



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Utilización de biocarbón de la cáscara de *Oryza sativa* (arroz) para la adsorción de metales pesados en suelos salinos: una revisión sistemática.

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

Ingeniera Ambiental

**AUTORA:**

Tineo Flores, Anny Yacarini (ORCID: 0000-0002-6732-7126)

**ASESOR:**

Dr. Arbulú López, César Augusto (ORCID: 0000-0002-4141-7924)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Tratamiento y Gestión de los Residuos Sólidos.

**CHICLAYO — PERÚ**

**2021**

## **Dedicatoria**

A Dios, mis padres quienes me han apoyado para poder llegar a esta instancia de mis estudios, ya que ellos siempre han estado presentes en todos los aspectos de mi vida.

***Anny Yacarini***

## **Agradecimiento**

Agradezco a Dios por bendecirme, acompañándome en los momentos más difíciles y haberme guiado en mi vida para tomar las mejores decisiones las cuales me están permitiendo concluir satisfactoriamente esta etapa de mi vida.

***Anny Yacarini***

## Índice de contenidos

<b>Carátula</b> .....	<b>i</b>
<b>Dedicatoria</b> .....	<b>ii</b>
<b>Agradecimiento</b> .....	<b>iii</b>
<b>Índice de contenidos</b> .....	<b>iv</b>
<b>Índice de tablas</b> .....	<b>v</b>
<b>Índice de figuras</b> .....	<b>vi</b>
<b>Resumen</b> .....	<b>vii</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>viii</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>II. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>4</b>
<b>III. METODOLOGÍA</b> .....	<b>11</b>
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	11
3.2. Categoría, subcategorías y matriz de categorización apriorística .....	11
3.3. Escenario de estudio.....	13
3.4. Participantes .....	13
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	13
3.6. Procedimiento .....	14
3.7. Rigor científico .....	17
3.8. Método de análisis de datos.....	17
3.9. Aspectos éticos .....	17
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>18</b>
<b>V. CONCLUSIONES</b> .....	<b>30</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES</b> .....	<b>31</b>
<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>32</b>
<b>ANEXOS</b>	

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Matriz de categorización apriorística.....	12
<b>Tabla 2.</b> Criterios selección de artículos potenciales .....	15
<b>Tabla 3.</b> Producción de biocarbón de cascarilla de arroz .....	18
<b>Tabla 4.</b> Características de adsorción del biochar de la cáscara de arroz que influyen en la adsorción de metales pesados en suelos salinos. ....	23
<b>Tabla 5.</b> Remoción de metales pesados mediante la aplicación de biocarbón ....	24

## Índice de figuras

<i>Figura 1.</i> Fases de crecimiento de un arrozal con manejo de agua .....	8
<i>Figura 2.</i> Biocarbón de cascarilla de arroz .....	9
<i>Figura 3.</i> Porosidad del biocarbón de cáscara arroz a temperaturas desde 300°C a 700°C.. .....	10
<i>Figura 4.</i> Procedimientos de la revisión sistemática.....	16
<i>Figura 5.</i> Temperatura de producción de biocarbón según los artículos .....	20
<i>Figura 6.</i> Tiempo de producción de biocarbón según los artículos .....	21
<i>Figura 7.</i> Equipos para la producción de biocarbón según los artículos. ....	22
<i>Figura 8.</i> Técnica de producción de biocarbón según los artículos.....	22
<i>Figura 9.</i> Cuenta de adsorción de metal pesado.....	25

## Resumen

La pirólisis es una tecnología que presenta una alternativa para el aprovechamiento de residuos, sin embargo, antes de aplicarse esta técnica, debe adquirirse los conocimientos necesarios, por tal motivo se revisaron artículos con la finalidad de sintetizar la información sobre la utilización de biocarbón de la cáscara de arroz para la adsorción de metales pesados en suelos salinos para el desarrollo de la tecnología estudiada. Los resultados manifestaron que las metodologías de producción respecto a temperatura varían desde 200 a 1000 ° C con tiempo de producción en el rango de 10 minutos a 360 minutos, donde como equipos utilizados se incluyen hornos muflas, microondas, reactores y barriles, donde predominó la técnica de pirólisis lenta. Asimismo, las características del biochar fueron contenido de carbono en niveles de 21,8% a 72,5%, mientras que el área superficial en valores de 14,3 m<sup>2</sup>/g a 406 m<sup>2</sup>/g. Por otro lado, la porosidad en rango de 0,199 a 0,366, además los niveles de pH varían desde 5,5 a 12,6. Posteriormente, el porcentaje de remoción de metales pesados oscila de 20,0 a 95,4% para níquel y hierro respectivamente, sin embargo, mayormente fue estudiado la eliminación de cadmio donde se emplearon equipos como macetas, columnas y parcelas.

**Palabras clave:** Pirólisis, metales pesados, arroz, valorización, biomas

## **Abstract**

Pyrolysis is a technology that presents an alternative for the recovery of residues, however, before applying this technique, the necessary knowledge must be acquired, for this reason, articles were revised with the aim of synthesizing information on the use of biofuel from rice husk for the adsorption of heavy metals in saline soils for the development of the technology studied. The results showed that production methodologies with respect to temperature vary from 200 to 1000 °C with production time in the range of 10 minutes to 360 minutes, where the equipment used includes muffle ovens, microwaves, reactors and barrels, where slow pyrolysis predominated. In addition, the characteristics of the biochar were carbon content in levels of 21.8% to 72.5%, while the surface area in values of 14.3 m<sup>2</sup>/g to 406 m<sup>2</sup>/g. On the other hand, the porosity in range of 0.199 to 0.366, in addition the pH levels vary from 5.5 to 12.6. Subsequently, the percentage of removal of heavy metals ranges from 20.0 to 95.4% for nickel and iron respectively, however, the elimination of change was mostly studied where equipment such as pots, columns and plots were used.

**Keywords:** Pyrolysis, heavy metals, rice, valorization, biomass.

## I. INTRODUCCIÓN

La contaminación de metales pesados en suelos agrícolas condiciona salinidad y su intercambio en un marco suelo-arroz. Esto ocurre cuando los suelos son irrigados con aguas procedentes de relaves mineros, drenaje de vertederos, aguas y lodos residuales tanto industriales como municipales (Rodríguez, McLaughlin, & Pennock, 2019, p. 8). Además, dentro del ciclo productivo del arroz se adiciona una cantidad excesiva no solo de abonos que contribuyen a la eutrofización de las aguas y generan tupiciones en los sistemas de riego, sino también de pesticidas con base sódica que desprenden metales pesados.

Estos contaminantes pueden influir en las propiedades del suelo debido a la toxicidad y características de persistencia que genera partículas y polvo en el aire, además son lixiviados y escurridos desde las áreas de riego hasta las aguas subterráneas y superficiales produciendo contaminación y transmitiendo enfermedades por el consumo público, lo que finalmente afecta la calidad de vida y la sostenibilidad. Asimismo, el aumento de la fracción de evapotranspiración incrementa la concentración de sustancias disueltas y suspendidas, generando a su vez el incremento de la salinidad tanto de las aguas de drenaje como en los cuerpos receptores (Betancourt, Tartabull y Labaut, 2017, p. 45).

En este contexto el cultivo de arroz suscita una amenaza cíclica para la seguridad alimentaria debido a la acumulación e intercambio de metales pesados del suelo hasta los órganos vegetales distintivos, así como al impacto de las propiedades del suelo y la variedad genotípica de arroz en la retención de metales, afectando la calidad saludable del cultivo, la seguridad de la producción alimentaria y la salud humana, pues los metales entran en el cuerpo humano a través de una amplia variedad de vías como la ingestión de alimentos, inhalación de emisiones, contacto dérmico con el suelo y consumo de cultivos alimentarios cultivados en suelos contaminados y están asociados con un mayor riesgo de enfermedades cardiovasculares, renales y neurológicas (Zheng *et al.*, 2020, p. 1).

Por otro lado, el arroz como cereal más importante y alimento básico en el mundo, tiene que ser producido en grandes cantidades para proveer a los habitantes, pero por esta razón se originan grandes sumas de desechos que son desaprovechados por completo (Chávez y Rodríguez, 2016, p.101). Lo cual aumentará según el crecimiento poblacional donde en el año 2015 se cultivaron aproximadamente 491 millones de toneladas, cuyo residuo de cascarilla representa entre 20 - 25 % de la producción, al respecto en la actualidad se estima que será 513.6 millones de toneladas de arroz (FAO, 2021, párr. 8).

Así la industria arroceras como subproducto genera cascarillas de arroz, el cual es de muy baja biodegradabilidad en condiciones del ambiente natural, por lo que es retirado típicamente de los campos mediante su incineración, llegando a infligir contaminación por la emisión de cenizas. Entonces se destaca que la necesidad de controlar la contaminación metales pesados provocada por el cultivo de arroz, para ello diferentes estudios sobre agricultura sostenible han indicado diversos manejos para los restos agrarios, entre ellos, el empleo de biocarbón como una metodología natural rápidamente propagada y viable para el aprovechamiento de la biomasa residual, con ventajas de recircular nutrientes in situ (Yeboah *at al.*, 2016 citado en Iglesias *at al.*, 2018, p. 33).

Las particularidades del biocarbón estructura porosa, gran superficie específica y abundantes grupos funcionales contribuyen a la adsorción e inmovilización de contaminantes, estudiándose principalmente para aliviar el estrés salino en suelos áridos y semiáridos, sin embargo, no están claros los efectos del biocarbón en los suelos de los arrozales sometidos a estrés salino y la efectividad de adsorción de metales pesados (Zhang, *at al.*, 2019, p 61). Asimismo, en el Perú dichas tecnologías son una visión raramente abordada por profesionales ambientales, por lo que se reunirá y comparará la evidencia existente sobre el biocarbón obtenido de cáscaras de arroz para la remediación de suelos salinos contaminados por metales pesados.

El propósito de la revisión sistemática fue contribuir la referencia bibliográfica necesaria, evidenciando de esta manera como el biocarbón tiene potencial para sostener un sistema de agricultura circular, bajo sus condiciones de producción y

aplicación, así en el ámbito de la ingeniería ambiental, se percibe que los metales acumulados en los suelos son gradualmente disminuidos y a la vez los gases de efecto invernadero que promueven el incremento del calentamiento global.

En el ámbito social el biocarbón tiene el potencial técnico para salvaguardar la seguridad alimentaria, pues puede agregarse como adsorbente a los suelos para enlazar los contaminantes con restricciones más notables y minimizando la absorción por los cultivos, sin embargo, requieren altas tasas de aplicación generalmente toneladas por hectárea, y aún existe incertidumbre sobre el tiempo de la remediación (Tang, 2016, p 37). Mientras que en el ámbito económico se reducen los costos en el transporte de residuos y el uso intensivo tanto de agroquímicos como de materiales para remediación con procesos dificultosos, pues la cascarilla de arroz tiene zinc en su estructura, permitiendo reducir las concentraciones de cadmio en los cultivos (Rodríguez et al., 2019, p 19).

Sobre la base de la realidad problemática presentada se planteó el problema general: ¿Cómo es la utilización del biocarbón de la cáscara de *Oryza sativa* (arroz) para la adsorción de metales pesados en suelos salinos? por lo tanto, el objetivo general fue describir la utilización de biocarbón de la cáscara de *Oryza sativa* (arroz) para la adsorción de metales pesados en suelos salinos mediante una revisión sistemática, asimismo los objetivos específicos se orientaron a identificar las metodologías de producción de biocarbón y sus efectos sobre la adsorción de metales pesados en suelos salinos, a describir las características de absorción del biocarbón de la cáscara de arroz y a comparar la eficiencia del biocarbón de la cáscara de arroz para la adsorción de metales pesados en suelos salinos.

## II. MARCO TEÓRICO

En la industria arrocera, el mayor desperdicio que se produce es la cáscara que recubre el grano de arroz, la cual se compone principalmente de hebras, celulosa y minerales, con una sustancia alta de sílice que condiciona una biodegradación excepcionalmente problemática. En consecuencia, se ha estudiado ampliamente alternativas de aprovechamiento de bajo costo como la obtención de materiales adsorbentes para metales pesados con efectos y las características adecuadas para reutilizarlas en el tratamiento del suelo contaminado de los cultivos.

Amoah-Antwi *at al.*, (2020) elaboró una revisión sistemática sobre la restauración de la calidad del suelo utilizando biocarbón y residuos de lignito. Para ello se empleó como muestra a 11 artículos de investigación que cumplen criterios de 15 años de antigüedad de publicación. Específicamente, esta revisión examina cómo la incorporación del biochar en el suelo, considerando suelos salinos, afecta los indicadores físicos, químicos y biológicos. Como resultado se obtuvo que el biochar no tiene impactos significativos inmediatos, pero proporcionan una fuente estable a largo plazo de materia orgánica del suelo que influye positivamente en una amplia gama de propiedades del suelo, concluyendo que el biochar puede utilizarse como enmienda en suelos contaminados y para promover los nutrientes disponibles en las plantas.

Goodman (2020) desarrolló una revisión sistemática sobre las prácticas actuales para utilizar la paja y las cáscaras de desecho de la producción de arroz, presentando ideas para desarrollar su plena utilización, incluida el biocarbón final del proceso de pirólisis, determinando en qué medida son compatibles con otros factores que rigen la capacidad de adsorción, el cual varía con los iones metálicos según el pH del recurso de estudio y la composición de la superficie de la cáscara, concluyendo que la mayoría de los iones de metales pesados muestran una adsorción máxima cerca de pH 5, mientras que la adsorción de los otros contaminante se ve favorecida por condiciones fuertemente ácidas.

Gujre *at al.*, (2020) analizó críticamente la mejora sostenible de la salud del suelo utilizando biocarbón y hongos, considerando las funciones individuales y complementarias de biochar para mejorar el rendimiento de los cultivos, la

remediación de los contaminantes del suelo, y mejorar las oportunidades de sustento. Para ello revisó 40 artículos de investigación con rango de antigüedad desde 1984 hasta 2020, los cuales estuvieron centrados en las técnicas de enmienda de diferentes texturas del suelo, incluyendo arenoso. Los resultados indican que el biochar aumenta la superficie total para la retención de agua y nutrientes, que funcionan particularmente bien para las zonas afectadas por la sequía, por lo que se concluye que el proceso de restauración verde usando biochar junto con AMF, es decir, con hongos es una opción adecuada y sostenible.

He *at al.*, (2019) sintetizó los avances recientes en la comprensión de las interacciones metal-biocarbón en los suelos, los riesgos potenciales asociados con la enmienda de biocarbón y la aplicación de biocarbón en la remediación del suelo en China mediante una revisión rigurosa de literatura, lo cual condujo a la conclusión que el efecto de remediación depende de las características tanto del biocarbón como del suelo y sus interacciones, las aplicaciones de biocarbón podrían disminuir la movilidad / biodisponibilidad, además a pesar de sus ventajas, las aplicaciones de biocarbón podrían presentar riesgos ecológicos y para la salud, por ejemplo, liberando sustancias tóxicas en el suelo o por inhalación de polvo de biocarbón. Por lo que, en el futuro, se recomienda considerar los efectos a largo plazo y la seguridad de las aplicaciones de biocarbón en la remediación del suelo.

Saifullah *at al.*, (2018) elaboró una revisión sistemática sobre el papel del biochar en la mejora de las propiedades del suelo y el crecimiento de las plantas en suelos afectados por la sal. Para ello se empleó como muestra a 14 artículos de investigación de 8 años de antigüedad de publicación, los cuales se realizaron en entornos de laboratorio o invernadero a corto plazo (de semanas a pocos meses) utilizando macetas de pequeño tamaño sin lixiviación, y sin explorar los efectos residuales del uso continuo de agua salobre para riego. Como resultado se obtuvo que el biochar es aplicado como enmienda orgánica para mejorar el crecimiento de las plantas y las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo afectado por la sal a través de mecanismos directos e indirectos; sin embargo, no se pudieron diferenciar entre factores asociados con el aumento de la disponibilidad de nutrientes.

Liu *et al.*, (2018) evaluó críticamente el papel del biocarbón en la sorción, desorción y degradación de pesticidas que contienen metales pesados en el suelo, junto con las propiedades dominantes del biocarbón, incluida la porosidad y el área de superficie, el pH, los grupos funcionales de la superficie, el contenido de carbono y la estructura aromática, y la composición mineralógica. Además, del efecto combinado de biocarbón y microorganismos del suelo en la degradación de pesticidas y aplicación a gran escala de biocarbón en suelos agrícolas para multifunción mediante la revisión de 14 artículos. Concluyendo así que el biochar con alta superficie y bajo contenido de carbono orgánico disuelto generalmente aumenta la sorción de plaguicidas en los suelos en comparación con el suelo no modificado dependiendo de la materia prima de producción, por lo tanto, recomienda que es necesario equilibrar si los métodos de modificación son económicamente viables para la remediación del suelo.

El uso de biocarbón no es materia de estudio en los países subdesarrollados, así nacionalmente solo se evidencio una investigación de revisión de Sánchez y Zurita (2020) sobre la interacción del biocarbón como inhibidor de plomo en suelos agrícolas, el cual considero a 40 artículos que fueron clasificados en 4 secciones relacionadas con la contaminación del suelo, el plomo en la salud, plomo en el bienestar, plomo en las plantas y finalmente biocombustibles y componentes de interacción.

Sobre la premisa de las últimas contemplaciones mencionadas, es esencial aclarar el sistema conceptual de la contaminación de los suelos por metales pesados en los arrozales. Estos contaminantes pueden clasificarse como esenciales y no esenciales, en el primer caso son micronutrientes que en cantidades mínimas son requeridas por las plantas como el cobre, hierro, zinc, manganeso, cobalto, níquel, y molibdeno, asimismo por la fauna son cromo, cobalto y níquel, mientras que por los humanos son cromo, cobalto, hierro manganeso, zinc, níquel, vanadio, cobre y cromo, sin embargo, los elementos esenciales en formas biodisponibles y en niveles excesivos, tienen el potencial de volverse tóxicos (Nagajyoti *et al.*, 2010, párr.2).

Los demás metales pesados que se clasifican como no esenciales son potencialmente tóxicos, como el mercurio, plata, cadmio, plomo y arsénico, estos significan un riesgo no solo para las plantas que los absorben sin cumplir una función biológica y se incorporan en la cadena trófica para los demás seres vivos (Yoplac y Tuesta, 2018, p. 1). Pues cuando las plantas están expuestas a la contaminación por metales pesados, las propiedades elásticas de la pared celular muestran irregularidades, afectando los mecanismos de crecimiento por procesos de extensión y alargamiento de la célula vegetal (Hede et al., 2015, p. 84), por lo que disminuyen la productividad de las plantas, causando daño y, finalmente, la muerte de la planta (Baldantoni *et al.*, 2016, p. 41).

Las fuentes de los metales pesados en el medio ambiente son geogénicas y antropogénicas, así los suelos agrícolas pueden contaminarse con metales pesados de la misma actividad, como el riego con aguas residuales, pero también de actividades industriales y mineras. De esta manera en el cultivo de arroz se emplea desmedidamente el recurso hídrico pues tiene la característica de ser una planta semiacuática que se siembra habitualmente con inundaciones persistentes durante la mayor parte de su ciclo de desarrollo (González, Ruiz y Yaumara, 2015), contribuyendo al aumento del pH en el suelo, lo que transforma el estado de selectividad del intercambio favoreciendo una porosidad moderada y evitando la retención de suplementos.

De esta manera, el agua que recae sobre las superficies salinos se estanca en la superficie haciéndolos grandes receptores de especies vegetales gramíneas como el arroz, aumentando la dispersión de metales pesados por el uso tanto de aguas de riego contaminadas como de agroquímicos, que terminan ingresando a la planta de arroz mediante la capacidad de absorción de su raíz y acumulándose en los tejidos vegetales (Praveena y Omar, 2017, p. 8). Asimismo, se utilizan grandes cantidades de agua que se mantiene fluyendo entre 5 y 10 cm por encima del suelo en el campo de arroz hasta el período de maduración, finalmente el suelo se seca en las últimas 2-3 semanas antes de la cosecha (Sudirjo et al., 2019, p.3).

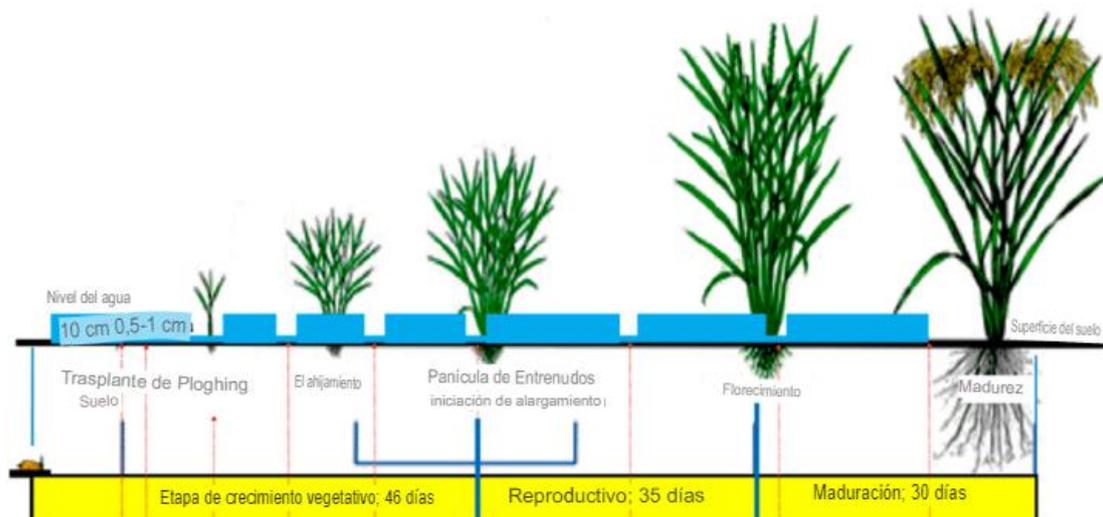


Figura 1. Fases de crecimiento de un arrozal con manejo de agua.

Fuente: (Sudirjo et al., 2019).

Así la industria arrocera da como resultado la generación de grandes cantidades de biomasa no alimentaria principalmente en forma cáscara de arroz después del procesamiento de los granos, que cuando es incorporada en el suelo presenta degradabilidad lenta y puede albergar enfermedades del cultivo, por lo que actualmente sólo el 20% de la paja de arroz se utiliza con fines prácticos, como la producción de biocombustibles, papel y fertilizantes, sin embargo después de la cosecha la mayoría se quema in situ produciendo una extensa contaminación atmosférica generando gases de efecto invernadero (Goodman, 2020, p. 143).

Por tal motivo, la producción de biocarbón representa la tecnología más adecuada para el aprovechamiento de la cascarilla de arroz, pues está compuesta por fibras, célula y minerales, donde dentro este último se concibe un alto contenido de silicio que contribuye no solo en el alivio de escasez de agua mediante la formación de una capa de gel para la disminución de la evapotranspiración en la pared celular de la epidermis, sino también en la resistencia en hebras vasculares de las plantas proporcionando una defensa contra enfermedades, plagas y demás riesgos ambientales tanto bióticos como abióticos (Peralta, 2017, p. 17), por lo que favorece la reducción del estrés en los cultivos causados por algunos metales pesados presentes en los suelos.

Además, el uso de cáscara de arroz permite aliviar la huella ecológica de la agricultura a través de la valorización de los residuos no aprovechados como una materia prima potencial para la obtención de fibras de celulosa la cual puede ser empleada en la producción de biocarbón, el cual es un sólido de color negro como se muestra en la figura 2 (Zheng *et al.*, 2016, p. 63), así el primer proceso se da generalmente en condiciones bajas de oxígeno con temperaturas de rango 300-700 °C.



Figura 2. Biocarbón de cascarilla de arroz.

Fuente: Guerra (2015)

En la gasificación, la materia residual es incinerada, formando una reacción en el cambio del desperdicio al carbón (Mclaughin *et al.*, 2009; Escalante *et al.*, 2016, p. 374), mientras que la conversión hidrotérmica evita el consumo intensivo de energía y logra una temperatura de funcionamiento relativamente baja y una alta eficiencia de conversión mediante un proceso que somete la biomasa a temperaturas altas introducida en agua, lo que no permite que haya ebullición (Xu *et al.*, 2018, p. 2).

Las características del biocarbón, incluida su capacidad de adsorción, se forman dependiendo de las condiciones del proceso como la temperatura, área superficial, tipo de biomasa presentes en la superficie del biochar, asimismo los factores que afectan la remoción de contaminantes son pH, temperatura, tamaño del bio adsorbente, el tipo y concentración inicial del contaminante (Hidalgo, 2004 citado en Choquejahuá, 2018, p. 35), de esta manera presenta una estructura irregular de láminas de carbono con espacios de porosidad que permite la adsorción de

compuestos orgánicos y metales pesados para ser eliminados del suelo con una alta eficiencia, facilidad manejo y costos reducidos.

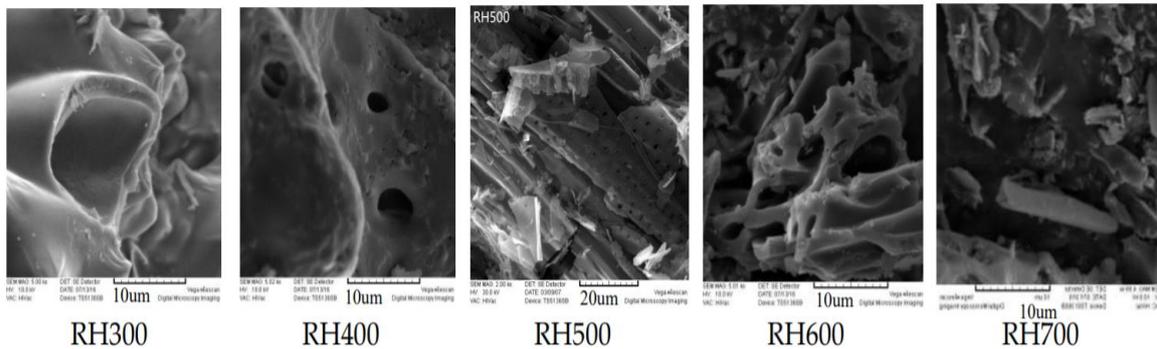


Figura 3. Porosidad del biocarbón de cáscara arroz a temperaturas desde 300°C a 700°C.

Fuente: Linam et al., (2020).

### **III. METODOLOGÍA**

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

Fue cualitativa de tipo básica porque tuvo como finalidad aumentar los conocimientos científicos relacionadas con las variables de estudio (Concytec, 2018, p. 43), buscando el conocimiento de la realidad actual (Gabriel, 2017, p. 155).

El diseño correspondió a narrativo de tópico ya que estuvo orientado en un tema que conllevó a analizar sucesos de manera secuencial mediante la recopilación de información en categorías y subcategorías, la evaluación de la calidad y metodología empleadas en las investigaciones y la síntesis de la evidencia científica, denotando un tópico que detalla en micro aspectos surgiendo a partir de los objetivos (Herrera at al., 2015, p.6), llegando ser un recurso informativo en la toma de decisiones para futuras investigaciones experimentales.

#### **3.2. Categoría, subcategorías y matriz de categorización apriorística**

El procesamiento de los datos cualitativos requirió de la categorización y la subdivisión de esta en grupos más pequeños que estén orientados por los objetivos de la investigación para facilitar la organización y comprensión de los resultados, de esta manera se presenta la siguiente matriz:

**Tabla 1. Matriz de categorización apriorística**

Ámbito de estudio	Problema general	Pregunta de investigación	Objetivo general	Objetivos específicos	Categoría	Sub categoría
Utilización de biocarbón de la cáscara de <i>Oryza sativa</i> (arroz) para la adsorción de metales pesados en suelos salinos: una revisión sistemática.	¿Cómo es la utilización del biocarbón de la cáscara de <i>Oryza sativa</i> (arroz) para la adsorción de metales pesados en suelos salinos?	¿Cuáles son las metodologías de producción de biocarbón y sus efectos sobre la adsorción de metales pesados en suelos salinos?	Describir la utilización de biocarbón de la cáscara de <i>Oryza sativa</i> (arroz) para la adsorción de metales pesados en suelos salinos.	Identificar las metodologías de producción de biocarbón y sus efectos sobre la adsorción de metales pesados en suelos salinos.	Método de pirolisis	Pirolisis lenta
						Pirolisis rápida
						Pirolisis flash
			¿Cuáles son las características de absorción del biocarbón de la cáscara de arroz?	Describir las características de absorción del biocarbón de la cáscara de arroz.	Características Químicas	pH
						Conductividad eléctrica
						Contenido de Sílice
			¿Cuál es la eficiencia del biocarbón de la cáscara de arroz para la adsorción de metales pesados en suelos salinos?	Comparar la eficiencia del biocarbón de la cáscara de arroz para la adsorción de metales pesados en suelos de arrozales salinos.	Producción de biocarbón	Porosidad
		Tamaño				
		Porcentaje de rendimiento				
			Proceso de remoción de metales pesados	Porcentaje de remoción		
				Tiempo de remoción		

Fuente: Elaboración propia

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

El escenario permite una aproximación a la realidad que es el objeto de estudio, donde las variables son claramente reconocidas, así como las ocasiones y circunstancias en que estos son asociados en un tiempo y lugar determinado (Quintana, 2016, p. 53), sin embargo, la presente investigación se enmarcó por un entorno de búsqueda virtual, donde se evidencia la utilización de biochar de la cáscara de arroz para la adsorción de metales pesados en suelos salinos a través de un análisis documental.

### **3.4. Participantes**

Los participantes fueron los artículos a examinar para obtener información de interés en la investigación, los cuales se encontraron en bases de datos digitales mediante motores de búsqueda web para la gestión de la información con la finalidad de aportar en la generación de nuevos conocimientos que se sustentan en la literatura científica (Espinoza, 2020, p. 34), de esta manera las fuentes de datos fueron ScienceDirect, Scielo PubMed, ProQuest y SpringerLink debido a que se caracterizan por ser actualizadas, fidedignas, confiables, verificables y accesibles, las cuales son recomendables para con estructuras de fácil manipulación, los cual permitió reducir los sesgos de selección y calidad.

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

La técnica aplicada fue el análisis de documentos puesto que se busca la representación de los registros bibliográficos de una manera sistematizada mediante un proceso analítico-sintético que, a su vez, incorpora la clasificación, ordenación, extracción e interpretación, así en específico dentro de síntesis de información se incluye un componente más descriptivo con la finalidad de crear una comprensión profunda, tanto para revelar patrones y explorar los límites como para investigar las percepciones a partir de la perspectiva de los participantes (Sobrido y Rumbo-Prieto, 2018, p.23).

Por lo tanto, es indispensable contar con un instrumento para llevar un registro de la información que fue recabada del escenario de estudio

mediante una ficha de investigación (anexo N°1) que contuvo en su estructura tanto la referencia de los participantes como los datos relevantes respecto a la investigación los cuales son objetivos, hipótesis, variables, dimensiones, asimismo apuntes sobre el biocarbón enmarcados en técnica de producción, temperatura, tiempo y equipos, Contenido de carbono, área superficial, porosidad, pH, aditivos equipamiento de la experimentación, adsorción de metal pesado y eficiencia de remoción, todo en base a las categorías y subcategorías de las variables del estudio.

### **3.6. Procedimiento**

Según Khalil *et al.* (2016), el procedimiento de una revisión sistemática se divide en cuatro etapas de identificación, selección, elegibilidad e inclusión, donde se aplicarán criterios de selección como una guía para comprender lo que proponen los examinadores y, lo que es más importante, una guía para que los propios examinadores basen las decisiones sobre las fuentes que se incluirán en la revisión inicial.

La realización de la revisión inició en primera etapa como una búsqueda limitada en las bases de datos usando palabras claves “adsorción”, “metales pesados”, “biochar” y “cascarilla de arroz” mediante una ecuación de búsqueda (adsorption AND heavy metals AND biochar AND rice AND husk), posteriormente se seleccionaron aquellos artículos que contuvieron estas palabras claves en el título y el resumen, para decidir si puede contener información de interés que describan de manera fiable los principales indicadores de la utilización de biochar de la cáscara de arroz para la adsorción de metales pesados en suelos salinos.

En la segunda etapa se realizó una filtración de información mediante los criterios de elegibilidad que están relacionados con los conceptos de la pregunta de investigación y forman parte de los criterios de inclusión y exclusión (Quan *et al.*, 2020, p. 2) con la finalidad de escoger y seleccionar los artículos más relevantes para el aporte en el tema de investigación mediante una lectura generalizada, considerando si los diversos estudios son comparativos entre sí, con la finalidad de describir cómo se llevaron a

cabo las experimentaciones y cómo los autores muestran las variables de resultado, por lo tanto la justificación de cada uno de los criterios de inclusión se explicó de manera clara y exhaustivamente en la siguiente tabla:

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

<b>Factores</b>	<b>Criterio de inclusión</b>	<b>Criterio de exclusión</b>
Problema	Contaminación por metales pesados	Contaminaciones no relacionadas con metales pesados
Intervención	Aplicación de biocarbón en los suelos salinos	Aplicación de biocarbón en suelos no salinos
Resultados	Remoción de metales pesados	Remoción de otros contaminantes
Lugar	Países del mundo	-
Tipo de estudio	Estudios científicos con métodos cualitativos, cuantitativos o mixtos	Estudios sin análisis utilizando una metodología de investigación
Idioma	Artículos redactados en idioma español e inglés	Artículos escritos en un idioma distinto al inglés y español
Años de publicación	2016-2021	Antes del 2015

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, la última etapa se basó en la descripción de las características de cada análisis incluido, para lo cual se realizó mediante cuadros y gráficos de estadística simple. De esta manera se organizó la información con categorías y subcategorías como indicadores, permitiendo manejar de manera apropiada la información y planear resultados acordes con los objetivos a fin de evitar sesgos desde la planificación hasta conclusiones o incluso en la publicación.

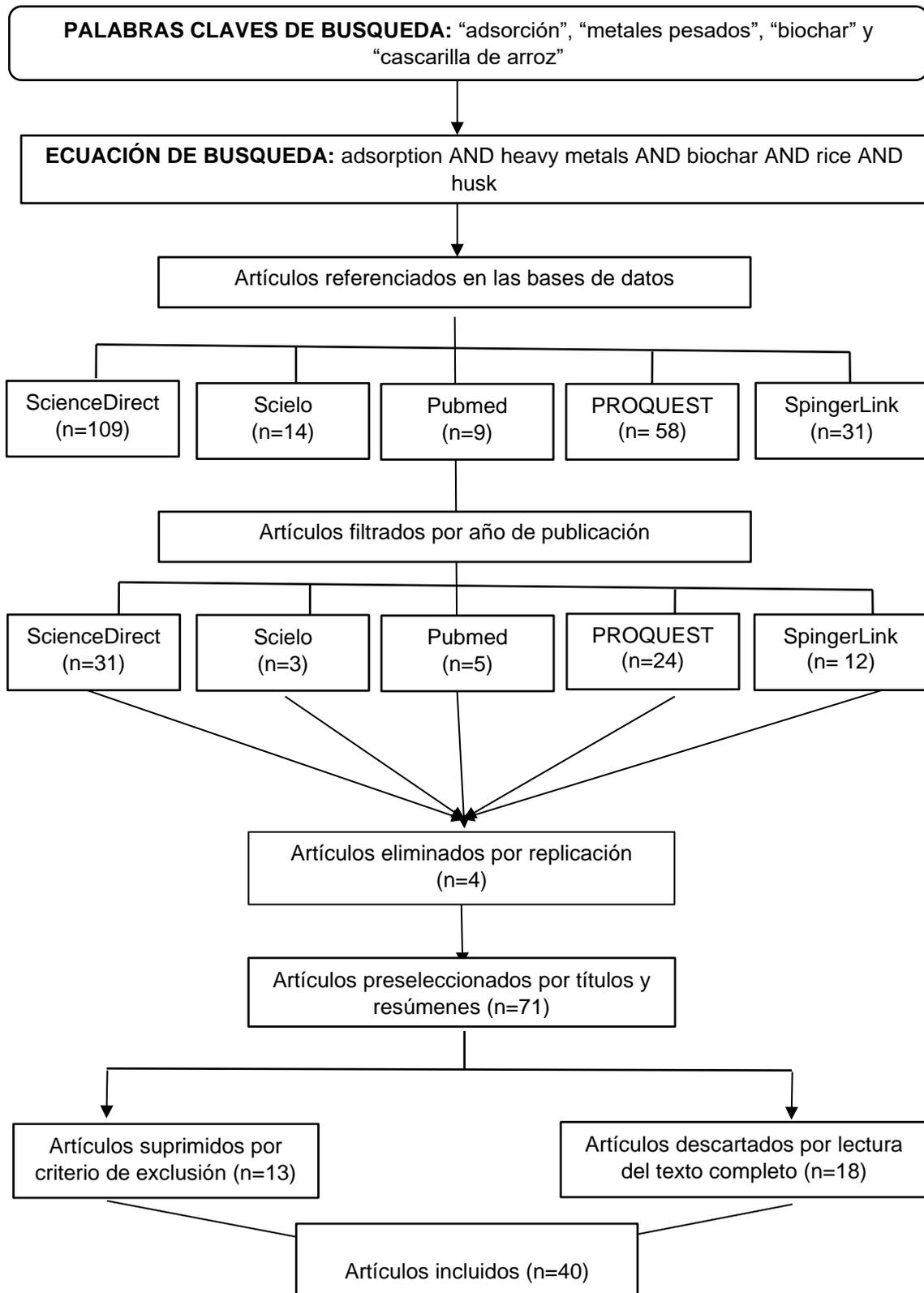


Figura 4. Procedimientos de la revisión sistemática

Fuente: Elaboración propia.

### **3.7. Rigor científico**

La revisión sistemática desempeñó los aspectos de consistencia, la cual estuvo referida a la estabilidad de los datos generados de las fuentes y la comprobación de los participantes; la credibilidad que generó confianza en los descubrimientos; la transferencia de los datos o resultados e hipótesis de la investigación hacia otros contextos similares a la investigación y la auditabilidad que indica unos resultados no influenciados por motivación, interés o inclinación del investigador.

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

El análisis se llevó a cabo mediante el método de Verstehen que se orienta a la comprensión de los sucesos de un estudio sin la manipulación de las variables para conocer su dimensión subjetiva utilizando procedimientos de acceso y desvelamiento de la información en los artículos científicos (Sánchez, 2019, p. 109), asimismo mediante un análisis descriptivo, interpretativo y crítico que establece la confiabilidad de la presente investigación de narrativo de tópicos, pues cuando hay imperfecciones en la estrategia, los resultados no tienen la confiabilidad necesaria, a diferencia de cuando los estudios fueron bien realizados. Además, los criterios de calificación estuvieron relacionados con los conceptos de la pregunta de investigación y forman parte de los criterios de inclusión y exclusión (Quan et al., 2020, p. 2).

### **3.9. Aspectos éticos**

La investigación científica comprendió lineamientos éticos que constituyen responsabilidades e integridad, los cuales de no ser cumplidos suprimen la confiabilidad de un estudio porque lo harían parte de la omisión, negligencia e incluso plagio (Viorato y Reyes, 2019). De esta manera la presente revisión sistemática consideró el respeto a la autoría de los autores mediante un correcto citado en base al reglamento de la Universidad César Vallejo que establece las conductas éticas en los analistas.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Resultados

#### 4.1. Metodologías de producción de biocarbón y sus efectos sobre la adsorción de metales pesados en suelos salinos

Tabla 3. Producción de biocarbón de cascarilla de arroz

Autor	Técnica de producción	Temperatura (° C)	Tiempo (minutos)	Equipos
Abbas et al., (2018)	Pirólisis lenta	700	90	Horno de mufla
Abdullah et al., (2021)	Pirólisis lenta	600	120	Reactor
Bicalho et al., (2017)	Pirólisis lenta	430	210	Reactor
Campos y De la Rosa (2020)	Pirólisis rápida	500	12	Reactor
Chen et al., (2018)	Pirólisis lenta	200	30	Microondas
Chen et al., (2019)	Gasificación	1000	100	Reactor
Da et al., (2020)	Pirólisis lenta	600	60	Reactor
Deng et al., (2020)	Pirólisis lenta	350	60	Microondas
Eduah et al., (2019)	Pirólisis lenta	650	90	Reactor
Fazeli et al., (2020)	Pirólisis rápida	450	30	Horno de mufla
Ghorbani, (2019)	Pirólisis lenta	500	45	Barril
Hamid et al., (2018)	Pirólisis lenta	550	50	Microondas
Hong Yan et al., (2019)	Pirólisis lenta	300	240	Horno de mufla
Huang et al., (2020)	Pirólisis lenta	700	60	Horno de mufla
Jia et al., (2018)	Pirólisis lenta	700	180	Horno de mufla
Kameyama et al., (2019)	Pirólisis lenta	800	60	Horno de mufla
Khum-in et al., (2020)	Pirólisis rápida	600	90	Reactor
Li et al., (2019)	Pirólisis lenta	600	60	Horno de mufla
Long et al., (2019)	Pirólisis lenta	600	60	Microondas
Lu et al., (2017)	Pirólisis rápida	500	30	Reactor
Manolikaki y Diamadopoulou (2017)	Pirólisis rápida	300	45	Reactor

Nwajiaku et al., (2018)	Pirólisis lenta	400	10	Barril
Oranratmanee y Tungittiaplakorn (2020)	Pirólisis lenta	450	240	Horno de mufla
Rehman et al., (2020)	Pirólisis lenta	460	90	Horno de mufla
Severo et al., (2020)	Pirólisis lenta	500	60	Horno de mufla
Shen et al., (2017)	Pirólisis rápida	700	40	Reactor
Singh et al., (2018)	Pirólisis lenta	300	40	Barril
Suksabye et al., (2016)	Pirólisis lenta	550	120	Microondas
Sun et al., (2018)	Pirólisis rápida	600	30	Reactor
Tsai et al., (2021)	Pirólisis lenta	900	90	Horno de mufla
Ultra, Nunez y Lee, (2016)	Pirólisis rápida	400	60	Reactor
Velázquez-Maldonado et al., (2019)	Pirólisis rápida	200	19	Reactor
Wang et al., (2019)	Pirólisis lenta	500	120	Horno de mufla
Wang et al., (2020)	Pirólisis lenta	500	180	Microondas
Xiaoli et al., (2020)	Pirólisis lenta	500	360	Horno de mufla
Yang, Liu y Lu, (2021)	Pirólisis lenta	650	60	Horno de mufla
Yulnafatmawita Yasin y Maira (2020)	Pirólisis rápida	700	120	Horno de mufla
Zhang et al., (2020)	Pirólisis lenta	550	60	Reactor
Zhang et al., (2019)	Pirólisis lenta	250	60	Horno de mufla
Zhao et al., (2019)	Pirólisis lenta	500	120	Reactor

Fuente: Elaboración propia.

Las técnicas de producción determinan las características del biochar que intervienen en el proceso de absorción del cadmio en el suelo donde a partir de la revisión sistémica se identificó que los valores de temperatura varían de los 200 a 1000 ° C. Además, se identificó que el tiempo de producción de biochar está dentro del rango de 10 a 360 minutos, lo cual en función con la temperatura que permite fijar el tipo de proceso elaborado en la fabricación de biochar.

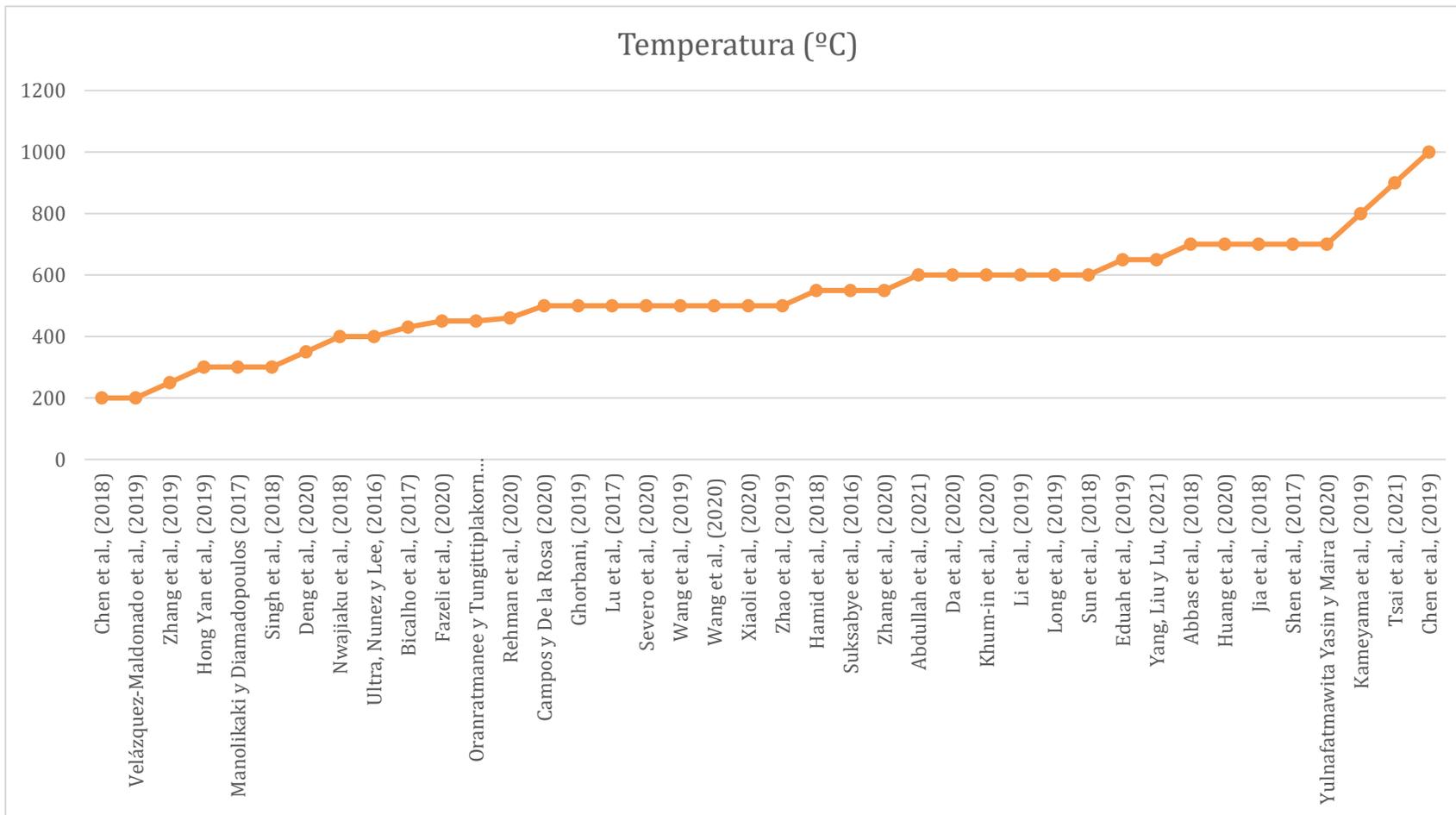


Figura 5. Temperatura de producción de biochar según los artículos  
Fuente: Elaboración propia

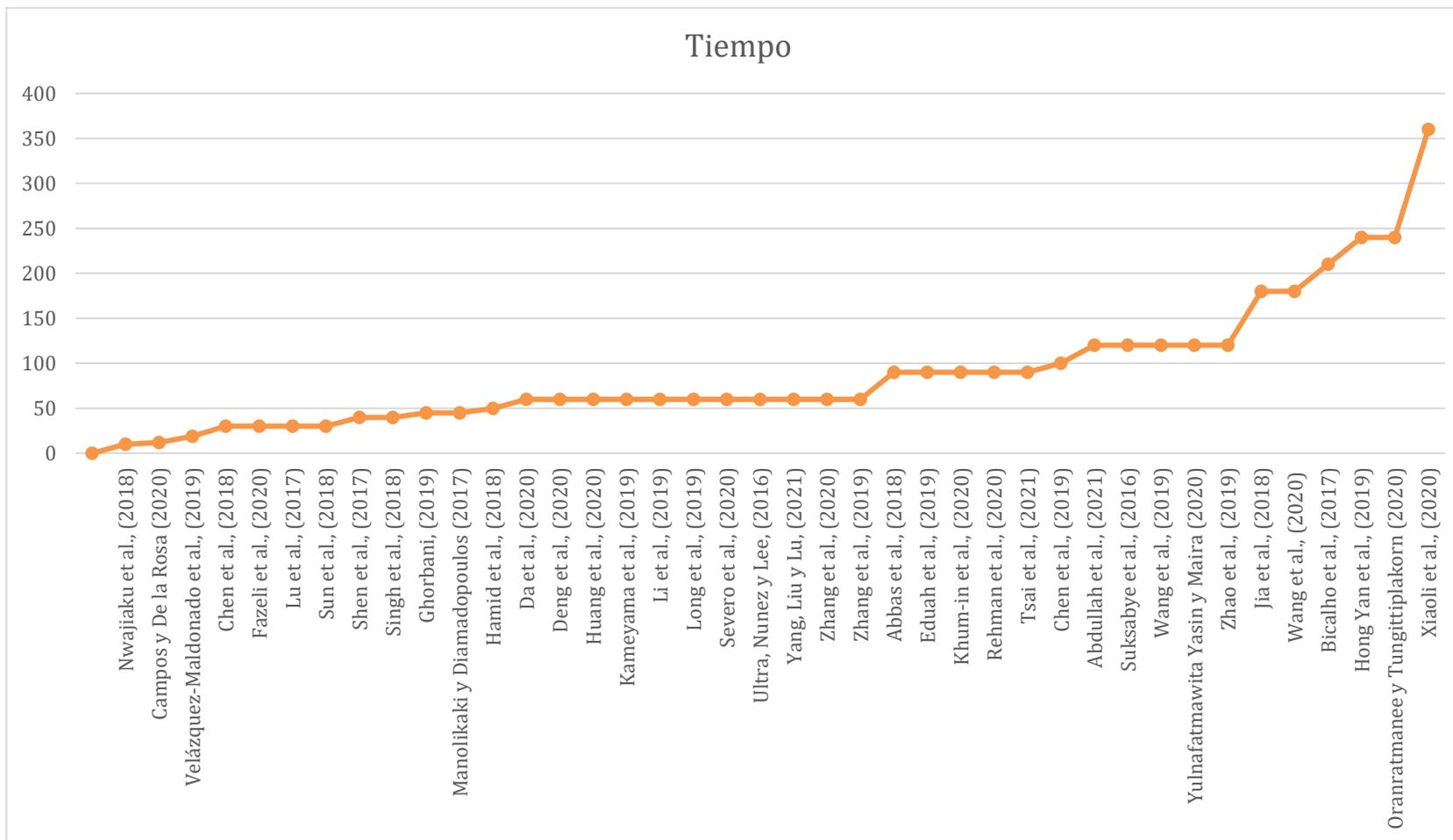


Figura 6. Tiempo de producción de biochar según los artículos

Fuente: Elaboración propia

Con respecto a equipos para la fabricación del biochar de la cáscara de arroz, se usaron hornos mufla, microondas, reactores y barriles, siendo el tipo de método principal para la conversión térmica fue la Pirólisis lenta.

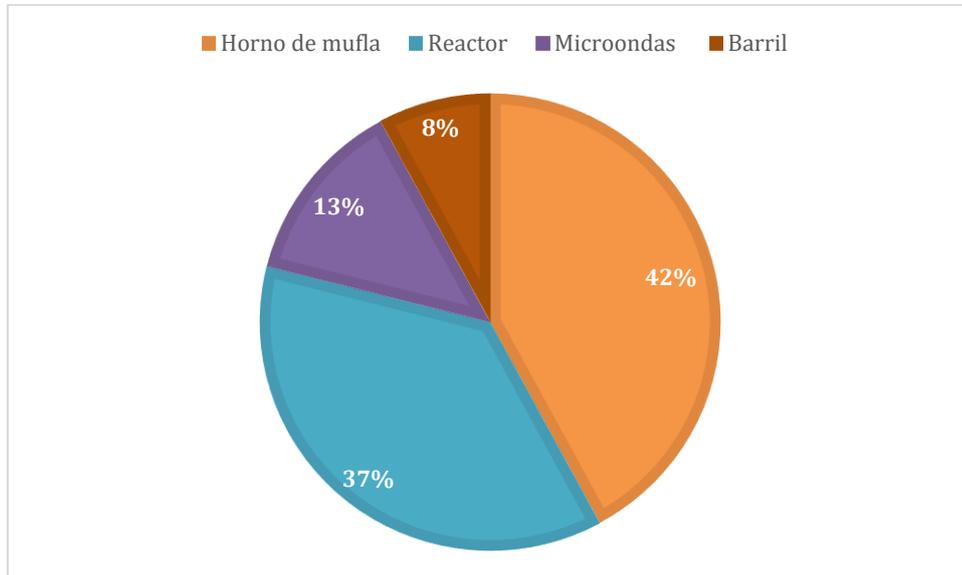


Figura 7. Equipos para la producción de biochar según los artículos

Fuente: Elaboración propia

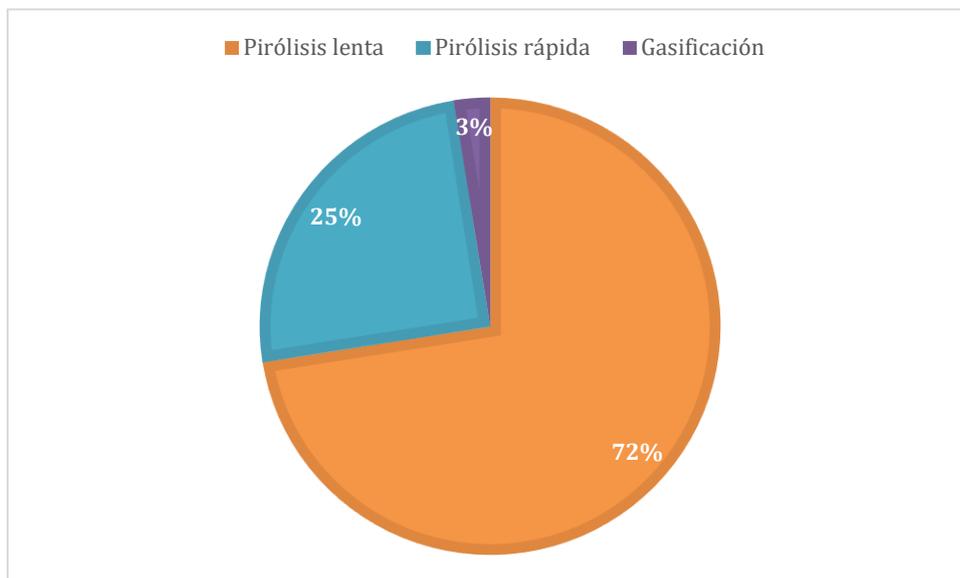


Figura 8. Técnica de producción de biochar según los artículos

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2. Características de absorción del biocarbón de la cáscara de arroz

**Tabla 4.** Características de adsorción del biochar de la cáscara de arroz que influyen en la adsorción de metales pesados en suelos salinos.

Autor	Contenido de carbono (%)	Área superficial (m <sup>2</sup> /g)	Porosidad	pH
Abbas et al., (2018)	72,5	207,8	0,366	12,6
Abdullah et al., (2021)	29,47	277,2	0,219	7,87
Campos y De la Rosa (2020)	53,7	292,0	-	10,10
Chen et al., (2018)	49,0	43,4	0,275	9,8
Chen et al., (2019)	52,5	41,4	0,316	5,9
Da et al., (2020)	47,1	17,5	-	11,0
Eduah et al., (2019)	42,6	-	-	9,5
Fazeli et al., (2020)	45,4	-	-	10,7
Ghorbani, (2019)	47,8	38,3	0,235	9,2
Hamid et al., (2018)	40,3	-	-	8,16
Huang et al., (2020)	56,9	242,5	0,289	10,7
Jia et al., (2018)	28,4	406,2	-	9,4
Lu et al., (2017)	50,8	36,7	0,239	10
Manolikaki y Diamadopoulos (2017)	20,6	-	-	7,5
Nwajiaku et al., (2018)	54,1	54,1	0,247	6,5
Shen et al., (2017)	47,32	114,9	-	9,81
Severo et al., (2020)	46,1	99,5	-	5,5
Suksabye et al., (2016)	29,7	136	0,234	8,3
Sun et al., (2018)	21,8	137	0,209	8,5
Tsai et al., (2021)	45,3	278,9	0,315	8,61
Ultra, Nunez y Lee, (2016)	44,6	32,8	0,199	7,4
Wang et al., (2019)	28,5	192,4	-	6,0
Yang, Liu y Lu, (2021)	39,8	14,3	0,289	11,2

Fuente: Elaboración propia.

### 4.3. Eficiencia del biocarbón de la cáscara de arroz para la adsorción de metales pesados en suelos salinos.

**Tabla 5.** Remoción de metales pesados mediante la aplicación de biocarbón

Autor	Aditivos	Equipamiento de la experimentación	Adsorción de metal pesado	Eficiencia de remoción (%)
Abdullah et al., (2021)	Fertilizante NPK	Macetas	Cobre	64,7
Campos y De la Rosa (2020)	Atmósfera de N <sup>2</sup>	Macetas	Cobre	60,0
			Plomo	80,0
Chen et al., (2018)	Peróxido de urea-hidrógeno (UHP)	Columnas	Cadmio	49,0
Chen et al., (2019)	Cistamina NH <sub>2</sub> - (CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> -SS- (CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> -NH <sub>2</sub>	Macetas	Cadmio	80,0
Da et al., (2020)	Fertilizantes de urea (CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> ) y fosfato mono potásico (KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> )	Macetas	Arsénico	84,7
			Cadmio	69,0
Hamid et al., (2018)	Sin aditivos	Parcelas	Plomo	76,8
			Cadmio	44,5
Huang et al., 2020	Sin aditivos	Macetas	Cadmio	44,5
Khum-in et al., (2020)	Hierro de valencia cero (BZVI)	Columnas	Cadmio	74,0
Li et al., (2019)	Nitrato ferroso (Fe (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> )	Macetas	Cadmio	80,0
Oranratmanee y Tungittiplakorn (2020)	Sin aditivos	Parcelas	Cadmio	83,2
Shen et al., (2017)	Sin aditivos	Columnas	Níquel	20,0
Severo et al., (2020)	Sin aditivos	Parcelas	Hierro	95,4
Suksabye et al., (2016)	Sin aditivos	Macetas	Cadmio	33,3
Sun et al., (2018)	Permanganato de potasio (KMnO <sub>4</sub> )	Parcelas	Cadmio	87,0
Ultra, Nunez y Lee, (2016)	Sin aditivos	Macetas	Cadmio	40,0
Xiaoli et al., (2020)	Atmósfera de N <sup>2</sup>	Columnas	Mercurio	49,2
			Hierro	64,4
Yulnafatmawita Yasin y Maira (2020)	Sin aditivos	Macetas	Manganeso	48,9
			Zinc	54,0
			Cadmio	91,4
Tsai et al., (2021)	Sin aditivos	Parcelas	Cadmio	91,4
Zhang et al., (2020)	Fosfato de potasio (K <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> )	Columnas	Cadmio	94,0

Fuente: Elaboración propia.

Los estudios sobre la adsorción de metales pesados han sido desarrollados solamente por 16 autores de los 40 revisados, de los cuales en la figura 9 se puede observar que la mayoría, es decir, el 52% efectuó la remoción de cadmio, inclusive algunos autores eliminaron más de un metal a la vez como en el caso de Yulnafatmawita Yasin y Maira (2020), Hamid et al., (2018) y Campos y De la Rosa (2020).

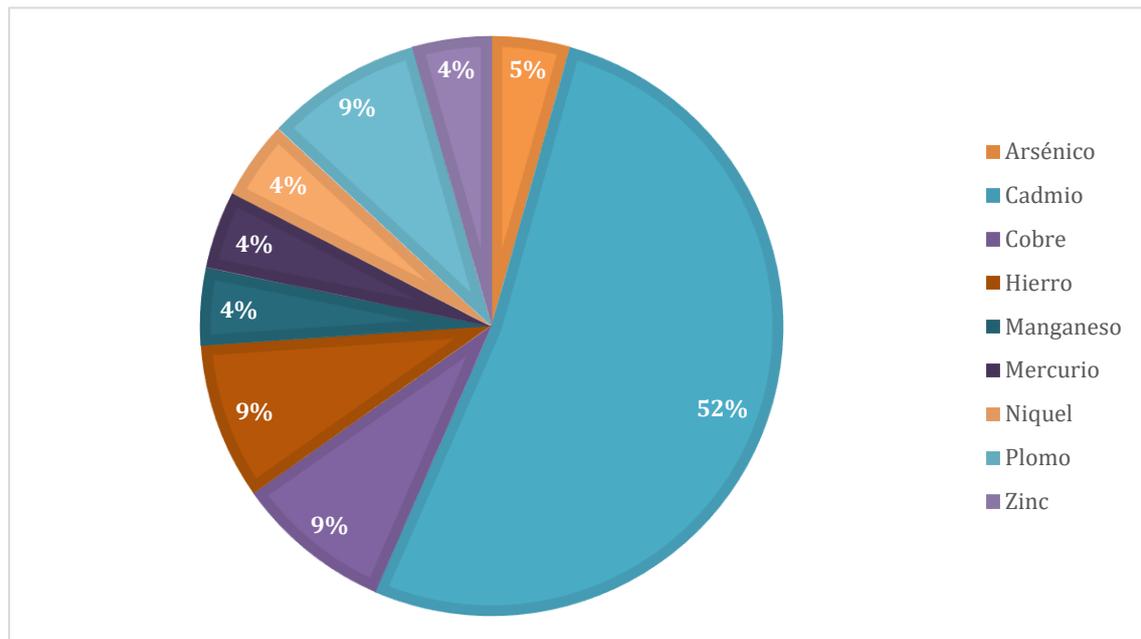


Figura 9. Conteo de Adsorción de metal pesado

Fuente: Elaboración propia

## Discusión

**Las metodologías de producción de biocarbón tuvo efectos sobre la adsorción de metales pesados en suelos salinos**, pues la revisión de los artículos evidenció que existe una relación entre la temperatura y tiempo del proceso de producción del biochar. En este contexto, Abbas et al., (2018) indica que el contenido del biochar reduce de 38,95% a 4,2% aumentando de temperatura desde 300 a 700 ° C, asimismo Li et al., (2019) en el mismo rango de temperatura coincide que el rendimiento de biochar de la cáscara de arroz se reduce en el primero a 37,52% pero con el calentamiento a 700 °C se obtiene valores más altos de 23,32%.

Mientras tanto Huang et al., (2020) solamente apoya que el rendimiento del biochar disminuye significativamente cuando la pirólisis se emplea a 500 °C en vez de 300 °C, y fue menor aún a 700 °C. Por lo tanto, se puede afirmar que la temperatura de conversión térmica alta produce menor rendimiento de sólidos a partir de 600 °C en promedio, no obstante, esta condición presenta un aumento de la capacidad de absorción de los contaminantes que tiene potencial debido a la materia prima de donde se obtuvo el biochar, es decir, de la cascarilla de arroz presenta en su estructura natural dos componentes significativos como el silicio y la lignina.

Así según Shen et al., (2017), el primero es un polímero indefectible para potenciar la rigidez de las paredes celulares vegetales, mientras que el segundo se ha agenciado como un mineral que mejora la absorción de los nutrientes presentes en el suelo y protege a la planta de la toxicidad. Por ende, Xiaoli et al., (2020), observó que la liberación de silicio reduce con la temperatura de pirólisis en el orden general desde cáscara sin carbonizar > 450 ° C > 600 ° C = 750 ° C = 950 °C. Además, Tsai et al., (2021) complementa en su investigación que una mayor adsorción de cadmio se ve favorecida en biochar a temperatura más alta de 950 ° C. Por lo tanto, se puede deducir que aquellos biocarbón con composiciones minerales superiores brindan oportunidades adicionales para la adsorción de metales tóxicos en el suelo.

**Las características de absorción del biocarbón de la cáscara de arroz** dependieron de las condiciones operacionales de producción, por ejemplo, la formación de biochars porosos está significativamente influenciada por las

estructuras de residuos agrícolas y la temperatura. Por ello, Yang, Liu y Lu, (2021) sondearon las características de los poros de biochars de cáscara de arroz procedentes a temperaturas de pirólisis de 250, 350, 450, 550 y 650 °C, así se halló que la temperatura de pirólisis de cerca de 450 °C era la condición recomendable para producir biochar. Por el contrario, en la investigación de Tsai et al., (2021) se observó que la adsorción de cadmio se vio mejorada en biochar a temperatura más elevada (900 °C).

De esta manera se demostró según los resultados de los artículos que durante la descomposición de la superficie se produce una mayor cantidad porosidad, ya que los poros grandes se destruyen durante el calentamiento adicional, lo que provoca la formación de más poros pequeños, y estos a la vez condicionan una eficaz adsorción física. Además, otras características del biocarbón que influyen según la temperatura del procedimiento de producción es el contenido de carbono, para ello Li et al., (2019) menciona que con pirólisis de 300 a 700°C se obtiene un rendimiento de 37,52 a 23,320%, donde al ampliar la temperatura de pirólisis, el contenido de carbono redujo sucesivamente en el biochar. Mientras que Zhang et al., (2020) observó un pequeño aumento en la alcalinidad de los biochars modificados (pH de 8,29 a 9.23) que puede explicarse por el aumento de grupos hidroxilo y carboxilo en el superficie de cada biochar.

**La eficiencia del biocarbón de la cáscara de arroz para la adsorción de metales pesados en suelos salinos** fue significativo la afectación por ciertas variables como la materia orgánica del suelo y la salinidad del suelo, pues generalmente los iones de cadmio se transforman en catión de cadmio ( $\text{Cd}^{2+}$ ) para ingresar a los tejidos vegetales, la forma iónica no está disponible tanto para la absorción en las raíces como para la desintegración por microorganismos en el ecosistema, convirtiéndose en contaminante con residencia en los suelos.

Además, se influyeron otros factores como la temperatura de pirólisis, la materia prima de biocarbón, el pH del suelo, las propiedades físicas y químicas de los iones metálicos y la dosis de adición de biocarbón. En este contexto, el mecanismo de adsorción del biocarbón, se produjo por el pH, abundantes grupos funcionales y estructura altamente aromática, favoreciendo al suelo y al secuestro de carbono para atenuar el cambio climático (Azeem et al., 2019).

De esta manera, el biochar presenta poros dentro de las partículas (intra poros) que suministran un espacio adicional para almacenar agua más allá del espacio poroso entre las partículas (inter poros) (Liu et al., 2017). Por otro lado, el pH en la adsorción depende de la contra reacción de la competencia de protones de hidrógeno además de la química absorbente de los sitios activos (Zhang et al., 2020).

Mientras que el uso de fertilizantes de amonio, especies fijadoras de nitrógeno y lluvia ácida puede reducir el pH del suelo, ocasionando un aumento en la movilidad de los metales y los riesgos ambientales relacionados, por lo que los minerales alcalinos en la superficie del biocarbón también se convierten en puntos calientes para la precipitación superficial de metales tóxicos (Da et al., 2020). Ante ello, es importante recalcar que el biocarbón alcalino puede provocar efectos de encalado en el suelo y provocar la inmovilización del metal, sin embargo, también puede causar fitotoxicidad por metales tóxicos, así Abdullah et al., (2021) también menciona que se baja fertilidad, baja capacidad de retención de agua, valores extremos de pH y mala estructura del suelo, impidiendo el establecimiento de plantas.

Similarmente, Khum-in et al., (2020) concuerda que es probable algunos impactos a largo plazo del biocarbón sobre los microbios / fauna del suelo, la textura del suelo, la fertilidad, la toxicidad y la mineralogía sean de mayor preocupación. Debido a que los metales tóxicos pueden liberarse de las partículas de biocarbón en el suelo e interactuar con los componentes del suelo, como los minerales (Suksabye et al., 2016). Mientras que, según Severo et al., (2020), la remediación del suelo favorece la unión moderadamente fuerte por la baja lixiviabilidad/biodisponibilidad de los metales tóxicos en el suelo y la estabilidad a largo plazo.

Por lo tanto, los contaminantes orgánicos iónicos/no iónicos y polares/no polares tienen diversas afinidades por el biocarbón en comparación con los metales aniónicos y catiónicos (Ultra, Nunez y Lee, 2016). De esta manera, la atracción electrostática de la superficie del biocarbón juega un papel muy significativo en la adsorción de contaminantes, inclusive adición de otras sustancias en el proceso de conversión térmica permite que se obtenga una electricidad superficial cargada

positivamente en el biocarbón para adsorber aniones. Pues generalmente, la electricidad de la superficie del biocarbón es negativa, lo que hace que el rendimiento de adsorción sea bueno para los iones positivos como los iones metálicos y el amoníaco, entre otros (Fazeli et al., 2020).

En este contexto, Sun et al., (2018) impulso un biochar magnético tratado con  $\text{KMnO}_4$  (FMBC) 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. Asu vez, Chen et al., (2019) altero biochars en una solución de glutaraldehído (2%, 25 ml) y luego se agitaron a 160 rpm en 4 ha temperatura ambiente. En seguida, se aumentaron cantidades de Cistamina a la solución anterior (0,25, 0,50, 0,75, 1,00, 1,25 g), posteriormente de lo cual las muestras se agitaron a 160 rpm por un tiempo 12 ha temperatura ambiente.

En resumen, la temperatura fue un factor importante que va a terminar tanto las características del biochar y la eficiencia de remoción de metales pesados, pues la temperatura del proceso de conversión térmica alta como la baja presentan efectos positivos como negativos. Asimismo, comprender la habilidad y distribución de los cambios de metal durante los procesos de envejecimiento es importante para la implementación de proyectos que involucran biocarbón en trabajos prácticos de remediación.

## V. CONCLUSIONES

1. La presente revisión sistemática sobre la utilización de biochar de la cáscara de arroz para la adsorción de metales pesados en suelos salinos demostró que es un tratamiento de remediación novedoso que permite aprovechar los residuos del arroz para desarrollar una agricultura sostenible que protegen el ambiente de la contaminación y mantienen la fertilidad y productividad de los suelos a largo plazo.
2. Se identificó que las metodologías de producción respecto a temperatura varían desde 200 a 1000 ° C con tiempo de producción en el rango de 10 minutos a 360 minutos, usando equipos como hornos muflas, microondas, barriles y reactores. Además, se demostró que el 72% de los artículos se desarrolló una pirólisis lenta.
3. Se demostró que las características del biocarbón fueron contenido de carbono en niveles de 21,8% a 72,5%, mientras que el área superficial es generalmente por debajo de 14,3 m<sup>2</sup>/g a 406 m<sup>2</sup>/g. Por otro lado, la porosidad se encuentra en un rango de 0,199 a 0,366, además los niveles de pH varían desde 5,5 a 12,6.
4. Finalmente, se concluyó que los procesos de aplicación del biochar en el suelo son estudiados por 16 autores de la muestra, de los cuales el 52% efectuó la remoción de cadmio en equipos como macetas, columnas y parcelas, donde algunos emplearon aditivos para aumentar el potencial de capacidad absorbente, logrando así un porcentaje de remoción que oscila de 20,0 a 95,4% para níquel y hierro respectivamente.

## VI. RECOMENDACIONES

1. Se sugiere ampliar las investigaciones respecto a la utilización del biochar de residuos de cáscara de arroz en campo para así poder evaluar, analizar y contrastar los efectos en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.
2. Se indica evaluar las metodologías de producción de biochar de cáscara de arroz en relación con su acción absorbente según la dosis y la textura de suelo con la finalidad de obtener resultados en laboratorio más representativos para luego ser aplicados en un sistema real de cultivos.
3. Llevar a cabo estudios de las características del biocarbón con respecto a su impacto después de su manejo como enmienda del suelo y determinar alternativas ambientalmente responsables para la disposición final del biochar de cáscara de arroz.
4. Promover el biochar de la cáscara de arroz para la adsorción de metales pesados en suelos salinos debido a que presenta elevada eficiencia y una mejor adsorción de estos en el suelo, por lo que es posible reducir la concentración de este contaminante en sistemas arrozales.

## REFERENCIAS

ABBAS, Qumber. Contrasting effects of operating conditions and biomass particle size on bulk characteristics and surface chemistry of rice husk derived-biochars. [en línea]. Septiembre 2018, vol.134. [Fecha de consulta: 5 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0165237017311130>

ABDULLAH, Qatarneh. Evaluating river driftwood as a feedstock for biochar production. [en línea]. Octubre 2021, vol.134. [Fecha de consulta: 5 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X21004426>

AMOAHA, Collins et al. Restoration of soil quality using biochar and brown coal waste: A review. [en línea]. Junio 2020. vol. 722, n°1. [Fecha de consulta: 23 de mayo de 2021]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32213438/>

BALDANTONI, Daniela et al. Cadmium accumulation in leaves of leafy vegetables. [en línea]. Mayo 2015, vol.123. [Fecha de consulta: 11 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0147651315002420>

BETANCOURT, Carmen, TARTABULL, Tania y LABAUT, Yeni. El manejo integrado del agua en la agricultura: necesidad de implementación y aspectos vinculados. [en línea]. Diciembre 2017, vol.5. [Fecha de consulta: 29 de setiembre de 2021]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/321951238\\_El\\_manejo\\_integrado\\_del\\_agua\\_en\\_la\\_agricultura\\_necesidad\\_de\\_implementacion\\_y\\_aspectos\\_vinculados\\_Integrated\\_management\\_of\\_water\\_in\\_agriculture\\_need\\_of\\_implementation\\_and\\_linked\\_aspects](https://www.researchgate.net/publication/321951238_El_manejo_integrado_del_agua_en_la_agricultura_necesidad_de_implementacion_y_aspectos_vinculados_Integrated_management_of_water_in_agriculture_need_of_implementation_and_linked_aspects)

BICALHO, Crístiellém. Biochar from different residues on soil properties and common bean production. [en línea]. Setiembre 2016, vol. 74, N° 5. [Fecha de consulta: 6 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.scielo.br/j/sa/a/GSFFRH8kN5NmxkmBZjtm5Gd/?lang=en>

CAMPOS, Paloma y DE LA ROSA, José María. Assessing the Effects of Biochar on the Immobilization of Trace Elements and Plant Development in a Naturally Contaminated Soil. [en línea]. Julio 2020, vol. 12. [Fecha de consulta: 15 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/15/6025>

CHÁVEZ, Álvaro y RODRÍGUEZ, Alejandra. Aprovechamiento de residuos orgánicos agrícolas y forestales en Iberoamérica. [en línea]. 2017, vol.9, n°. Fecha de consulta: 19 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/ravi/article/view/2004/1988>

Chen, Lu et al. Formulating and Optimizing a Novel Biochar-Based Fertilizer for Simultaneous Slow-Release of Nitrogen and Immobilization of Cadmium. [en línea]. Agosto 2018, vol. 10. [Fecha de consulta: 15 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2071-1050/10/8/2740>

CHEN, Sun et al. Enhanced adsorption for Pb (II) and Cd(II) of magnetic rice husk biochar by KMnO<sub>4</sub> modification. [en línea]. Febrero 2019, vol. 26. [Fecha de consulta: 15 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-019-04321-z>

CHOQUEJAHUA, Yesica. Evaluación de la remoción de arsénico en medio acuoso a través de la bioadsorción con biomásas de granos de cebada (*Hordeum vulgare* L.) y avena (*Avena sativa* L.) bajo condiciones altoandinas - Puno, 2018. Tesis (Ingeniería Ambiental). Puno: Universidad Peruana Unión, 2018. Disponible en: [https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UEPU\\_ea0f0e1953bf021fbeb3a66b168961/Details](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UEPU_ea0f0e1953bf021fbeb3a66b168961/Details)

CONCYTEC. Resolución de presidencia N°214. [en línea]. Noviembre 2018. [Fecha de consulta: 26 de mayo de 2021]. Disponible en: <http://resoluciones.concytec.gob.pe/subidos/sintesis/RP-214-2018-CONCYTEC-P.pdf>

DA, Lv et al. The effects of low-dose biochar amendments on arsenic accumulation in rice (*Oryza sativa* L.). [en línea]. Noviembre 2020, vol. 28. [Fecha de consulta: 19 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-020-11572-8>

DENG, Yiyi et al. Competitive adsorption behaviour and mechanisms of cadmium, nickel and ammonium from aqueous solution by fresh and ageing rice straw biochars. [en línea]. Mayo 2020, vol. 303. [Fecha de consulta: 19 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S096085242030122X>

ESCALANTE, Ariadna et al. Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. [en línea]. Junio 2016, vol. 34, n°3. [Fecha de consulta: 25 de mayo de 2021]. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v34n3/2395-8030-tl-34-03-00367.pdf>

ESPINOZA Freire. La búsqueda de información científica en las bases de datos académicas. [en línea]. Enero 2020, vol. 3, n°1. [Fecha de consulta: 25 de mayo de 2021]. Disponible en: <http://remca.umet.edu.ec/index.php/REMCA/article/view/219/268>

FAO. Situación Alimentaria Mundial. 4 de febrero del 2021. Disponible en: <http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/es/>

FAZELI, Mahmood, ABRISHAMKESH, Sepideh y OWENS, Gary. Physicochemical characteristics of biochars can be beneficially manipulated using post-pyrolyzed particle size modification. *Bioresource Technology*. [en línea]. Marzo 2020, vol. 306. [Fecha de consulta: 21 de setiembre de 2021]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/339741756\\_Physicochemical\\_characteristics\\_of\\_biochars\\_can\\_be\\_beneficially\\_manipulated\\_using\\_post-pyrolyzed\\_particle\\_size\\_modification](https://www.researchgate.net/publication/339741756_Physicochemical_characteristics_of_biochars_can_be_beneficially_manipulated_using_post-pyrolyzed_particle_size_modification)

GABRIEL, Julio. Cómo se genera una investigación científica que luego sea motivo de publicación. [en línea]. Julio 2017, vol.8, n°2. [Fecha de consulta: 16 de setiembre de 2021]. Disponible en:

[http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2072-92942017000200008](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2072-92942017000200008)

GOMÉZ, Luz et al. Siembra directa: una alternativa para mejorar la sustentabilidad del cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) en el Perú. [en línea]. Junio 2017, vol.6. [Fecha de consulta: 05 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://www.camjol.info/index.php/PAyDS/article/view/5716>

GONZÁLES, Yoel, RUIZ, Michel y MUÑOZ, Yaumara. Suspensión de la lámina de agua en el arroz (*Oryza sativa* L.) por trasplante. [en línea]. Enero-marzo 2016. vol. 18, n°1. [Fecha de consulta: 26 de mayo de 2021]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5381450>

GOODMAN, Bernard. Utilización de desperdicio Paja y cáscaras de arroz producción: A revisión. [en línea]. Julio 2020, vol. 5, n°3. [Fecha de consulta: 24 de mayo de 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2369969820300931?via%3Dihub>

GUERRA, Patricia. Producción y caracterización de Biochar a partir de la biomasa residual de sistemas agroforestales y de agricultura convencional en la Amazonía Peruana. Tesis (Ingeniería Ambiental). Lima: Universidad Agraria la Molina, facultad de Ciencias. 2015. Disponible en: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/1895>

GUJRE, Nihal et al. Sustainable improvement of soil health utilizing biochar and arbuscular mycorrhizal fungi: A review. [en línea]. Enero 2021. vol. 1, n°1. [Fecha de consulta: 24 de mayo de 2021]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33246313/>

Hamid, Yasir et al. Immobilization of cadmium and lead in contaminated paddy field using inorganic and organic additives. [en línea]. Diciembre 2018, vol. 8, N° 1. [Fecha de consulta: 21 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30546027/>

HERRERA, José, GUEVARA, Geycell, MUNSTER, Harold. Strategies and designing for quality studies a methodological-theoretical approach. [en línea]. Mayo-agosto 2015. vol. 17, n°2. [Fecha de consulta: 27 de mayo de 2021]. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1608-89212015000200013](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1608-89212015000200013)

HUANG, Fei. Qualitative and quantitative characterization of adsorption mechanisms for Cd<sup>2+</sup> by silicon-rich biochar. [en línea]. Agosto 2020, vol. 26. [Fecha de consulta: 21 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969720326802>

IGLESIAS, Sergio et al. Corn yield (*Zea mays* L.) improves with the use of eucalyptus biochar. [en línea]. Enero-marzo 2018. vol. 9, n°1. [Fecha de consulta: 22 de mayo de 2021]. Disponible en: [http://dev.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2077-99172018000100003](http://dev.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-99172018000100003)

KAMEYAMA, Koji, MIYAMOTO, Teruhito y IWATA, Yuki-yoshi. The Preliminary Study of Water-Retention Related Properties of Biochar Produced from Various Feedstock at Different Pyrolysis Temperatures. [en línea]. Mayo 2019, vol. 12, N° 11. [Fecha de consulta: 19 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1996-1944/12/11/1732>

KHALIL, Hanan et al. An Evidence-Based Approach to Scoping Reviews. [en línea]. Diciembre 2019. vol. 13, n°2. [Fecha de consulta: 29 de mayo de 2021]. Disponible en: <https://sigmapubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/wvn.12144>

LI, Shanshan et al. Use of soil amendments to reduce cadmium accumulation in rice by changing Cd distribution in soil aggregates. [en línea]. Mayo 2019, vol. 26. [Fecha de consulta: 19 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-019-05431-4>

LINAM, Franklin et al. Efectos contrastantes de la temperatura de pirólisis de la cáscara de arroz sobre la disolución del silicio y la retención de cadmio (Cd) y ácido dimetilarsínico (DMA). [en línea]. Abril 2021. vol. 765, n°1. [Fecha de consulta: 27 de mayo de 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969720379596>

LIU, Yuxue. Impacto de la enmienda de biocarbón en suelos agrícolas sobre la sorción, desorción y degradación de plaguicidas: una revisión. [en línea]. Diciembre 2018. vol. 645, n°1. [Fecha de consulta: 27 de mayo de 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969718325841>

LIZHI, He et al. Remediación de suelos contaminados con metales pesados mediante biocarbón: mecanismos, riesgos potenciales y aplicaciones en China. [en línea]. Septiembre 2019. vol. 252, N° 1. [Fecha de consulta: 27 de mayo de 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749119308437>

LONG, Meng et al. Decreasing cadmium uptake of rice (*Oryza sativa* L.) in the cadmium-contaminated paddy field through different cultivars coupling with appropriate soil amendments. [en línea]. Noviembre 2018, vol. 19. [Fecha de consulta: 19 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11368-018-2186-x>

LU, H.p et al. Use of magnetic biochars for the immobilization of heavy metals in a multi-contaminated soil. [en línea]. Mayo 2018, vol. 622-623. [Fecha de consulta: 19 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969717334757>

MANOLIKAKI, Loanna y DIAMADOPOULOS, Evan. Ryegrass yield and nutrient status after biochar application in two Mediterranean soils. [en línea]. Diciembre 2016, vol. 63, N° 8. [Fecha de consulta: 19 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/03650340.2016.1267341>

MINGMING, Wang *at al.*, Review on utilization of biochar for metal-contaminated soil and sediment remediation. [en línea]. Junio 2018. vol. 63, N°1. [Fecha de consulta: 16 de mayo de 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1001074217300864>

MOHAMMAD, Ghorbani, HOSSEIN, Asadi y SEPIDEH, Abrishamkesh. Effects of rice husk biochar on selected soil properties and nitrate leaching in loamy sand and clay soil. [en línea]. Setiembre 2019, vol. 7, N° 3. [Fecha de consulta: 21 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095633918302442#:~:text=Results%20from%20this%20study%20showed,retention%20in%20the%20clay%20soil>

NAGAJYOTI, P.C., LEE, K.D. y SREEKANTH, T.V.M. Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review. Environ Chem Lett. [en línea]. Julio 2010, vol.8, n°1. [Fecha de consulta: 10 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10311-010-0297-8>

NHA, Quan et al. Revisiones sistemáticas mixtas. Un ejemplo sobre la financiación basada en los resultados. [en línea]. 2020. [Fecha de consulta: 15 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://scienceetbiencommun.pressbooks.pub/evalsalud/chapter/revuesmixtes/>

NWAJIAKU, Monica et al. Change in nutrient composition of biochar from rice husk and sugarcane bagasse at varying pyrolytic temperatures. [en línea]. Agosto 2018, vol. 7. [Fecha de consulta: 18 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40093-018-0213-y>

ORANRATMANEE, Marisa y TUNGITTIPLAKORN, Warapong. Application of Biochar for Cadmium Stabilization in Contaminated Paddy Soil. [en línea]. setiembre 2021, vol. 302. [Fecha de consulta: 18 de setiembre de 2021]. Disponible en: [https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2021/78/e3sconf\\_ri2c2021\\_02021/e3sconf\\_ri2c2021\\_02021.html](https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2021/78/e3sconf_ri2c2021_02021/e3sconf_ri2c2021_02021.html)

OSAFO, Joseph et al. Phosphorus Fractionation and Sorption Characteristics of Biochar Amended Soils of Ghana. [en línea]. 2027. [Fecha de consulta: 14 de setiembre de 2021]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/322807942\\_Phosphorus\\_Fractionation\\_and\\_Sorption\\_Characteristics\\_of\\_Biochar\\_Amended\\_Soils\\_of\\_Ghana](https://www.researchgate.net/publication/322807942_Phosphorus_Fractionation_and_Sorption_Characteristics_of_Biochar_Amended_Soils_of_Ghana)

PRAVEENA SM, Omar NA. Heavy metal exposure from cooked rice grain ingestion and its potential health risks to humans from total and bioavailable forms analysis. [en línea]. Noviembre 2017. vol.15, n°1. [Fecha de consulta: 26 de mayo de 2021]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28554627/>

QUINTANA, A. y MONTGOMERY, W. (Eds.) 2006. Psicología: Tópicos de actualidad. Lima: UNMSM. Disponible en: <http://www.ubiobio.cl/miweb/webfile/media/267/3634305-Metodologia-de-Investigacion-Cualitativa-A-Quintana.pdf>

REHMAN, Muhammad et al. Effect of acidified biochar on bioaccumulation of cadmium (Cd) and rice growth in contaminated soil. [en línea]. Junio 2020, vol. 19. [Fecha de consulta: 17 de setiembre de 2021]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/342304711\\_Effect\\_of\\_acidified\\_biochar\\_on\\_bioaccumulation\\_of\\_cadmium\\_Cd\\_and\\_rice\\_growth\\_in\\_contaminated\\_soil](https://www.researchgate.net/publication/342304711_Effect_of_acidified_biochar_on_bioaccumulation_of_cadmium_Cd_and_rice_growth_in_contaminated_soil)

RODRÍGUEZ, N., MCLAUGHLIN, M. y PENNOCK, D. La contaminación del suelo: una realidad oculta. [en línea]. Roma: Leadell Pennock. 2019. [fecha de consulta: 18 de mayo de 2021]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/i9183ES/i9183es.pdf>

SÁNCHEZ, Esnaider y ZURITA, Brenda. Interacción del biocarbón como inhibidor de plomo en los suelos agrícolas: Revisión. Trabajo de investigación (Bachiller en Ingeniería Ambiental). Lima: Universidad Peruana Unión, 2015. Disponible en: <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/3739>

SÁNCHEZ, Hugo, REYES, Carlos y Katia MEJÍA. Manual de términos en investigación científica, tecnológica y humanística. [en línea]. 1ra ed. Lima, Perú Universidad Ricardo Palma. [Fecha de consulta: 10 de setiembre de 2021]. Disponible en: <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/1480?show=full>

SCIENCE et bien. Revisiones sistemáticas mixtas. [en línea]. [Fecha de consulta: 12 de junio de 2021]. Disponible en: <https://scienceetbiencommun.pressbooks.pub/evalsalud/chapter/revuesmixtes/>

SEVERO, Fabiane et al. Chemical and physical characterization of rice husk biochar and ashes and their iron adsorption capacity. [en línea]. Junio 2020, vol. 2, n°1286. [Fecha de consulta: 17 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42452-020-3088-2>

SHEN, Zhengtao et al. Characteristics and mechanisms of nickel adsorption on biochars produced from wheat straw pellets and rice husk. [en línea]. Marzo 2017, vol. 24. [Fecha de consulta: 15 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-017-8847-2>

SINGH, Chhatarpal et al. The effect of rice husk biochar on soil nutrient status, microbial biomass and paddy productivity of nutrient poor agriculture soils. [en línea]. Julio 2018, vol. 32, N° 10. [Fecha de consulta: 15 de setiembre de 2021]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/326827031\\_The\\_effect\\_of\\_rice\\_husk\\_biochar\\_on\\_soil\\_nutrient\\_status\\_microbial\\_biomass\\_and\\_paddy\\_productivity\\_of\\_nutrient\\_poor\\_agriculture\\_soils](https://www.researchgate.net/publication/326827031_The_effect_of_rice_husk_biochar_on_soil_nutrient_status_microbial_biomass_and_paddy_productivity_of_nutrient_poor_agriculture_soils)

SOBRIDO, María y RUMBO, José. La revisión sistemática: pluralidad de enfoques y metodologías. [en línea]. Octubre 2018, vol.28, n°6. [Fecha de consulta: 6 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://medes.com/publication/140338>

SOBRINO, María, RUMBO, José. The systematic review: Plurality of approaches and methodologies. [en línea]. Noviembre-diciembre 2018. vol. 28, n°6. [Fecha de consulta: 23 de mayo de 2012]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1130862118302201>

SUDIRJO, Emilius et al. Performance and Long-Distance Data Acquisition via LoRa Technology of a Tubular Plant Microbial Fuel Cell Located in a Paddy Field in West Kalimantan, Indonesia. [en línea]. 2019, vol. 19. [Fecha de consulta: 25 de octubre de 2021]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/336810143\\_Performance\\_and\\_Long\\_Distance\\_Data\\_Acquisition\\_via\\_LoRa\\_Technology\\_of\\_a\\_Tubular\\_Plant\\_Microbial\\_Fuel\\_Cell\\_Located\\_in\\_a\\_Paddy\\_Field\\_in\\_West\\_Kalimantan\\_Indonesia](https://www.researchgate.net/publication/336810143_Performance_and_Long_Distance_Data_Acquisition_via_LoRa_Technology_of_a_Tubular_Plant_Microbial_Fuel_Cell_Located_in_a_Paddy_Field_in_West_Kalimantan_Indonesia)

SUDIRJO, Emilius, BUISMAN, Cees y STRIK, David. Activated Carbon Mixed with Marine Sediment is Suitable as Bioanode Material for *Spartina anglica* Sediment/Plant Microbial Fuel Cell: Plant Growth, Electricity Generation, and Spatial Microbial Community Diversity. [en línea]. Agosto 2019, vol.11. [Fecha de consulta: 01 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2073-4441/11/9/1810>

SUKSABYE, Parinda et al. Effect of biochars and microorganisms on cadmium accumulation in rice grains grown in Cd-contaminated soil. [en línea]. Enero 2016, vol. 23, N° 2. [Fecha de consulta: 15 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25943511/>

TANG, X. et al. Review of remediation practices regarding cadmium-enriched farmland soil with particular reference to China. [en línea]. Octubre 2016. vol. 181, n°1. [Fecha de consulta: 23 de mayo de 2021]. Disponible en: [https://doi.org/https://www.researchgate.net/publication/336810143\\_Performance\\_and\\_Long\\_Distance\\_Data\\_Acquisition\\_via\\_LoRa\\_Technology\\_of\\_a\\_Tubular\\_Plant\\_Microbial\\_Fuel\\_Cell\\_Located\\_in\\_a\\_Paddy\\_Field\\_in\\_West\\_Kalimantan\\_Indonesia/10.1016/j.jenvman.2016.08.043](https://doi.org/https://www.researchgate.net/publication/336810143_Performance_and_Long_Distance_Data_Acquisition_via_LoRa_Technology_of_a_Tubular_Plant_Microbial_Fuel_Cell_Located_in_a_Paddy_Field_in_West_Kalimantan_Indonesia/10.1016/j.jenvman.2016.08.043)

TARTABULL, Tania y LABAUT, Yeny. El manejo integrado del agua en la agricultura: necesidad de implementación y aspectos vinculados. [en línea]. Julio-Diciembre 2017, vol. 5, n°2. [Fecha de consulta: 25 de mayo de 2021]. Disponible en: <https://aes.ucf.edu/cu/index.php/aes/article/view/119/156>

TSAI, Wen-Tien, LIN, Yu-Quan y HUANG, Hung-Ju. Valorization of Rice Husk for the Production of Porous Biochar Materials. [en línea]. Abril 2021, vol. 7, N° 2. [Fecha de consulta: 15 de setiembre de 2021]. Disponible en:

<https://www.mdpi.com/2311-5637/7/2/70>

ULTRA, Venecio, NUÑEZ, John Paolo, LEE, Sang Chul. 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. [en línea]. Diciembre 2016, vol. 28, N° 12. [Fecha de consulta: 15 de setiembre de 2021].

Disponible en:

[https://www.researchgate.net/publication/312058087\\_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\\_2812\\_872-881](https://www.researchgate.net/publication/312058087_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_2812_872-881)

VELÁZQUEZ, Jazmín et al. Concentración nutrimental de biocarbón de cascarilla de arroz. [en línea]. Agosto 2019, vol. 42, N° 2. [Fecha de consulta: 15 de setiembre de 2021]. Disponible en:

[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-73802019000200129](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802019000200129)

VINITA, Khum et al. 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. [en línea]. Setiembre 2020, vol. 141. [Fecha de consulta: 19 de setiembre de 2021].

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957582020300240>

VIORATO, Nancy y REYES, Vianey. La ética en la investigación cualitativa. [en línea]. 2019. vol. 8, n°16. [Fecha de consulta: 26 de mayo de 2021]. Disponible en:

<http://revistas.unam.mx/index.php/cuidarte/article/view/70389>

WANG, Liuwei et al. Green immobilization of toxic metals using alkaline enhanced rice husk biochar: Effects of pyrolysis temperature and KOH concentration. [en línea]. Junio 2020, vol. 720. [Fecha de consulta: 15 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969720310950#:~:text=A%20green%20amendment%20for%20soil,impurities%20and%20improve%20pore%20structures>.

WANG, Shuai et al. Characterization and Interpretation of Cd (II) Adsorption by Different Modified Rice Straws under Contrasting Conditions. [en línea]. Noviembre 2019, vol. 9. [Fecha de consulta: 15 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.proquest.com/docview/2319482152/80A0D6D655F54496PQ/20?accountid=37408>

WANG, Yan et al. Simultaneous adsorption and immobilization of As and Cd by birnessite-loaded biochar in water and soil. [en línea]. Marzo 2019, vol. 26, N° 9. [Fecha de consulta: 21 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30706275/>

XIAOLI, Guo et al. Adsorption Mechanisms and Characteristics of Hg<sup>2+</sup> Removal by Different Fractions of Biochar. [en línea]. 2020, vol. 12, N° 8. [Fecha de consulta: 15 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.proquest.com/docview/2427976077/80A0D6D655F54496PQ/2?accountid=37408>

YANG, Caidi, LIU, Jingjing y LU, Shenggao. Pyrolysis temperature affects pore characteristics of rice straw and canola stalk biochars and biochar-amended soils. [en línea]. Setiembre 2021, vol. 397. [Fecha de consulta: 23 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016706121001774>

YUANJUN, Xu et al. Opal promotes hydrothermal carbonization of hydroxypropyl methyl cellulose and formation of carbon nanospheres. [en línea]. Mayo 2018, vol.8. [Fecha de consulta: 16 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2018/ra/c8ra01138a>

YUEHUI, Jia et al. Study of the Effect of Pyrolysis Temperature on the Cd<sup>2+</sup> Adsorption Characteristics of Biochar. [en línea]. Junio 2018, vol. 8, N° 7. [Fecha de consulta: 21 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2076-3417/8/7/1019>

YULNAFATMAWITA, Y, YASIN, S y MAIRA, L. Effectiveness of rice husk biochar in controlling heavy metals at polluted paddy soil. [en línea]. Octubre 2020, vol. 583, N° 1. [Fecha de consulta: 23 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.proquest.com/docview/2556400386/80A0D6D655F54496PQ/3?accountid=37408>

ZHANG, Han et al. Effect of Phosphorus-Modified Biochars on Immobilization of Cu (II), Cd (II), and As (V) in Paddy Soil. [en línea]. Setiembre 2019, vol. 390. [Fecha de consulta: 23 de setiembre de 2021]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/336139032\\_Effect\\_of\\_Phosphorus-Modified\\_Biochars\\_on\\_Immobilization\\_of\\_Cu\\_II\\_Cd\\_II\\_and\\_As\\_V\\_in\\_Paddy\\_Soil](https://www.researchgate.net/publication/336139032_Effect_of_Phosphorus-Modified_Biochars_on_Immobilization_of_Cu_II_Cd_II_and_As_V_in_Paddy_Soil)

ZHANG, Jing-Yi et al. 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.). [en línea]. Mayo 2020, vol. 260. [Fecha de consulta: 23 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749119345221>

ZHANG, Junhua et al. Biochar alleviated the salt stress of induced saline paddy soil and improved the biochemical characteristics of rice seedlings differing in salt tolerance. [en línea]. Diciembre 2019. vol. 195, n°1. [Fecha de consulta: 19 de mayo de 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198719304805>

ZHAO, Jing et al. Comparison of biochars derived from different types of feedstocks and their potential for heavy metal removal in multiple-metal solutions. [en línea]. Julio 2019, vol. 9. [Fecha de consulta: 23 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/s41598-019-46234-4>

ZHENG, Xuebo et al. Biochar of distillers' grains anaerobic digestion residue: Influence of pyrolysis conditions on its characteristics and ammonium adsorptive optimization. [en línea]. Noviembre 2019. vol. 38, n°1. [Fecha de consulta: 24 de mayo de 2021]. Disponible en: <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/0734242X19893021>

## ANEXOS

### Anexo 1: Matriz de operacionalización de variables

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Escala	Dimensión	Indicadores	
<b>Variable independiente</b> <b>Utilización de biocarbón de la cáscara de Oryza sativa (arroz)</b>	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 mientras que la composición química va a depender directamente de la cantidad de heteroátomos y del contenido de oxígeno (Obregón, 2012).	La utilidad de los resultados de la revisión sirve de referencia para comenzar investigaciones en el Perú con respecto a la posible aplicación del biocarbón de cascarilla de arroz.	Razón	Método de pirolisis	Pirolisis lenta	
			Razón		Pirolisis rápida	
			Razón		Pirolisis flash	
			Razón	Características Químicas de biocarbón	pH	
			Razón		Conductividad eléctrica	
			Razón		Contenido de Sílice	
			Razón		Características Físicas de biocarbón	Porosidad
			Razón		Tamaño	
<b>Variable dependiente</b> <b>Adsorción de metales pesados en suelos salinos</b>	El mecanismo de adsorción de metales pesados por del biochar, se produce gracias a la relación de las características del biocarbón con las propiedades físicas del suelo, el tamaño, la forma y la estructura interna de las partículas (Escalante, 2016).	La adsorción de los metales a través del biocarbón se sintetiza en la investigación con la finalidad de conocer el porcentaje de rendimiento de la producción de carbón, así como el porcentaje y tiempo de remoción.	Razón	Producción de biocarbón	Porcentaje de rendimiento	
			Razón	Proceso de remoción de metales pesados	Porcentaje de remoción	
			Razón	Tiempo de remoción		

Fuente: Elaboración propia.

**Anexo 2:** Instrumento de recolección de datos.

Referencia					
Título de la investigación		Autor (es)		Revista	
Año	Volumen	Número	Paginas	DOI / LINK	
Datos relevantes de la investigación					
Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	
Conclusiones			Recomendaciones		
Datos relevantes sobre el biocarbón					
Método de pirolisis	Características químicas			Características físicas	
	pH	Conductividad eléctrica	Contenido de Sílice	Porosidad	Tamaño
Datos relevantes sobre remoción de metales pesados					
Porcentaje de rendimiento del biocarbón		Porcentaje de remoción		Tiempo de remoción	

Fuente: Elaboración propia.