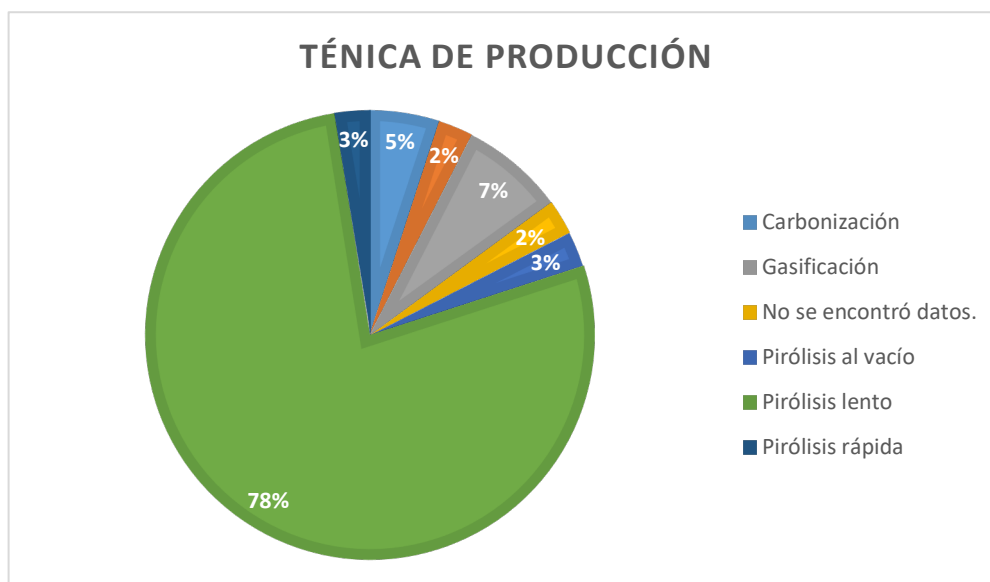


Figura 8. Técnica de producción de biocarbón según los artículos revisados.

Por otro lado, las características del biocarbón están determinadas especialmente por las materias primas del biocarbón y los procesos de pirólisis, en este contexto Yang, Liu y Lu (2021) examinaron las características de los poros de biocarros de cáscara de arroz producidos a temperaturas de pirólisis de 250, 350, 450, 550 y 650 ° C, así se encontró que la temperatura de pirólisis de alrededor de 450 ° C era la condición óptima para producir biocarbón con mayor porosidad.

De esta manera, Linam et al., (2020) observa que la liberación de Si disminuyó con la temperatura de pirólisis en el orden general: cáscara sin carbonizar > 450 ° C > 600 ° C = 750 ° C = 950 ° C pero esas diferencias no se debieron al SiO<sub>2</sub> cristalización al aumentar la temperatura. Además, al controlar los cambios de pH / efecto de



encalado, las isotermas de adsorción mostraron una adsorción de Cd que se vio favorecida en biocarbón a temperatura más alta (950 ° C) y no se predijo bien por la capacidad de intercambio catiónico (CEC). Similarmente Li et al., (2019) coincide que de 300 a 700°C, el rendimiento de biocarbón de la cáscara de arroz fue de 37,52 a 23,32%, donde al aumentar la temperatura de pirólisis, el contenido de carbono disminuyó gradualmente en el biocarbón de cáscara de arroz.

Sin embargo, el efecto de las condiciones operativas y el tamaño de la materia prima sobre la distribución del rendimiento es estudiado por Abbas et al., (2018)<sup>a</sup>, donde evidencia que el contenido de biocarbón disminuye de 38,96 ± 0,86% a 4,20 ± 0,62% con el aumento de temperatura (300-700 ° C). Otras condiciones operativas de pirólisis y tamaño de partícula de biomasa también influyen de los VCs, en todos los casos, el contenido de volátiles es menor al 10% excepto el tiempo de retención de 15min (10.17 ± 0.87%), tal como se muestra en la siguiente figura:

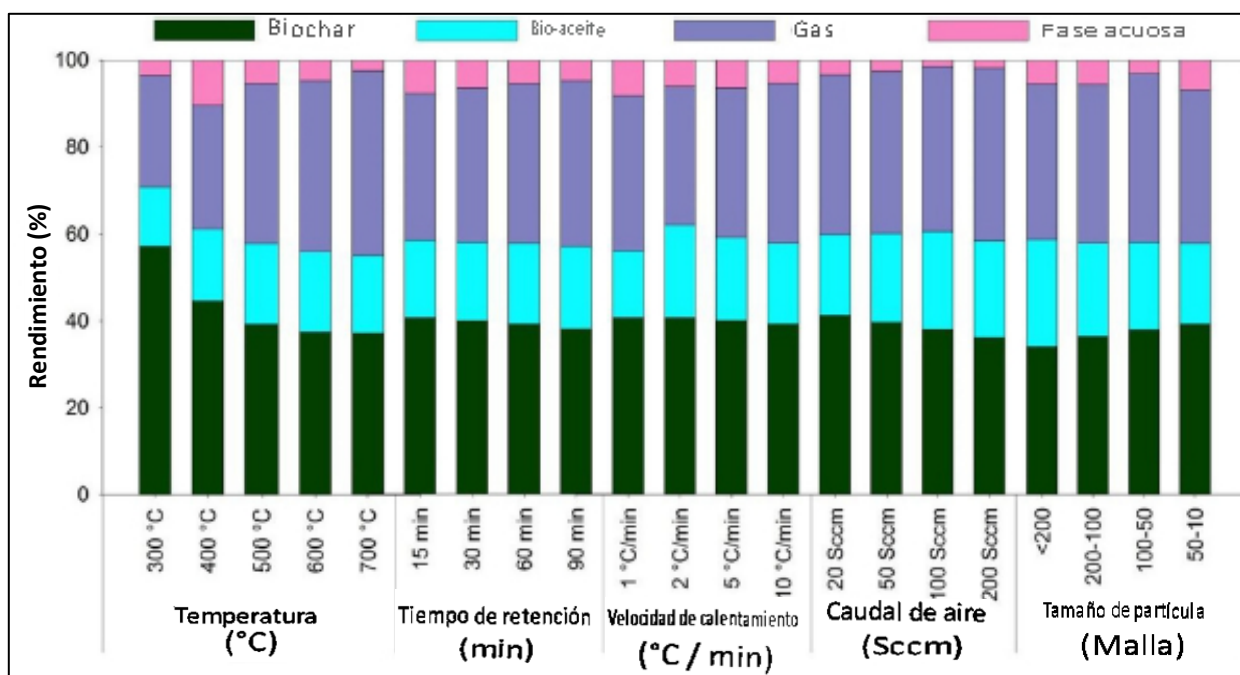


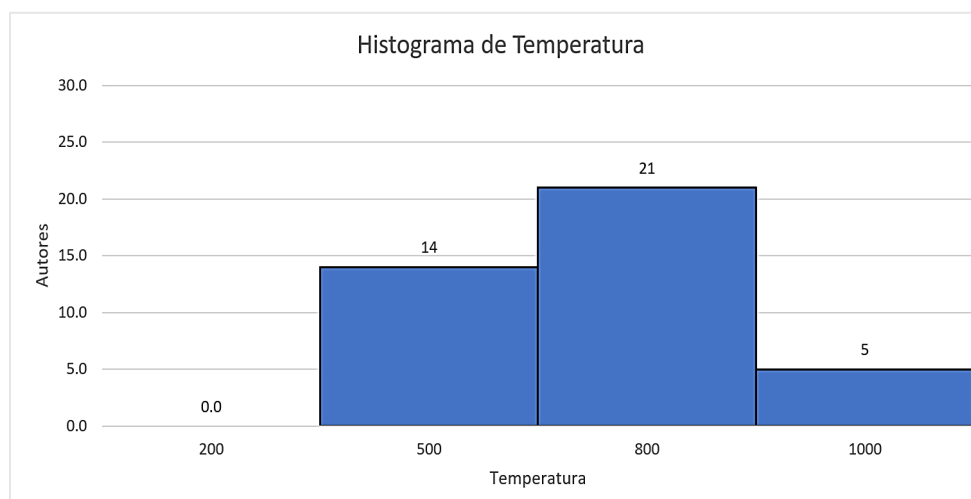
Figura 9. Rendimiento de productos de pirólisis. Fuente: (Abbas et al., 2018).

Además Huang et al., (2020) concuerda que el rendimiento de biocarbón disminuyó considerablemente cuando la pirólisis se realizó a 500 ° C en lugar de 300 ° C, y fue marginalmente menor aún a 700 ° C. En general, se puede evidenciar que los autores coinciden o difieren en ciertos aspectos de las metodologías para obtener biocarbón, por lo tanto se realizó gráficos estadísticos de histogramas con la finalidad de demostrar la tendencia o grado de acuerdo entre los valores de los parámetros de producción de biocarbón de cascarilla de arroz y todas las partes que componen la muestra, es decir, los 40 artículos revisados.

**Tabla 4.**

Grado de acuerdo entre el parámetro de temperatura y los autores de la muestra.

Temperatura (°C)	Porcentaje (%)	Autores
200	0	0.0
500	35.0	14.0
800	52.5	21.0
1000	12.5	5.0
<b>Total</b>	<b>100.0</b>	<b>40.0</b>



*Figura 10. Histograma de la temperatura*

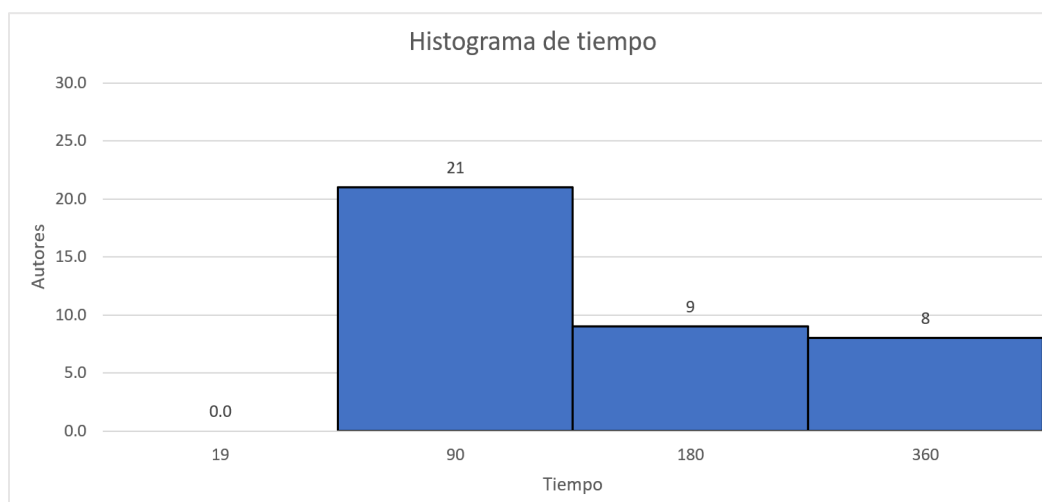
En la tabla 4 y figura 10 se puede observar que ningún autor realiza transformación de cáscara de arroz a biorcarbón en temperaturas menores de 200 °C, no obstante a partir de ese nivel hasta 500 °C, se encontró que 14 autores que

representan el 35% de la muestra coinciden en la producción de biocarbón en ese rango, mientras que otros 21 autores que abarcan el 52.5%, efectúan temperaturas de 500 °C a 800°, y en menor cantidad, es decir, tan solo 5 autores realizan biocarbón en calentura de 800°C a 1000°C.

**Tabla 5.**

Grado de acuerdo entre el parámetro de tiempo y los autores de la muestra.

Tiempo (min)	Porcentaje (%)	Autores
19	0	0.0
90	52.5	21.0
180	22.5	9.0
360	20.0	8.0
No se encontró dato	5.0	2.0
<b>Total</b>	<b>100.0</b>	<b>40.0</b>



*Figura 11. Histograma de la tiempo*

En la tabla 5 y figura 11 se puede evidenciar que el 52.5% de los autores requieren tiempos mayores de 19 hasta 90 minutos para producir biocarbón de cascarilla de arroz, y el resto emplea procesos con mayores minutos, tal es el caso del 22.5% y 20% de autores que desarrolla biocarbón en tiempos de 90 a 1800 y de 180 a 360 minutos respectivamente. Sin embargo, el 5% de los autores no reporta datos sobre este parámetro.

#### 4.2. Características de adsorción del biocarbón de la cáscara de arroz que influyen en la adsorción de cadmio en suelos salinos.

**Tabla 6.**

Características de adsorción del biocarbón de la cáscara de arroz que influyen en la adsorción de cadmio en suelos salinos.

Autor	Temperatura de pirólisis	%C	%H	Área superficial (m <sup>2</sup> /g)	pH
Yang, Liu y Lu, (2021)	650	39,75	1,73	14.326	11.15
Ghorbani, (2019)	500	47,8	2.43	No se encontró datos.	9.18
Abbas et al., (2018)	700	72,55	1,65	7,82	12,63
Sun et al., (2018)	600	21,8	0,97	137	8.51
Jia et al., (2018)	700	28.44	1	406.244	9.42
Huang et al., 2020	700	56,99	1,15	242.53	10,72
Lu et al., (2017)	500	50.8	1.72	36.7	10
Chen et al., (2018)	200	49.03	2.18	No se encontró datos.	No se encontró datos.
Chen et al., (2019)	1000	52,47	1.51	41.412	5-9
Suksabye et al., (2016)	550	9.65	4.34	136	8.3
Ultra, Nunez y Lee, (2016)	400	44.62	No se encontró datos.	32.8	7.38
Linam et al., (2020)	900	38.94	0, 84	106.59	8.1
Rizwan et al., (2019)	450	72,55	1,65	7,82	12,63
Meng et al., (2018)	500	44.23	2.15	32,9	7.3
Jiao-Feng et al (2018)	250	52.47	2.51	124.11	3.4
Hong Yan et al., (2019)	300	12.96	3.57	218	9.2
Molecules, (2020)	800	50	1.7	204.579	10.2
Bashir et al., (2019)	350	54.20	2.22	202	9.3
Li et al.	500	No se encontró	No se	No se	7,84

(2019) <sup>b</sup>		datos.	encontró datos.	encontró datos.	
Wang et al (2017)	700	56	1,29	27,66	No se encontró datos.
Kameyama et al. (2019)	800	39	0,3	No se encontró datos.	10,4
Erdem (2021)	600	No se encontró datos.	No se encontró datos.	234	11,2
Tsai et al. (2021)	900	45,28	5,51	280	No se encontró datos.
Alhinai et al. (2018)	400	57.99	1.44	No se encontró datos.	No se encontró datos.

En el estudio Abbas et al., (2018) se demuestra que el material de biomasa de la materia prima (cáscara de arroz) tiene una naturaleza ligeramente ácida (pH 6,34) y extremadamente salina (CE 17,98 dSm<sup>-1</sup>). La ceniza, materia volátil (VM), fiEl contenido de carbono y humedad fijados (CM) de la cáscara de arroz (HR) como materia prima fue del 13,70%, 63,46%, 16,89%, 5,95%, respectivamente. La composición elemental fue carbono (42,70%), hidrógeno (6,01%), nitrógeno (1,20%), azufre (0,42%) y oxígeno (35,97%) sin humedad y el valor calorífico superior (HHV) fue de 17,32 MJ kg<sup>-1</sup>. En cambio Zhang et al., (2020) observó un pequeño aumento en la alcalinidad de los biocarros modificados (pH de 8,29 a 9.23) que puede explicarse por el aumento de grupos hidroxilo y carboxilo en la superficie de cada biocarbón, además el área de superficie y el volumen acumulado se deben al efecto de formación de poros del K + sobre el biocarbón, donde se mostraron un área de superficie BET en el rango de 288,84 a 333,96 m<sup>2</sup>·gramo<sup>-1</sup>, lo que es válido para los volúmenes de poros en el rendimiento de inmovilización de metales pesados.

Además, el tamaño de poros determina la capacidad de absorción, por ejemplo Chen et al., (2019) estudió esta característica del biocarbón mediante microscopía electrónica de barrido de biocarros modificados que se muestra en la figura 12, donde (A) respresenta los biocarros de cáscara de arroz cruda, (B) respresenta los biocarbón crudo modificado mediante la adición de 0,5 g de dihidrocloruro de cistamina y 25 ml

de glutaraldehído (2%), (C) representa los biocarbón crudo modificado mediante la adición de 0,75 g de diclorhidrato de cistamina y 25 ml de glutaraldehído (2%) y finalmente (D) representa los polímero modificado en la superficie de biochars.

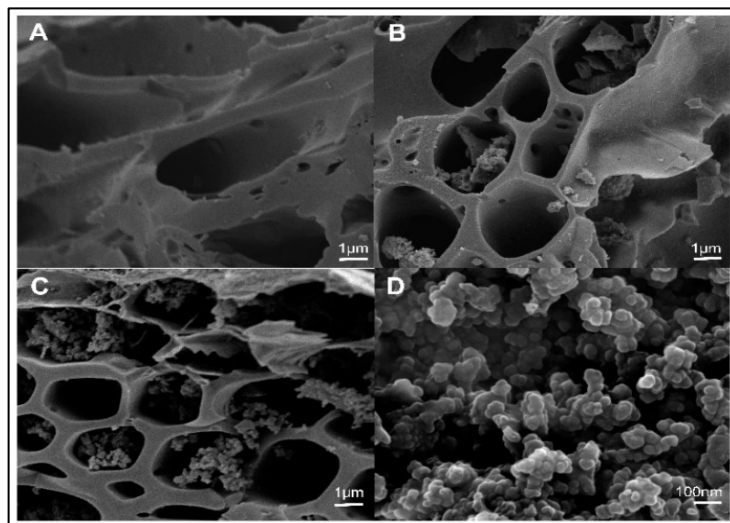


Figura 12. Porosidad de biocarbón crudo y modificado con cistamina. Fuente: Chen et al., (2019)

**Tabla 7.**

Grado de acuerdo entre el contenido de carbono y los autores de la muestra.

Carbono (%)	Porcentaje (%)	Autores
9	0	0.0
40	29.2	7.0
80	62.5	15.0
No se encontró dato	8.3	2.0
<b>Total</b>	100.0	24.0

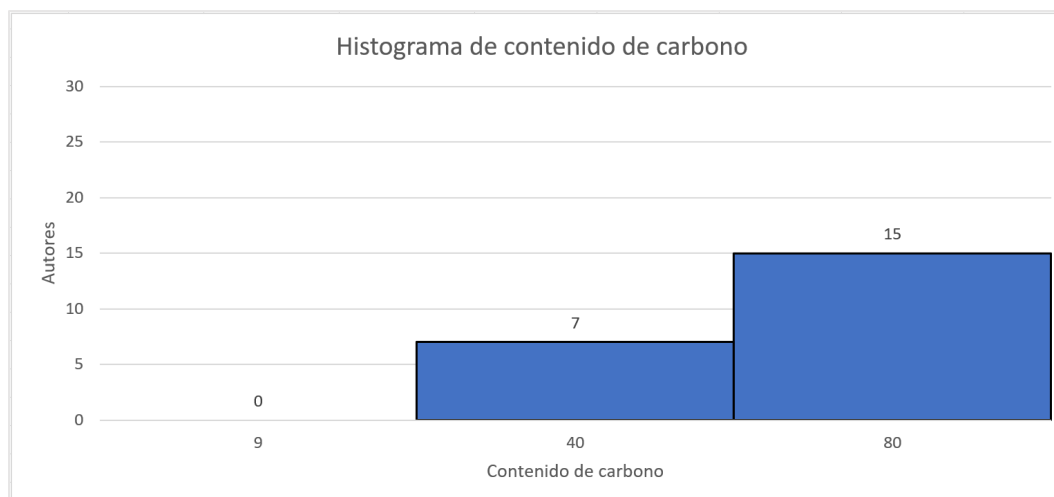


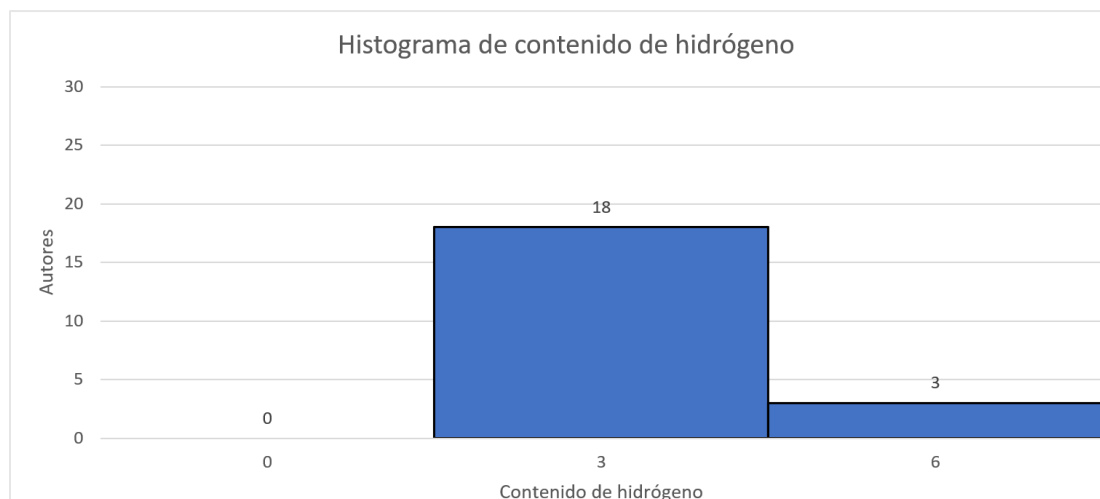
Figura 13. Histograma de la composición de carbono en el biocarbón.

En la tabla 7 y figura 13 se puede observar que del total de la muestra, tan solo en 24 artículos revisados se desarrolla el estudio de las características del biocarbón de cáscara de arroz, de los cuales el 29.2% obtuvo biocarbón con valores de 9 a 40% de contenido de carbono, mientras que la mayoría, es decir, el 62.5% de los autores adquirió biocarbón con alto contenido de carbono en niveles de 40 a 80%. Por otro lado en un 8.3% de la muestra no se encontró datos con respecto a la composición de carbono.

**Tabla 8.**

Grado de acuerdo entre el contenido de hidrógeno y los autores de la muestra.

Hidrógeno (%)	Porcentaje (%)	Autores
0	0	0
3	75.0	18
6	12.5	3
No se encontró dato	12.5	3
<b>Total</b>	100.0	24.0



*Figura 14. Histograma de la composición de hidrógeno en el biocarbón.*

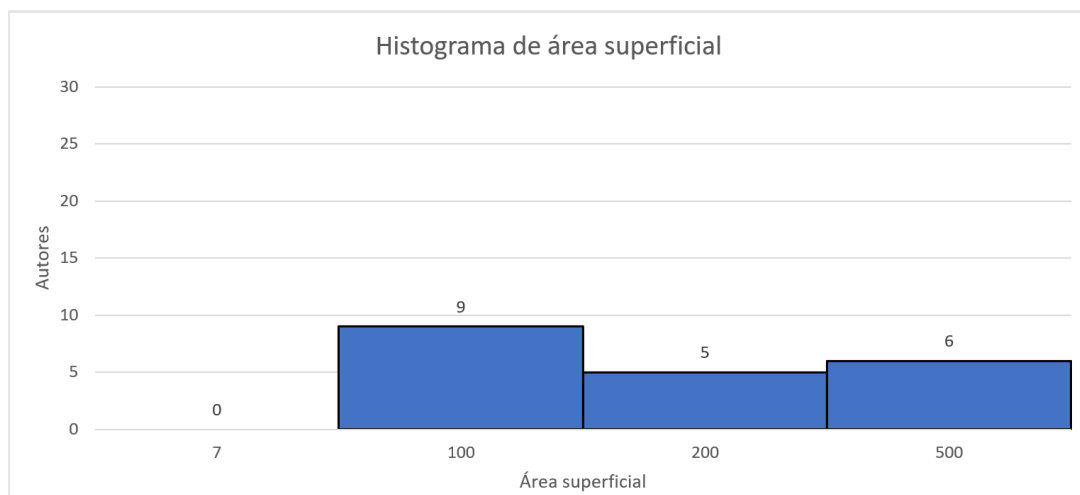
En la tabla 8 y figura 14 se puede evidenciar que la composición de hidrógeno en los productos de pirólisis es generalmente por debajo de 3%, pues el 75% de los autores indican este rango para la característica del biocarbón, por otro lado el 12.5% de los autores obtienen de 3 a 6 % de contenido de hidrógeno en su biocarbón. Sin embargo, otro 12.5% de la muestra no especifica información sobre esta característica.

**Tabla 9.**

Grado de acuerdo entre el área superficial y los autores de la muestra.

Área superficial (m <sup>2</sup> /g)	Porcentaje (%)	Autores
0	0	0
100	37.5	9
200	20.8	5
500	25.0	6
No se encontró dato	16.7	4
<b>Total</b>	100.0	24.0





*Figura 15. Histograma del área superficial en el biocarbón.*

En la tabla 9 y figura 15 se puede observar que 37.5% de los autores coincidieron en producir biocarbón con características de área superficial en un rango de 0 a 100 m<sup>2</sup>/g, asimismo el 20.8% de 100 a 200 m<sup>2</sup>/g y el 25% de 200 a 500 m<sup>2</sup>/g, no obstante el 16.7% de la muestra no menciona la composición de área superficial en sus resultados.

**Tabla 10.**

Grado de acuerdo entre el pH y los autores de la muestra.

pH	Porcentaje (%)	Autores
3	0	0
8	20.8	5
13	62.5	15
No se encontró dato	16.7	4
<b>Total</b>	100.0	24.0

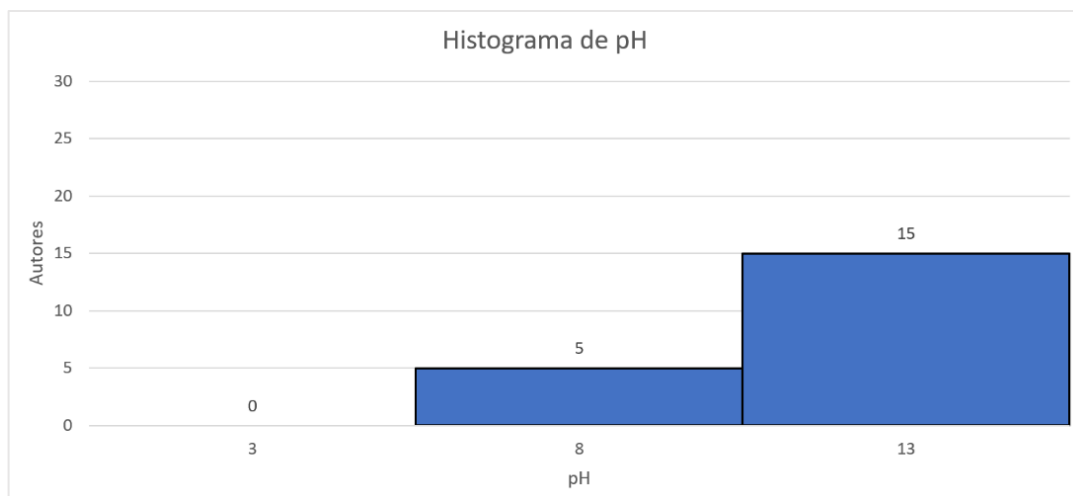


Figura 16. Histograma del pH en el biocarbón.

En la tabla 10 y figura 15 se puede evidenciar que un 62.5% de la muestra obtuvo biocarbón con niveles de 8 a 13 de pH, mientras que el 20.8% en un pH oscilante de 3 a 8, además es importante señalar que el 16.7% de la muestra no indica la característica de pH en sus resultados.

#### 4.3. Proceso de la aplicación del biocarbón en los suelos salinos

Autor	Modificación química	Tiempo de contacto (días)	Remoción de cadmio (%)
Li et al., (2019)	nitrito ferroso ( $\text{Fe}(\text{NO}_2)_2$ )	No se encontró datos.	80
Zhang et al., (2020)	fosfato de potasio ( $\text{K}_3\text{PO}_4$ )	60	24
Sun et al., (2018)	Permanganato de potasio ( $\text{KMnO}_4$ )	No se encontró datos.	87
Huang et al., 2020	Sin modificación	35 días	44,49
Chen et al., (2018)	peróxido de urea-hidrógeno (UHP)	1400 min a 100 min	48,98
Khum-in et al., (2020)	hierro de valencia cero (BZVI)	84 días	74
Chen et al., (2019)	cistamina $\text{NH}_2 - (\text{CH}_2)_2 - \text{SS} - (\text{CH}_2)_2 - \text{NH}_2$	1080 min	80
Suksabye et al., (2016)	Sin modificación	90 días	33.27
Ultra, Nunez y Lee, (2016)	Sin modificación	120 días	40

Linam et al., (2020)	Sin modificación	20 min	65,1
Rizwan et al., (2019)	Catalizadores de hierro	24 h	1.52
Jiao-Feng et al (2018)	Sin modificación	30 min	90
Hong Yan et al., (2019)	Aluminio	2 h	58,8
Zheng et al., (2017)	Silice	84 días	21
Bashir et al., (2019)	Ácido fosfórico	4 días	3,7
Wang et al., (2020) <sup>a</sup>	tricloruro férrico (FeCl <sub>3</sub> )	15 días	63,46
Li et al. (2019) <sup>b</sup>	Sin modificación	2 meses	56

En este contexto, Sun et al., (2018) desarrollo un biocarbón magnético tratado con KMnO<sub>4</sub> (FMBC) se sintetizó con éxito mediante la adición de Fe (NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> durante la carbonización y KMnO<sub>4</sub> como se muestra en la figura 8, el cual sirvió como un tratamiento posterior para la adsorción de cadmio cuyo rendimiento apenas estuvo influenciado por la fuerza iónica y el ácido húmedo. Por otro lado, Chen et al., (2019) modifico biocarros de la manera como se muestra en la figura 9, donde las muestras se disolvieron en una solución de glutaraldehído (2%, 25 ml) y luego se agitaron a 160 rpm durante 4 ha temperatura ambiente. A continuación, se añadieron diferentes cantidades de cistamina a la solución anterior (0,25, 0,50, 0,75, 1,00, 1,25 g), después de lo cual las muestras se agitaron a 160 rpm durante 12 ha temperatura ambiente.

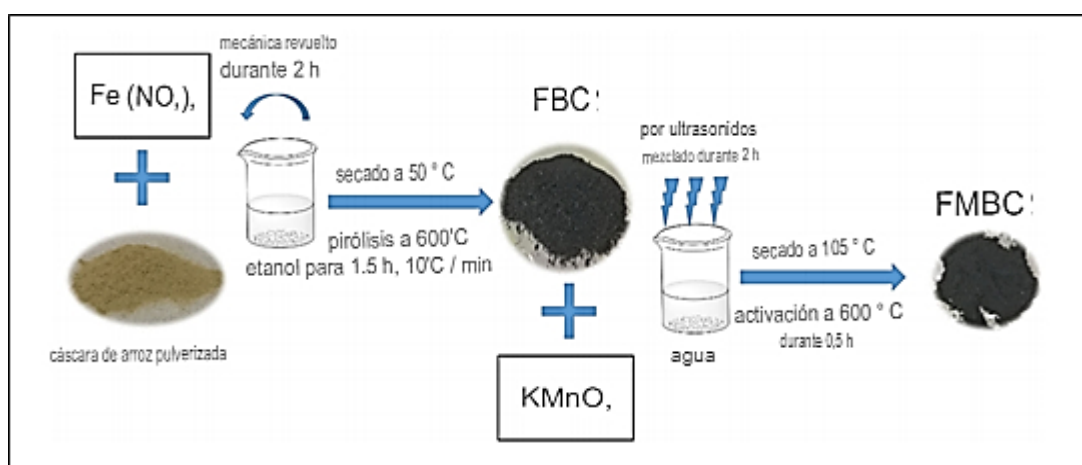


Figura 17. Modificación química de biochar con Permanganato de potasio (KMnO<sub>4</sub>).

Fuente: Sun et al., (2018)

Los biocarros modificados con cistamina obtenidos se separaron luego usando un embudo de núcleo de arena (G3) y se lavaron con etanol anhidro y agua destilada hasta un valor de pH neutro hasta que finalmente, las muestras se secaron al vacío a 60 ° C en un peso constante para su almacenamiento, además con respecto al rendimiento se consiguió que a una velocidad de calentamiento de 10 ° C min<sup>-1</sup> bajo una atmósfera de nitrógeno. La primera pérdida de peso se produjo a 100 ° C, lo que se atribuyó a la eliminación del agua adsorbida, mientras que a 450 ° C se produjo una pérdida de peso significativa, lo que podría deberse a una descomposición de los polímeros en los macroporos de la cistamina modificada (Chen et al., 2019).

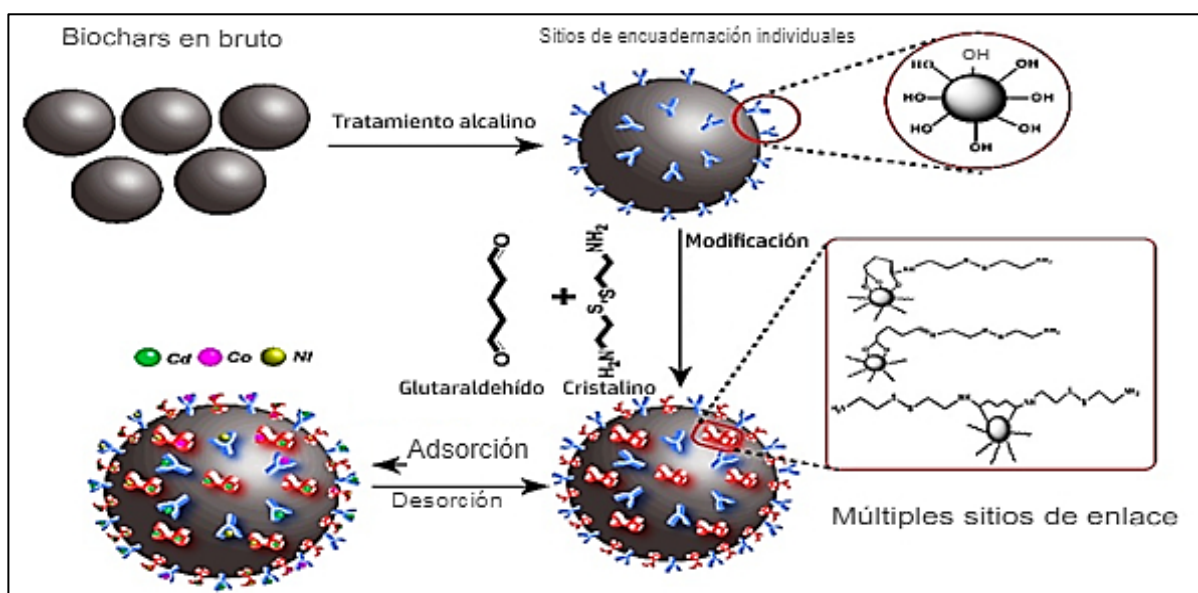
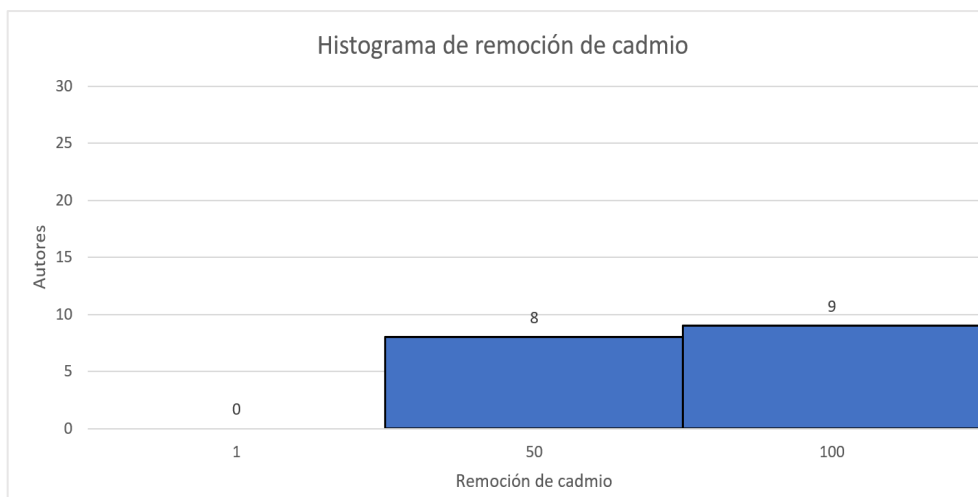


Figura 18. Modificación química de biochar con cistamina NH<sub>2</sub> - (CH<sub>2</sub>)<sub>2</sub> -SS- (CH<sub>2</sub>)<sub>2</sub> -NH<sub>2</sub>. Fuente: Chen et al., (2019)

Tabla 11.

Grado de acuerdo entre la eficiencia de remoción de cadmio y los autores de la muestra.

Carbono (%)	Porcentaje (%)	Autores
1	0	0
50	47.1	8
100	52.9	9
<b>Total</b>	100.0	17.0



*Figura 19. Histograma de la eficiencia del biocarbón para la remoción de cadmio.*

En la tabla 11 y figura 19 se puede observar una diferencia mínima entre la eficiencia del biocarbón de cascarilla de arroz para absorber cadmio en menor de 50% y mayor a ese valor, pues 47.1% de los autores indican que la remoción de cadmio es de 0 a 50%, por otro lado el 52.9% obtuvo una remoción del contaminante en niveles de 50 a 100%.

#### **4.4. Remediación de suelos salinos contaminados con cadmio mediante biocarbón de la cascarilla de arroz**

Referente al procedimiento de absorción del biocarbón se encontró que para Li et al., (2019) la adsorción química de  $Cd^{2+}$  sobre el biocarbón se basa principalmente en un mecanismo de intercambio de iones electrostático, donde cuando el pH externo aumenta y más iones  $H^+$  se disocian de los grupos funcionales, una mayor cantidad de cargas negativas permanece en la superficie del biocarbón para adsorber  $Cd^{2+}$ , mostrando que cuanto mayor es la temperatura de pirólisis, mayor es el pH del biocarbón y, por lo tanto, más rápida es la tasa de adsorción. Resultados similares obtuvo Jia et al., (2018), cuando el pH aumentó de 4 a 5, la eliminación de  $Cd^{2+}$  con el biocarbón de cáscara de arroz aumentó significativamente.

Sin embargo, entre pH 5 y 7, no se observaron cambios grandes, por lo tanto, un pH inicial de 5 es la mejor condición para la eliminación de  $Cd^{2+}$  con 200 mg de biochar

de cáscara de arroz, así RH300 permitió la eliminación más baja (54,63%) y RH700 la eliminación más alta (96,12%). Además Huang et al., (2020) menciona que los minerales que contienen Si dentro del biocarbón hicieron una contribución mucho mayor a la precipitación que la adsorción total, ya que la proporción de contribución respectiva fue de 33,92% y 8,33% en promedio hasta reducir efectivamente la disponibilidad de  $\text{Cd}^{2+}$  después de la incubación durante 35 días, y mejorar la acidificación del suelo mediante la rapidez del Si liberado en las soluciones del suelo.

En cuanto a los biocarbones modificados se obtuvieron superiores resultados, tal es el caso del estudio de Khum-in et al., (2020) donde el biochar modificado con hierro de valencia cero logrando aumentar la concentración de Zn en el grano de arroz en un 14% y un 8%, respectivamente, comparado con el de la CE. Esto se puede explicar considerando el bajo nivel de  $\text{Zn}^{2+}$  afinidad de sorción en BC en comparación con  $\text{Cd}^{2+}$  a presencia de BC en BZVI mejoró la acumulación de Zn en el grano de arroz en un 8%, presumiblemente debido a la sorción competitiva de  $\text{Cd}^{2+}$  en BC en BZVI, que puede desorber  $\text{Zn}^{2+}$  del biocarbón, el cual aumentó la acumulación de zinc en el grano de arroz en un 14%.

Similarmente Chen et al., (2019) encontró que la capacidad de adsorción aumentó más rápidamente que la de los biocarros crudos a altas concentraciones de Cd ( $20\text{-}100 \text{ mg L}^{-1}$ ), lo que puede indicar que la introducción de ligandos de cistamina aumentó la selectividad por el cadmio, debido a que este aditivo tenía una mejor afinidad por el Cd (II) que otros metales pesados (Zn, As, Cd, Co, Ni, Cr), de hecho, la capacidad de adsorción del Cd (II) fue seis veces mayor que la del  $\text{Zn}^{2+}$ . Por otro lado Chen et al., (2018) investigo sobre las típicas isotermas de adsorción de Cd en biocarbón y fertilizantes a base de biocarbón en concentraciones iniciales que iban de  $1 \text{ a } 50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , demostrando que la adsorción aumento gradualmente con el aumento de la concentración de Cd.

## V. CONCLUSIONES

Teniendo como referencia los 40 artículos indexados se logró identificar que el 78% de los autores indican que el proceso de producción más utilizado es el de pirólisis en su variación lenta, donde el 52.5% efectúan temperaturas de 500 °C a 800°C y periodos cortos de 19 hasta 90 minutos para producir biocarbón de cascarilla de arroz, asimismo el equipo mayormente empleado es el horno de mufla.

Las características de la materia prima para la producción de biochar fueron estudiados solo por 24 autores de la muestra, los cuales en su mayoría, es decir, el 62.5% de adquirió biocarbón con alto contenido de carbono en niveles de 40% a 80%, mientras que la composición de hidrógeno es generalmente por debajo de 3%, pues el 75% de los autores indican este rango, por otro lado el 37.5% de los autores coincidieron en producir biocarbón con características de área superficial en un rango de 0 a 100 m<sup>2</sup>/g y otro 62.5% de la muestra obtuvo biocarbón con niveles de pH de 8 a 13.

Los procesos de aplicación de biocarbón en el suelo son estudiados por 17 autores de la muestra, los cuales emplean los productos sin modificación química, mientras que, otros utilizan diferentes químicos para potenciar la capacidad de absorción de cadmio, por lo tanto el porcentaje de remoción oscila de 0 a 100%, donde un 47.1% de los autores indican que la remoción de cadmio es menor a 50%, por otro lado el 52.9% obtuvo una remoción del contaminante en niveles de mayores de 50%, para ambos casos se requirió un tiempo de contacto variable que se incluye de 30 minutos hasta inclusive 180 días.

## **VI. RECOMENDACIONES**

Desarrollar investigaciones acerca de la aplicación del biocarbón de residuos de cáscara de arroz en campo así poder evaluar, analizar y contrastar los efectos en las propiedades físico – químicas del suelo.

Realizar investigaciones que permitan generalizar la acción del biocarbón de cáscara de arroz según dosis y tipo de suelo.

Promover el uso del biocarbón a partir de residuos de cáscara de arroz debido a que mejora la adsorción de cadmio en el suelo, por lo que es posible reducir la concentración de este contaminante en sistemas arrozales.

Evaluar la vida útil del biocarbón y las alternativas ambientalmente responsables para la disposición final del biocarbón de cáscara de arroz, luego de su manejo como enmienda del suelo.



## REFERENCIAS

- ABBAS, Q., LIU, G., YOUSAF, B., ALI, M.U., ULLAH, H., MUNIR, M.A.M. y LIU, R., Contrasting effects of operating conditions and biomass particle size on bulk characteristics and surface chemistry of rice husk derived-biochars. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* [en línea], 2018. vol. 134, no. December 2017, pp. 281-292. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2018.06.018> DOI 10.1016/j.jaap.2018.06.018. . ISSN 01652370.
- ALHINAI, M., AZAD, A.K., BAKAR, M.S.A. y PHUSUNTI, N., Characterisation and thermochemical conversion of rice husk for biochar production. *International Journal of Renewable Energy Research*, 2018. vol. 8, no. 3, pp. 1648-1656. ISSN 13090127.
- AZEEM, M., HAYAT, R., HUSSAIN, Q., AHMED, M., PAN, G., IBRAHIM TAHIR, M., IMRAN, M., IRFAN, M. y MEHMOOD-UL-HASSAN, Biochar improves soil quality and N<sub>2</sub>-fixation and reduces net ecosystem CO<sub>2</sub> exchange in a dryland legume-cereal cropping system. *Soil and Tillage Research* [en línea], 2019. vol. 186, no. April 2018, pp. 172-182. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.10.007> DOI 10.1016/j.still.2018.10.007. . ISSN 01671987.
- BASHIR, S., SALAM, A., REHMAN, M., KHAN, S., GULSHAN, A.B., IQBAL, J., SHAABAN, M., MEHMOOD, S., ZAHRA, A. y HU, H., Effective Role of Biochar, Zeolite and Steel Slag on Leaching Behavior of Cd and Its Fractionations in Soil Column Study. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* [en línea], 2019. vol. 102, no. 4, pp. 567-572. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s00128-019-02573-6> DOI 10.1007/s00128-019-02573-6. . ISSN 14320800.
- BICALHO, I.C., NAZARÉ, J.J., FERNANDES, L.A., COLEN, F. y ARRUDA, R., Biochar from different residues on soil properties and common bean production. *Scientia Agricola*, 2017. vol. 74, no. 5, pp. 378-382. ISSN 1678992X.

- CAI, J.F., ZHANG, L., ZHANG, Y., ZHANG, M.X., LI, H.L., XIA, H.J., KONG, W.J. y YU, F.H., Remediation of cadmium-contaminated coastal saline-alkaline soil by *Spartina alterniflora* derived biochar. *Ecotoxicology and Environmental Safety* [en línea], 2020. vol. 205, no. July, pp. 111172. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111172>DOI 10.1016/j.ecoenv.2020.111172. . ISSN 10902414.
- CHEN, L., CHEN, Q., RAO, P., YAN, L., SHAKIB, A. y SHEN, G., Formulating and Optimizing a Novel Biochar-Based Fertilizer for Simultaneous Slow-Release of Nitrogen and Immobilization of Cadmium. *Sustainability* [en línea], 2018a. no. 10, pp. 2740. Disponible en: [www.mdpi.com/journal/sustainability](http://www.mdpi.com/journal/sustainability)DOI 10.3390/su10082740. .
- CHEN, L., CHEN, Q., RAO, P., YAN, L., SHAKIB, A. y SHEN, G., 2018b. *Formulating and optimizing a novel biochar-based fertilizer for simultaneous slow-release of nitrogen and immobilization of cadmium*. 2018. S.l.: s.n.
- CHEN, R., ZHAO, X., LI, Y. y WEI, M., Surface-Modified Biochar with Polydentate Binding Sites for the Removal of Cadmium. *Nature*, 2019. vol. 388, pp. 1-14.
- COTA-RUIZ, K., NUÑEZ-GASTELÚM, J.A., DELGADO-RIOS, M. y MARTINEZ-MARTINEZ, A., Biorremediación: Actualidad De Conceptos Y Aplicaciones. *Biotechnia*, 2018. vol. 21, no. 1, pp. 37-44. ISSN 1665-1456.
- DENG, Y., HUANG, S., DONG, C., MENG, Z. y WANG, X., Competitive adsorption behaviour and mechanisms of cadmium, nickel and ammonium from aqueous solution by fresh and ageing rice straw biochars. *Bioresource Technology* [en línea], 2020. vol. 303, no. January, pp. 122853. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122853>DOI 10.1016/j.biortech.2020.122853. . ISSN 18732976.
- ELLIOTT, J.H., SYNNOT, ANNELIESE; TURNER, T., SIMMONDS, M., AKL, E.A., MCDONALD, S., SALANTI, G., MEERPOHL, J., MACLEHOSE, H., HILTON, J.,

- TOVEY, D., SHEMILT, I. y THOMAS, J., Living systematic review: 1. Introduction—the why, what, when, and how. *Journal of Clinical Epidemiology*, 2017. vol. 91, pp. 23-30. ISSN 18785921.
- ERDEM, H., The effects of biochars produced in different pyrolysis temperatures from agricultural wastes on cadmium uptake of tobacco plant. *Saudi Journal of Biological Sciences* [en línea], 2021. vol. 28, no. 7, pp. 3965-3971. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.04.016> DOI 10.1016/j.sjbs.2021.04.016. . ISSN 1319562X.
- ESCALANTE, A., PÉREZ, G., HIDALGO, C., LÓPEZ, J., CAMPO, J., VALTIERRA, E. y ETCHEVERS, J., Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo Biocarbon (biochar) I: Nature, history, manufacture and use in soil. *Terra Latinoamericana* [en línea], 2016. vol. 34, pp. 367-382. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v34n3/2395-8030-tl-34-03-00367.pdf>.
- FERNANDEZ y FERNANDEZ, D., Revisión de la concentración de metales pesados por uso de agroquímicos en agua de riego, suelo y cultivo de arroz. [en línea], 2020. pp. 19. Disponible en: <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/UPEU/3215>.
- FILIPOVIĆ, L., ROMIĆ, M., ROMIĆ, D., FILIPOVIĆ, V. y ONDRAŠEK, G., Organic matter and salinity modify cadmium soil (phyto)availability. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2018. vol. 147, no. September 2017, pp. 824-831. ISSN 10902414.
- GAMBINI, L., 2020. *Métodos de remediación de suelos contaminados por actividades mineras*. S.l.: s.n.
- GARCÍA-PEÑALVO, F., Revisión sistemática de literatura para artículos. *Educational Researcher*, 2017. vol. 34, no. 6, pp. 3-15. ISSN 0013189X.
- GARCÍA-PERDOMO, H.A., Network meta-analysis, a new statistical technique at urologists' disposal to improve decision making. *International Braz J Urol*, 2018. vol. 44, no. 3, pp. 422-428. ISSN 16776119.

- GARZÓN, J., RODRÍGUEZ, J.P. y HERNÁNDEZ, C., Aporte de la biorremediación para solucionar problemas de contaminación y su relación con el desarrollo sostenible. *Universidad y Salud* [en línea], 2017. vol. 19, no. 2, pp. 309. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.22267/rus.171902.93> DOI 10.22267/rus.171902.93. . ISSN 0124-7107.
- GHORBANI, M., ASADI, H. y ABRISHAMKESH, S., Effects of rice husk biochar on selected soil properties and nitrate leaching in loamy sand and clay soil. *International Soil and Water Conservation Research* [en línea], 2019. vol. 7, no. 3, pp. 258-265. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2019.05.005> DOI 10.1016/j.iswcr.2019.05.005. . ISSN 20956339.
- GOODMAN, B.A., 2020. *Utilization of waste straw and husks from rice production: A review*. 2020. S.l.: s.n.
- GUERRA, P., Producción y caracterización de Biochar a partir de la biomasa residual de sistemas agroforestales y de agricultura convencional en la Amazonía Peruana. *Universidad Nacional Agraria La Molina*, 2015. pp. 101.
- GUERRERO-CASTAÑEDA, R., MENEZES, T. y OJEDA, V., Acercamiento al escenario de estudio fenomenológico en México: relato de experiencia. *Rev Bras Enferm* [en línea], 2017. vol. 70, no. 4, pp. 922-929. Disponible en: <http://dx>.
- HERNÁNDEZ-BARANDA, YENISEI; RODRÍGUEZ-HERNÁNDEZ, PEDRO; PEÑALICART, MIRELLA; MERIÑO-HERNÁNDEZ, YANITZA; CARTAYA-RUBIO, O., Toxicidad del Cadmio en las plantas y estrategias para disminuir sus efectos. Estudio de caso: El tomate. *Cultivos Tropicales*, 2019. vol. 40, no. 3, pp. e10. ISSN 1819-4087.
- HERNÁNDEZ-SAMPIERI, R. y MENDOZA, C.P., *Metodología de la Investigación. Las rutas Cuantitativa Cualitativa y Mixta*. 2018. S.l.: s.n. ISBN 978-1-4562-6096-5.
- HEROS, E., 2018. Unalm frente al cambio climático en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.). *Red Agrícola Perú* [en línea]. Disponible en:

<https://www.redagricola.com/pe/unalm-frente-al-cambio-climatico-en-el-cultivo-de-arroz-oryza-sativa-l/>.

HERRERA RODRÍGUEZ, J.I., GUEVARA FERNÁNDEZ, G.E. y MUNSTER DE LA ROSA, H., Los diseños y estrategias para los estudios cualitativos. Un acercamiento teórico-metodológico. *Gaceta Médica Espirituana*, 2015. vol. 17, no. 2, pp. 120-134. ISSN 1608-8921.

HONG YAN, W., CHEN, P., ZHU, Y.G., CEN, K. y SUN, G.X., Simultaneous adsorption and immobilization of As and Cd by birnessite-loaded biochar in water and soil. *Environmental Science and Pollution Research*, 2019. vol. 26, no. 9, pp. 8575-8584. ISSN 16147499.

HOSSAIN, N., NIZAMUDDIN, S., GRIFFIN, G., SELVAKANNAN, P., MUBARAK, N.M. y MAHLIA, T.M.I., Synthesis and characterization of rice husk biochar via hydrothermal carbonization for wastewater treatment and biofuel production. *Scientific Reports* [en línea], 2020. vol. 10, no. 1, pp. 1-15. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-75936-3>. . ISSN 20452322.

HUANG, F., GAO, L.Y., WU, R.R., WANG, H. y XIAO, R.B., Qualitative and quantitative characterization of adsorption mechanisms for Cd<sup>2+</sup> by silicon-rich biochar. *Science of the Total Environment*, 2020. vol. 731. ISSN 18791026.

JIA, Y., SHI, S., LIU, J., SU, S., LIANG, Q., ZENG, X. y LI, T., Study of the effect of pyrolysis temperature on the Cd<sup>2+</sup> adsorption characteristics of biochar. *Applied Sciences (Switzerland)*, 2018. vol. 8, no. 7. ISSN 20763417.

JING, Y., ZHANG, Y., HAN, I., WANG, P., MEI, Q. y HUANG, Y., 2020. *Effects of different straw biochars on soil organic carbon, nitrogen, available phosphorus, and enzyme activity in paddy soil*. 2020. S.l.: s.n.

KAMEYAMA, K., MIYAMOTO, T. y IWATA, Y., The Preliminary Study of Water-Retention Related Properties of Biochar Produced from Various Feedstock at

Different Pyrolysis Temperatures. *Materials (Basilea)* [en línea], 2019. vol. 12, no. 11, pp. 1732. Disponible en: [www.mdpi.com/journal/materialsDOI10.3390/ma12111732](http://www.mdpi.com/journal/materialsDOI10.3390/ma12111732).

KHAN, M.A., KHAN, S., DING, X., KHAN, A. y ALAM, M., The effects of biochar and rice husk on adsorption and desorption of cadmium on to soils with different water conditions (upland and saturated). *Chemosphere*, 2018. vol. 193, pp. 1120-1126. ISSN 18791298.

KHUM-IN, V., SUK-IN, J., IN-AI, P., PIAOWAN, K., PHAIMISAP, Y., SUPANPAIBOON, W. y PHENRAT, T., Combining biochar and zerovalent iron (BZVI) as a paddy field soil amendment for heavy cadmium (Cd) contamination decreases Cd but increases zinc and iron concentrations in rice grains: a field-scale evaluation. *Process Safety and Environmental Protection*, 2020. vol. 141, pp. 222-233. ISSN 09575820.

LEÓN, J., 2020. Perú se ubica entre los tres primeros países con mayores rendimientos productivos de arroz en el mundo. *Agencia agraria de noticias* [en línea]. Disponible en: <https://agraria.pe/noticias/peru-se-ubica-entre-los-tres-primeros-paises-con-mayores-ren-21883>.

LI, Shanshan, WANG, M., ZHAO, Z., LI, X. y CHEN, S., Use of soil amendments to reduce cadmium accumulation in rice by changing Cd distribution in soil aggregates. *Environmental Science and Pollution Research*, 2019. vol. 26, no. 20, pp. 20929-20938. ISSN 16147499.

LI, Zigang, WANG, P., YUE, X., WANG, J., REN, B., QU, L. y HAN, H., Effects of *Bacillus thuringiensis* HC-2 Combined with Biochar on the Growth and Cd and Pb Accumulation of Radish in a Heavy Metal-Contaminated Farmland under Field Conditions. [en línea], 2019. [Consulta: 27 julio 2021]. Disponible en: [www.mdpi.com/journal/ijerphDOI10.3390/ijerph16193676](http://www.mdpi.com/journal/ijerphDOI10.3390/ijerph16193676).

LINAM, F., MCCOACH, K., LIMMER, M. y SEYFFERTH, A.L., Contrasting effects of

rice husk pyrolysis temperature on silicon dissolution and retention of cadmium (Cd) and dimethylarsinic acid (DMA). *Science of The Total Environment* [en línea], 2020. vol. 765, pp. 144428. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969720379596>.

LIU, Y., LONAPPAN, L., BRAR, S.K. y YANG, S., Impact of biochar amendment in agricultural soils on the sorption, desorption, and degradation of pesticides: A review. *Science of the Total Environment* [en línea], 2018. vol. 645, pp. 60-70. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.099> DOI 10.1016/j.scitotenv.2018.07.099. . ISSN 18791026.

LIU, Z., DUGAN, B., MASIELLO, C.A. y GONNERMANN, H.M., 2017. *Biochar particle size, shape, and porosity act together to influence soil water properties*. 2017. S.I.: s.n.

LOCKWOOD, C., DOS SANTOS, K.B. y PAP, R., Practical Guidance for Knowledge Synthesis: Scoping Review Methods. *Asian Nursing Research* [en línea], 2019. vol. 13, no. 5, pp. 287-294. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.anr.2019.11.002> DOI 10.1016/j.anr.2019.11.002. . ISSN 20937482.

LONG, M., HUANG, T., SHI, J., CHEN, J., ZHONG, F., WU, L. y XU, J., 2019. *Decreasing cadmium uptake of rice (Oryza sativa L.) in the cadmium-contaminated paddy field through different cultivars coupling with appropriate soil amendments*. 2019. S.I.: s.n.

LU, H.P., LI, Z.A., GASCÓ, G., MÉNDEZ, A., SHEN, Y. y PAZ-FERREIRO, J., Use of magnetic biochars for the immobilization of heavy metals in a multi-contaminated soil. *Science of the Total Environment*, 2018. vol. 622-623, pp. 892-899. ISSN 18791026.

LU, K., YANG, X., GIELEN, G., BOLAN, N., OK, Y.S., NIAZI, N.K., XU, S., YUAN, G., CHEN, X., ZHANG, X., LIU, D., SONG, Z., LIU, X. y WANG, H., Effect of bamboo

and rice straw biochars on the mobility and redistribution of heavy metals (Cd, Cu, Pb and Zn) in contaminated soil. *Journal of Environmental Management* [en línea], 2017. vol. 186, pp. 285-292. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.05.068> DOI 10.1016/j.jenvman.2016.05.068. . ISSN 10958630.

MÉNDEZ, S., 2016. *Potencialidad de cadmio en los granos de arroz del cultivado en Colombia*. S.l.: s.n.

MENG, J., ZHONG, L., WANG, L., LIU, X., TANG, C., CHEN, H. y XU, J., Contrasting effects of alkaline amendments on the bioavailability and uptake of Cd in rice plants in a Cd-contaminated acid paddy soil. *Environmental Science and Pollution Research*, 2018. vol. 25, no. 9, pp. 8827-8835. ISSN 16147499.

MOLECULES, Preparation and Characterization of MgO-Modified Rice Straw Biochars. *Basel Switzerland*, 2020. vol. 25, no. 23. ISSN 14203049.

MORENO, B., MUÑOZ, M., CUELLAR, J., DOMANCIC, S. y VILLANUEVA, J., Revisiones Sistemáticas: definición y nociones básicas. *Revista clínica de periodoncia, implantología y rehabilitación oral*, 2018. vol. 11, no. 3, pp. 184-186. ISSN 0719-0107.

ÑAUPAS, H., VALDIVIA, M., PALACIOS, J. y ROMERO, H., *Metodología de la investigación cuantitativa-cualitativa y redacción de la tesis*. 2018. S.l.: s.n. ISBN 9788578110796.

OBANDO, J., FRANCO, A., BOHÓRQUEZ, T. y FIGUEROA, S., Responsabilidad social de las empresas agroindustriales del sector arrocero en Villavicencio Colombia. *Revista Venezolana de Gerencia*, 2019. vol. 24, no. 87, pp. 621-634.

OLADELE, S.O., Changes in physicochemical properties and quality index of an Alfisol after three years of rice husk biochar amendment in rainfed rice – Maize cropping sequence. *Geoderma* [en línea], 2019. vol. 353, no. January, pp. 359-371. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.06.038> DOI



10.1016/j.geoderma.2019.06.038. . ISSN 00167061.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA, 2021. Nota informativa de la FAO sobre la oferta y la demanda de cereales. *Situación Alimentaria Mundial* [en línea]. Disponible en: <http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/es/>.

PARIONA-PALOMINO, J., MATOS ORMEÑO, W. y HUILLCA HUANACO, E., Biochar como tecnología de emisión negativa frente al cambio climático. *South Sustainability*, 2020. vol. 1, pp. e014.

PEERSMAN, G., 2014. Overview: Data Collection and Analysis Methods in Impact Evaluation. *Revista Latinoamericana de Psicología*. S.I.:

REHMAN, M.Z. ur, BATOOL, Z., AYUB, M.A., HUSSAINI, K.M., MURTAZA, G., USMAN, M., NAEEM, A., KHALID, H., RIZWAN, M. y ALI, S., Effect of acidified biochar on bioaccumulation of cadmium (Cd) and rice growth in contaminated soil. *Environmental Technology and Innovation* [en línea], 2020. vol. 19, no. Cd, pp. 101015. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101015DOI> 10.1016/j.eti.2020.101015. . ISSN 23521864.

RENGASAMY, P., World salinization with emphasis on Australia. *Journal of Experimental Botany*, 2006. vol. 57, no. 5, pp. 1017-1023. ISSN 00220957.

REYES, YULIETH; INÉS VERGARA, OMAR TORRES, MERCEDES DÍAZ LAGOS, E.E.G.J., Contaminación por metales pesados Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, 2016. vol. 24, no. 1, pp. 66-77. ISSN 00195456.

RIZWAN, M., NOUREEN, S., ALI, S., ANWAR, S., REHMAN, M.Z. ur, QAYYUM, M.F. y HUSSAIN, A., Influence of biochar amendment and foliar application of iron oxide nanoparticles on growth, photosynthesis, and cadmium accumulation in rice biomass. *Journal of Soils and Sediments*, 2019. vol. 19, no. 11, pp. 3749-3759. ISSN 16147480.

- RODRÍGUEZ, N., MCLAUGHLIN, M. y PENNOCK, D., *La Contaminación Del Suelo: Una Realidad Oculta* [en línea]. 2019. S.l.: s.n. ISBN 9789251316399. Disponible en: <http://www.fao.org/3/I9183ES/i9183es.pdf>.
- ROMERO, C., 2020. Perú: Producción, Importaciones Y Precios Del Arroz. [en línea]. S.l.: Disponible en: [https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1230425/nota-informativa\\_arroz\\_02.pdf](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1230425/nota-informativa_arroz_02.pdf).
- RUIZ-SÁNCHEZ, M., MUÑOZ-HERNÁNDEZ, Y., DELL'AMICO, J.M. y POLÓN-PÉREZ, R., Manejo del agua de riego en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) por trasplante, su efecto en el rendimiento agrícola e industrial. *Cultivos Tropicales*, 2016.
- SANCHEZ BARRÓN, G., Ecotoxicología del cadmio: riesgo para la salud de la utilización de suelos ricos en cadmio. *Facultad De Farmacia Universidad Complutense Trabajo* [en línea], 2016. pp. 23. Disponible en: [http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/GARA\\_SANCHEZ\\_BARRON.pdf](http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/GARA_SANCHEZ_BARRON.pdf).
- SÁNCHEZ, H., REYES, C. y MEJÍA, K., *Manual de términos en investigación científica, tecnológica y humanística* [en línea]. 2018. S.l.: s.n. ISBN 9786124735141. Disponible en: <http://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/URP/1480/libro-manual-de-terminos-en-investigacion.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- SILVA, P., 2019. *Análisis Comparativo De Los Niveles De Cadmio En Suelo Y Una Pradera Con Pastura En Reposo En La Vereda Rincón De Pompeya, Villavicencio, Meta*. S.l.: s.n.
- SINGH, C., TIWARI, S., GUPTA, V.K. y SINGH, J.S., The effect of rice husk biochar on soil nutrient status, microbial biomass and paddy productivity of nutrient poor agriculture soils. *Catena* [en línea], 2018. vol. 171, no. June, pp. 485-493. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.07.042DOI> 10.1016/j.catena.2018.07.042. . ISSN 03418162.
- SUKSABYE, P., PIMTHONG, A., DHURAKIT, P., MEKVICHITSAENG, P. y

- THIRAVETYAN, P., Effect of biochars and microorganisms on cadmium accumulation in rice grains grown in Cd-contaminated soil. *Environmental Science and Pollution Research*, 2016. vol. 23, no. 2, pp. 962-973. ISSN 16147499.
- SUN, C., CHEN, T., HUANG, Q., WANG, J., LU, S. y YAN, J., Enhanced adsorption for Pb(II) and Cd(II) of magnetic rice husk biochar by KMnO<sub>4</sub> modification. *Environmental Science and Pollution Research*, 2018. vol. 26, no. 9, pp. 8902-8913. ISSN 16147499.
- SUN, C., CHEN, T., HUANG, Q., WANG, J., LU, S. y YAN, J., Enhanced adsorption for Pb(II) and Cd(II) of magnetic rice husk biochar by KMnO<sub>4</sub> modification. *Environmental Science and Pollution Research*, 2019. vol. 26, no. 9, pp. 8902-8913. ISSN 16147499.
- TSAI, W.T., LIN, Y.Q. y HUANG, H.J., 2021. *Valorization of rice husk for the production of porous biochar materials*. 2021. S.l.: s.n.
- ULTRA, V.U., NUNEZ, J.P. y LEE, S.C., Influence of charcoal-based soil amendments on growth and nutrient uptake of rice (*Oryza sativa*) in Cadmium contaminated soil. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 2016. vol. 28, no. 12, pp. 872-881. ISSN 20790538.
- UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO, 2020. «Código de ética en investigación» [en línea]. 2020. S.l.: s.n. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/509036811/Codigo-de-etica-en-Investigacion-UCV>.
- VALLADARES-CISNEROS, M., VALERIO CÁRDENAS, C., DE LA CRUZ BURELO, P. y MELGOZA ALEMÁN, R.M., Adsorbentes no-convencionales, alternativas sustentables para el tratamiento de aguas residuales. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 2017. vol. 16, no. 31, pp. 55-73. ISSN 16923324.
- VELÁZQUEZ-MALDONADO, J., JUÁREZ-LÓPEZ, P., ANZALDO-HERNÁNDEZ, J., ALEJO-SANTIAGO, G., VALDEZ-AGUILAR, L.A., ALIA-TEJACAL, I., LÓPEZ-

- MARTÍNEZ, V., PÉREZ-ARIAS, G.A. y GUILLÉN-SÁNCHEZ, D., Concentración Nutricional De Biocarbón De Cascarilla De Arroz. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 2019. vol. 42, no. 2, pp. 129-136. ISSN 0187-7380.
- WANG, H., CHU, Y., FANG, C., SONG, Y. y XUE, X., Sorption of tetracycline on biochar derived from rice straw under different temperatures. [en línea], 2017. Disponible en: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182776>DOI 10.1371/journal.pone.0182776. .
- WANG, Liuwei, BOLAN, N.S., TSANG, D.C.W. y HOU, D., Green immobilization of toxic metals using alkaline enhanced rice husk biochar: Effects of pyrolysis temperature and KOH concentration. *Science of the Total Environment* [en línea], 2020. vol. 720, pp. 137584. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137584>DOI 10.1016/j.scitotenv.2020.137584. . ISSN 18791026.
- WANG, Yi-min, WANG, S., WANG, C., ZHAN, Z., ZHANG, J., MENG, M., MING, L., UCHIMIYA, M. y YUAN, X., Simultaneous Immobilization of Soil Cd(II) andAs(V) by Fe-Modified Biochar. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020. vol. 17, no. 3, pp. 827.
- YANG, C., LIU, J. y LU, S., Pyrolysis temperature affects pore characteristics of rice straw and canola stalk biochars and biochar-amended soils. *Geoderma* [en línea], 2021. vol. 397, no. September, pp. 115097. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115097>DOI 10.1016/j.geoderma.2021.115097. . ISSN 00167061.
- YUNILASARI, M., SUFARDI y ZAITUN, Effects of biochar and cow manure on soil chemical properties and peanut (*Arachis hypogaea* L.) yields in entisol. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2020. vol. 425, no. 1. ISSN 17551315.
- ZHANG, Han, SHAO, J., ZHANG, S., ZHANG, X. y CHEN, H., Effect of phosphorus-

modified biochars on immobilization of Cu (II), Cd (II), and As (V) in paddy soil. *Journal of Hazardous Materials* [en línea], 2020. vol. 390, no. li, pp. 121349. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121349DOI> 10.1016/j.jhazmat.2019.121349. . ISSN 18733336.

ZHANG, Jing Yi, ZHOU, H., GU, J.F., HUANG, F., YANG, W.J., WANG, S.L., YUAN, T.Y. y LIAO, B.H., Effects of nano-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-modified biochar on iron plaque formation and Cd accumulation in rice (*Oryza sativa* L.). *Environmental Pollution* [en línea], 2020. vol. 260, pp. 113970. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.113970DOI> 10.1016/j.envpol.2020.113970. . ISSN 18736424.

ZHENG, R., SUN, G., LI, C., REID, B.J., XIE, Z., ZHANG, B. y WANG, Q., Mitigating cadmium accumulation in greenhouse lettuce production using biochar. *Environmental Science and Pollution Research*, 2017. vol. 24, no. 7, pp. 6532-6542. ISSN 16147499.

## ANEXOS

### Anexo 1. Matriz de categorización apriorística.

Objetivos específicos	Problemas específicos	Categoría	Subcategoría	Unidad de análisis
Describir las metodologías de producción de biocarbón de cascarilla de arroz	¿Cuáles son las metodologías de producción de biocarbón de cascarilla de arroz?	Metodología de producción	Técnica Temperatura (°C)  Equipos Tiempo (h)	Zhang et al., (2020) (Agblevor et al., 2010)  (Poerschmann et al., 2013) Yang, Liu y Lu, (2021)
Identificar las características de adsorción del biocarbón de la cáscara de arroz que influyen en la adsorción de cadmio en suelos salinos.	¿Cuáles son las características del biocarbón de la cascarilla de arroz que influyen en la adsorción de cadmio en suelos salinos?	Características del biocarbón de la cascarilla de arroz	%C %H Área superficial (m <sup>2</sup> /g) pH	Abbas et al., (2018) Sun et al., (2018) Yunilasari, Sufardi y Zaitun, (2020) Lu et al., (2017)
Describir el proceso de la aplicación del biocarbón en los suelos salinos	¿Cómo es el proceso de la aplicación del biocarbón en los suelos salinos?	Proceso de aplicación	Modificación química Tiempo de contacto (días) Remoción de cadmio (%)	Zhang et al., (2020)  Linam et al., (2020)  Linam et al., (2020)

## Anexo 2. Ficha de recolección de datos

Nombre de revista	Año	Volumen	Título del artículo	Autores del estudio	País	DOI / LINK	
Journal of Soils and Sediment	2018	19	Decreasing cadmium uptake of rice ( <i>Oryza sativa</i> L.) in the cadmium-contaminated paddy field through different cultivars coupling with appropriate soil amendments	<u>Long, Meng; Huang, Tuhai; Shi, Jiachun; Chen, Jian; Zhong, Fulin; et al..</u>	Dordrecht - Países Bajos	10.1007/s11368-018-	
Criterios de selección de artículo				Cumplimiento			
				SI	NO		
¿Publicado en los últimos 5 años?				x			
¿Revista indexada?				x			
¿Idioma español o inglés?				x			
¿Se estudia la remediación de cadmio?				x			
¿Se incluye la aplicación en el suelo salino?				x			
¿Se desarrollan controles en el estudio ?				x			
¿Se describe la producción de biocarbón de cáscara de arroz?				x			
<i>Incluir en solo en caso que de las respuestas hayan sido sí en mínimo 5 de los criterios de selección para poder continuar el completado de los siguientes datos</i>							
Objetivos			Metodología de la investigación				
Desarrollar y optimizar un nuevo fertilizante a base de biocarbón compuesto de biocarbón de cáscara de arroz y peróxido de urea-hidrógeno (UHP), que simultáneamente puede liberar nitrógeno e inmovilizar cadmio (Cd) lentamente.			Se preparó biocarbón mediante pirólisis lenta de cáscaras de arroz a 500 ° C. A continuación, se colocó el biocarbón en una solución de UHP durante 24 ha temperatura ambiente. Después del procedimiento de impregnación, las muestras de fertilizante a base de biocarbón se transfirieron a un horno de secado termostático eléctrico a 60 ° C durante 24 h.				
Características del biocarbón							
Temperatura de pirólisis	%C	%H	Área superficial (m2/g)	pH	Tiempo (min)	Técnica de producción	Equipos
200	49.03	2.18	No se encontró datos.	No se encontró datos.	30	Pirólisis lento	Microondas monomodo
Proceso de aplicación				Resultados	Conclusiones		
Modificación química	Tiempo de contacto (días)		Remoción de cadmio (%)				
peróxido de urea-hidrógeno (UHP)	1400 min a 100 min		48,98	La prueba de adsorción mostró que la adsorción de Cd en fertilizantes a base de biocarbón alcanzó rápidamente el equilibrio con una cantidad de adsorción de equilibrio de 6.3279 mg · g <sup>-1</sup> con una concentración inicial de 10 mg · L <sup>-1</sup> .	La capacidad de adsorción del fertilizante a base de biocarbón hacia Cd aumentó significativamente en un 48,98% en comparación con la del biocarbón.		

## Anexo 3. Verificación de Turnitin

Feedback Studio - Google Chrome  
ev.turnitin.com/app/carta/es/?o=1627812066&s=&lang=es&u=1118820969&student\_user=1

feedback studio Flor Johana Laynes Quevedo Turnitin\_Revisión sistémica: Remedación de suelos salinos contaminados con cadmio med...

**Resumen de coincidencias**

**12 %**

Rank	Source	Percentage
1	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	3 %
2	www.scielo.org.mx Fuente de Internet	1 %
3	Entregado a Universida... Trabajo del estudiante	1 %
4	Entregado a Aston Univ... Trabajo del estudiante	1 %
5	docplayer.es Fuente de Internet	<1 %
6	Jazmin Velázquez-Mal... Publicación	<1 %
7	repositorio.lamolina.ed... Fuente de Internet	<1 %

**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Revisión sistémica: Remedación de suelos salinos contaminados con cadmio mediante biocarbón de la cascavilla de arroz (Oryza sativa) Perú, 2021**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**AUTORA:**  
Laynes Quevedo, Flor Johana (ORCID:0000-0003-2877-8101)

**ASESOR:**  
MSc. Wilber Pacheco Wilber Samard (ORCID:0000-0001-7288-7528)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**  
Tratamiento y gestión de los residuos

LIMA — PERÚ  
2021

Página: 1 de 64 | Número de palabras: 15977 | Versión solo texto del informe | Alta resolución | Activado