



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Revisión sistemática: Biochar como tratamiento  
Eco-Amigable de cultivos dañados por herbicidas**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO AMBIENTAL

**AUTORES:**

Sandoval Espinoza, Walter (0000-0003-3954-899X)

Torres Salazar, Deysi Irma (0000-0003-3611-1012)

**ASESOR:**

Mg. Honores Balcazar, Cesar Francisco (0000-0003-3202-1327)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

Tratamiento y Gestión de los Residuos

LIMA - PERÚ

2021

## **DEDICATORIA**

A Dios:

Por darme el regalo más grande que es la vida, por su apoyo en mis momentos más difíciles de mi vida.

A nuestros Padres:

Por ofrecernos, su apoyo desinteresado en cada momento de nuestra vida para lograr el éxito profesional. Por enseñarme el camino y prepararme para la vida, para ser un ejemplo de ellos.

A mis hermanos por soportar mi carácter, y por ser un modelo a seguir para ellos como profesional en la vida universitaria.

## **AGRADECIMIENTO**

A la Universidad Cesar Vallejo, forjadora del cambio y el progreso del pueblo Peruano; quien me cobijó en sus aulas para hacerme útil a la sociedad.

A la Facultad de Ingenierías y Arquitecturas, por sus orientaciones, conocimientos y enseñanzas impartidas.

A nuestra asesor, Dr. Sernaqué Auccahuasi, Fernando Antonio por su apoyo incondicional, atención y dedicación, durante el desarrollo de la tesis.

A todas aquellas personas que de una u otra manera contribuyeron en la culminación del trabajo de investigación.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CARATULA.....	i
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS.....	v
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	v
RESUMEN .....	vi
ABSTRAC .....	vii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MARCO TEÓRICO .....	4
III. METODOLOGÍA .....	12
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	12
3.2. Categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística .....	12
3.3. Escenario de estudio.....	13
3.4. Participantes .....	13
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	14
3.6. Procedimiento .....	14
3.7. Rigor científico .....	15
3.8. Método de análisis de información.....	16
3.9. Aspectos éticos.....	17
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	18
V. CONCLUSIONES.....	25
VI. RECOMENDACIONES.....	26
REFERENCIAS.....	27
ANEXOS .....	37

## **ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla N° 1: Clase química y nombre de algunos herbicidas comunes

Tabla N° 2: Mecanismos de toxicidad en los órganos por acción de herbicidas

Tabla N° 3: Biochar aplicado a suelos contaminados con herbicidas

Tabla N° 4. Matriz de categorización apriorística

Tabla N° 5: Procedimiento de selección

Tabla N° 6: Criterios para obtener el rigor científico

Tabla N° 7: Promedio de remoción del biochar

Tabla N° 8: Materia prima más empleada para elaborar biochar

Tabla N° 9: Parámetros influyentes en la optimización del biochar

## **ÍNDICE DE ABREVIATURAS**

GBH: Herbicidas a base de glifosato

TCDD: Tetraclorodibenzo p-dioxina

## RESUMEN

El presente estudio tiene como objetivo general: Determinar de qué manera el biochar mejora los cultivos dañados por herbicidas y como objetivos específicos: Determinar el promedio de remoción del biochar para el tratamiento eco-amigable de cultivos dañados por herbicidas, Identificar las materias primas más empleadas para la elaboración de biochar como tratamiento eco-amigable de cultivos dañados por herbicidas y, por último definir los parámetros influyentes en la optimización del biochar para el tratamiento eco-amigable de cultivos dañados por herbicidas. Al ser una revisión sistemática el tipo de investigación es de tipo cualitativa narrativa de tópico, desarrollándose con la participación de diversas literaturas a nivel nacional e internacional de bases de datos de portales web como scielo, sciencedirect, proquest y scopus, mediante la técnica de análisis documental y la matriz apriorística, de acuerdo a la comparación de 20 artículos científicos se tiene que el promedio de remoción del biochar para el tratamiento eco-amigable de cultivos dañados por herbicidas se encuentra en rangos del 70 al 80% empleando materias primas de las especies de residuos agrícolas y forestales. De lo cual el 80% emplea residuos agrícolas y el 20% residuos forestales; debido a que, el biochar son derivados de desechos añadidos a las tierras de cultivo aportan cantidades considerables de nutrientes totales y disponibles; indicando que es beneficiosa para el sistema de agricultura sostenible mediante el ciclo de nutrientes en las tierras de cultivo. Así también los parámetros influyentes en la optimización del biochar para el tratamiento eco-amigable de cultivos dañados por herbicidas son el pH, Temperatura de pirolisis y tamaño de partícula; siendo el pH ácido el rango en el que los investigadores lograron el equilibrio en la adsorción del biochar, el 85% de los investigadores emplearon una T° de pirolisis que varía entre 500 a 600°C y el 55% de los investigadores que emplean un tamaño de partícula del biochar menores a 1mm.

**Palabras clave:** Biochar, pirolisis, tamaño de partícula, pH, herbicidas.

## ABSTRAC

The general objective of this study is to determine how biochar improves crops damaged by herbicides and the specific objectives are to determine the average removal rate of biochar for the eco-friendly treatment of crops damaged by herbicides, to identify the raw materials most commonly used for the production of biochar as an eco-friendly treatment for crops damaged by herbicides and, finally, to define the influential parameters in the optimisation of biochar for the eco-friendly treatment of crops damaged by herbicides. Being a systematic review, the type of research is qualitative and topical narrative, developed with the participation of various national and international literatures from databases of web portals such as Scielo, Sciencedirect, researchgate and Scopus, using the technique of documentary analysis and the aprioristic matrix, According to the comparison of 20 scientific articles, the average biochar removal rate for the eco-friendly treatment of crops damaged by herbicides is in the range of 70-80% using raw materials from agricultural and forestry waste species. Of which 80% employs agricultural residues and 20% forestry residues; because, biochar derived from these wastes added to cropland provides considerable amounts of total and available nutrients; indicating that it is beneficial to the sustainable agriculture system through nutrient cycling in cropland. Also the influential parameters in the optimisation of biochar for the eco-friendly treatment of herbicide damaged crops are pH, pyrolysis temperature and particle size; with acidic pH being the range in which the researchers achieved equilibrium in the adsorption of biochar, 85% of the researchers employed a pyrolysis t° ranging from 500 to 600°C and 55% of the researchers employing a biochar particle size of less than 1mm.

**Key words:** Biochar, pyrolysis, particle size, pH, herbicides.

## I. INTRODUCCIÓN

La aplicación de herbicidas para el control de las malas hierbas se ha convertido en una acción casi estándar en la agricultura convencional de diversas partes del mundo y depender en gran medida de los herbicidas, se considera la causa principal de tres grandes problemas: la disminución de la diversidad vegetal en los agroecosistemas, la contaminación del agua y suelo (Strehlow et al., 2020, p.2).

El uso de herbicidas para el manejo de malezas tanto en áreas de labranza cero como en áreas no cultivadas ha sido muy eficaz en los países desarrollados, siendo consecuencia del uso extensivo e intensivo de herbicidas la evolución y/o propagación de malezas resistentes a herbicidas en muchos sistemas de producción de cultivos (Nakka et al., 2019, p.3). Pero los herbicidas constituyen uno de los principales problemas del medio ambiente debido a su capacidad para entrar en las vías metabólicas de las plantas y los microorganismos (Lozowicka et al., 2021, p.1).

Apuntando al problema de que la cantidad de entrada de herbicidas químicos aumenta continuamente, esta puede resultar en una contaminación química orgánica severa, y la influencia negativa en el crecimiento de los cultivos también está aumentando (Guan et al., 2020, p.1).

En muchas zonas donde los agricultores han intensificado su producción el uso excesivo de plaguicidas se ha convertido en un problema grave, siendo el caso de países de Latinoamérica, como Colombia, México, Perú, Bolivia, entre otros (Rivera et al., 2020, p.1). Afecta a las plántulas por el movimiento de este producto en el suelo y su contacto con las raíces; inclusive se refiere la mortalidad de plántulas como el frijol, sirve como control preemergente de malezas antes de la siembra del cultivo (Johal G. y Huber D., 2009, p.1).

En toda Europa, los pesticidas y los nitratos se han identificado entre los principales problemas de contaminantes químicos para el suministro de agua potable, y estos problemas se atribuyen principalmente a la agricultura (Glavan et al., 2019, p.1). En la Unión Europea (UE), por ejemplo, las tierras agrícolas

representan casi el 50% de la superficie terrestre a las que se aplican de forma rutinaria pesticidas y fertilizantes químicos (Stoate et al., 2009, p.1)

Debido a ello, se busca implementar métodos eco-amigables con el medio ambiente, siendo el biochar un material sólido rico en carbono producido por descomposición térmica de biomasa sin oxígeno (pirólisis) y se utiliza para tratar suelos contaminados con diversos contaminantes orgánicos, lo que tiene beneficios de sostenibilidad sobre las tecnologías de remediación tradicionales, incluida la reutilización de residuos, la ecologización del sitio, el almacenamiento de carbono y una menor huella del ciclo de vida (Shen et al., 2019, p.1).

El biochar es un adsorbente renovable y de bajo costo elaborado con biomateriales fácilmente disponibles y manipulable, haciéndolo apropiado para comunidades de bajos ingresos; los métodos existentes eliminan predominantemente los patógenos, y de igual forma eliminan los contaminantes químicos, biológicos y físicos (Gwenzi et al., 2017, p.1).

Debido a ellos, la presente investigación plantea como problema general: ¿Cómo el biochar mejora los cultivos dañados por herbicidas? y como problemas específicos: ¿Cuáles son los promedios de remoción del biochar para el tratamiento eco-amigable de cultivos dañados por herbicidas?, ¿Cuáles son las materias primas más empleadas para la elaboración de biochar como tratamiento eco-amigable de cultivos dañados por herbicidas? y ¿Cuáles son los parámetros influyentes en la optimización del biochar para el tratamiento eco-amigable de cultivos dañados por herbicidas?

Dando ello lugar al planteamiento del objetivo general: Determinar de qué manera el biochar mejora los cultivos dañados por herbicidas, y los objetivos específicos: Determinar el promedio de remoción del biochar para el tratamiento eco-amigable de cultivos dañados por herbicidas, identificar las materias primas más empleadas para la elaboración de biochar como tratamiento eco-amigable de cultivos dañados por herbicidas y, por último definir los parámetros influyentes en la optimización del biochar para el tratamiento eco-amigable de cultivos dañados por herbicidas.

El presente trabajo de investigación busca llenar el vacío que existe en relación a la falta de información acerca del diseño sobre el tratamiento de biochar en los recursos como el agua, suelo, flora y fauna que se contaminan por los herbicidas, dañando los cultivos así como a la salud pública y generando riesgos ambientales. Limitado la tecnología del biochar, por la falta de información; por tal motivo la presente investigación busca llenar el poco conocimiento que se tiene respecto al tema y/o ampliarlo, mediante la búsqueda y el análisis de diversos estudios a nivel mundial, con fuentes actualizadas, sirviendo así como respaldo para futuros investigadores.

## II. MARCO TEÓRICO

El uso cada vez mayor de herbicidas químicos para el control de malezas se ha convertido en una característica dominante de la agricultura industrial moderna y en un importante problema ambiental y de salud en los sistemas agrícolas de todo el mundo (Clapp J., 2021, p.1).

Las prácticas agrícolas convencionales a menudo incluyen el uso de estos herbicidas a base de glifosato (GBH), y el uso de cultivos modificados genéticamente resistentes se basa en gran medida a la aplicación de glifosato, lo que aumenta la probabilidad de que sus residuos terminen en la alimentación animal (Muola et al., 2021, p.1). Los herbicidas son productos químicos que se utilizan para matar o dañar plantas no deseadas o partes de ellas y el término deriva de las palabras latinas *hierbas* y *cardo*, que significa asesino de plantas (Vasilescu M. y Medvedovici A., 2005, p.243). Y uno de los principales problemas con los plaguicidas está relacionado con la proporción no despreciable del ingrediente activo rociado que no alcanza su objetivo previsto y contamina los compartimentos ambientales (Carles et al., 2021, p.1).

Al probarse muchos productos químicos como herbicidas se encontraron entre estos al ácido sulfúrico, el clorato de sodio, el borato y el arsenito, trióxido de arsénico y dinitro-ortocresol (Manno M., 1996, p.552). Entre los herbicidas más empleados a nivel mundial en las prácticas agrícolas se encuentran los glifosato (GBH), que se lanzaron como una solución segura para el control de malezas, pero recientemente, un número creciente de estudios ha demostrado la existencia de residuos de glifosato (GBH) y ha destacado los riesgos asociados que plantean en los ecosistemas (Deselnicu et al., 2018, p.2).

Entre las clases más importantes de herbicidas se encuentran los compuestos clorofenoxi [p. Ej., Ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) y ácido 2,4,5-triclorofenoxi acético (2,4,5-T)], dinitrofenoles (por ejemplo: dinitroorthocresol), compuestos de bipyridilo (por ejemplo, paraquat y diquat), ureas sustituidas (por ejemplo, monurón), carbamatos (por ejemplo, profam) y triazinas (por ejemplo, simazina) (Taylor S., 2017, p.10).

**Tabla N° 1:** Clase química y nombre de algunos herbicidas comunes  
Fuente: Manno M., 1996, p.

CLASE	NOMBRE QUÍMICO	NOMBRE COMÚN
Ácidos clorofenoxi	Ácido 2,4-diclorofenoxiacético	2,4-D
	Ácido 2,4,5-triclorofenoxiacético	2,4,5-T
	Ácido 2-metil-4-cloro-fenoxiacético	MCPA
	Ácido 2-metil-4-cloro-fenoxipropiónico	MCPP
	Ácido 2-(2,4,5-triclorofenoxi)propiónico	Silvex
Otros ácidos orgánicos	Ácido 3,6-dicloro-2-metoxibenzoico	Dicamba
	Ácido tricloroacético	TCA
Amidas	N-metoximetil-2',6'-dietil-2-cloro-acetanilida	Alaclor
	N-3,4-diclorofenilpropanamida	Propanil
Tiocarbamatos	S-etilciclohexiletiltiocarbamato	Cicloato
	N,N-Hexametiltiocarbamato de S-etilo	Molinato
Éteres de difenilo	2,4-dicloro-l-(4-nitrofenoxi)benzeno	Nitrofenol
Compuesto de bipyridilio	Ión 1,1'-dimetil-4,4'-bipyridilio	Paraquat
	Ión 1,1'-etileno-2,2'-bipyridilio	Diquat
Triazinas	2-cloro-4-etilamino-6-isopropilamina-triazina	Atrazina
	2-cloro-4,6-bis (isopropilamino) -triazina	Propazina

Pero los usos de estos herbicidas generan contaminación y daños en la salud; como es el caso de los herbicidas diclorofenoxiacético (2,4-D) que a través del agua potable pueden potencialmente causar daños al sistema nervioso, los riñones y el hígado; la exposición crónica al diclorofenoxiacético (2,4-D), también se ha relacionado con la supresión del sistema inmunológico y la alteración endocrina (Bradberry et al., 2004, p.1). Los estudios epidemiológicos han revelado un aumento del riesgo de cáncer, especialmente sarcomas de tejidos blandos y los linfomas no Hodgkin, en personas con exposición ocupacional a los herbicidas clorofenoxiacético, incluidos los contaminados por 2, 3, 7, 8-tetraclorodibenzo-p-dioxina (TCDD) (Saracci et al., 1991, p.2).

Los herbicidas se eligen por su alta toxicidad para las plantas objetivo y su menor toxicidad para los animales, incluidos los seres humanos, pero los impactos tóxicos directos de los herbicidas en los animales siguen siendo una seria preocupación (Beasley V., 2020, p.3). Donde los mecanismos de toxicidad se detallan en la Tabla 2.

**Tabla N°2:** Mecanismos de toxicidad en los órganos por acción de herbicidas  
Fuente: Gupta P., 2011, p.

HERBICIDA	MECANISMO DE TOXICIDAD	ÓRGANOS (OBJETIVO)
Paraquat	Formación de radicales libres de oxígeno (agotamiento de nicotinamida adenina dinucleótido fosfato - NADPH, Peroxidación de lípidos)	Pulmón
diclorofenoxiacético (2,4-D) y triclorofenoxiacético 2,4,5-T	En gran parte desconocido	Sistema nervioso central (SNC), sistema nervioso periférico (SNP), músculos, tejido linfóide, riñón, piel, hígado.
2, 3, 7, 8-tetraclorodibenzo-p-dioxina (TCDD)	Bioactivación a metabolitos reactivos por el citocromo P-450	
Organofosforados (OP) y carbamatos	Inhibición de la acetilcolinesterasa	piel del sistema nervioso, tracto gastrointestinal
Amidas	Desconocido	
Atrazina	Desconocido	Sistema endocrino

Existen muchos grupos de herbicidas con diferentes químicas y diferentes mecanismos de acción tóxica; donde los principales mecanismos tóxicos que afectan a las plantas son a veces los mismos que afectan a los animales y en otros casos, un herbicida puede atacar un aspecto único de la bioquímica de las plantas, pero un tipo diferente de receptor bioquímico puede ser importante en los animales expuestos (Kim et al., 2017, p.1).

Actualmente, la aplicación de herbicidas en sistemas agrícolas se discute críticamente debido a sus posibles efectos adversos sobre el medio ambiente y la salud humana; por ende, los gobiernos y los actores de la industria alimentaria buscan soluciones para reducir el uso de herbicidas en las granjas; debido a ello se emplean diversas técnicas para controlar los daños por herbicidas en los diversos recursos y de esta manera disminuir los cultivos dañados (Bócker et al., 2019, p.2).

En tal sentido, el biochar como enmienda del suelo está atrayendo cada vez más atención de los responsables políticos de EE.UU., Australia, Europa y otros países (Bracmort, 2010, p.1). Informando de que los materiales carbonosos (por ejemplo, carbón vegetal/biochar) afectan a la sorción, la degradación y la biodisponibilidad de los plaguicidas para las plantas, por ejemplo, la quema de hojas de caña aumentó la sorción de herbicidas en suelos de caña de azúcar (Nag et al., 2011, p.1).

La aplicación de biochar para beneficios agrícolas y ambientales se basa en varias de sus propiedades, incluida la carga superficial (Deem L. y Crow S., 2017, p.2). Y ha recibido mucha atención recientemente debido a varios beneficios prometedores asociados con su incorporación en entornos agrícolas; estos incluyen un mayor rendimiento de los cultivos, mejoras en las propiedades beneficiosas de los suelos, así como un mayor secuestro de carbono atmosférico, entre otros (Padilla J. y Selim H., 2020, p.1).

Se ha informado que varios compuestos naturales, incluidos los derivados de microbios, algas y plantas, así como los orgánicos, como el biochar y las vitaminas, protegen a las plantas de los invasores al inducir un estado de cebado que conduce a una mayor resistencia contra la posterior infección por patógenos (Boubakri H., 2020, p.1).

El biochar tiene diferentes propiedades que pueden variar con diferentes materias primas, donde la calidad y los atributos se rigen por los ajustes de pirólisis, como el tiempo de calentamiento, la temperatura máxima, la presión y el oxígeno (Mia et al., 2017, p.1). Un estudio sobre el biochar producido a partir de paja tenía un pH mucho más alto (9,5), un nivel de potasio (961 mg/kg-1) y compuestos volátiles más altos en comparación con el biochar derivado de la madera con pH de 8,0 y (349 mg/kg-1) de potasio, lo que indica que producido a partir de diferentes materias primas tiene un rendimiento diferente (Abbas et al., 2021, p.4).

Las características del biochar que se emplea en la remediación de pesticidas en la agricultura, el proceso de combustión pueden ser mediante pirólisis, gasificación o combustión y se puede dar mediante los procesos de pirólisis rápida y lenta.

Al emplear una correcta materia prima y aplicarlo como enmienda del suelo, presenta un efecto significativo sobre la fertilidad del suelo al alterar las características químicas, biológicas y físicas del suelo, su impacto como enmienda mejora la calidad del suelo y el crecimiento de las plantas con un mayor rendimiento de los cultivos. Además, la adición de biochar en un ambiente contaminado con pesticidas ofrece las siguientes ventajas: (a) aumenta la capacidad de retención de agua del suelo, (b) mejora las condiciones de aireación en el suelo y (c) proporciona un hábitat para el crecimiento de microorganismos, lo que facilita la comunidad microbiana para las actividades metabólicas y degradación de plaguicidas (Varjani et al., 2019, p.1).

La producción de biochar varía desde la pequeña escala usando una estufa de cocina hasta la gran escala usando un sistema de pirólisis, es una tecnología termoquímica para transformar biomasa en biochar, bioaceite y gas de síntesis entre 350 y 700 °C de temperatura en ausencia de aire, sin embargo, los procesos termoquímicos que producen biochar en su forma sólida son la pirólisis y la gasificación (Lehmann et al., 2011, p.1). La pirólisis es de dos tipos, a saber, pirólisis lenta y pirólisis rápida; por tanto, dependen del tiempo de residencia y de la velocidad de calentamiento. La pirólisis lenta produce más gas de síntesis, mientras que la pirólisis rápida produce más aceites y líquidos. Asimismo, la pirólisis lenta facilita una mayor producción de biochar (36%) que la pirólisis rápida (alrededor del 17%) o la gasificación (12%) (Uchimiya et al., 2011, p.2).

El presente informe de investigación cuenta con 10 antecedentes, de los cuales se detallan en la Tabla N° 3.

**Tabla N°3:** *Biochar aplicado a suelos contaminados con herbicidas.*

TÍTULO DE INVESTIGACIÓN	MATERIA PRIMA	RESULTADO	CITA
El biochar aplicado al suelo aumenta la diversidad microbiana y el	Paja de trigo	El biochar modificado en el suelo redujo significativamente la absorción de fomesafen y, por lo tanto, eliminó su toxicidad para las plántulas de	Meng et al., 2019

rendimiento de las plantas de trigo bajo el estrés del herbicida fomesafen		trigo.	
Optimización de la síntesis de biochar de racimo de frutos vacíos de palma aceitera y de cascara de arroz para la eliminación.	Racimo de fruta de palma aceitera y cáscara de arroz	El biochar de racimos vacíos de fruta de palma aceitera fue más eficiente en la eliminación de herbicidas, especialmente imazapyr debido a su composición química y mayor índice de polaridad (0,42) en lugar del biochar de cáscara de arroz (0,39).	Yavari et al., 2017
Eliminación de herbicidas fenoxi de soluciones acuosas utilizando biochar de pasto varilla (switchgrass) de pirólisis rápida	Pasto varilla	Este biochar de pasto varilla de baja superficie (1,1 m <sup>2</sup> /g) pueden adsorber mucho más el herbicida fenoxi (MCPA) por unidad de superficie medida (45 mg/m <sup>2</sup> ) que los carbonos activados comerciales de gran superficie (1050-1150 m <sup>2</sup> /g) que absorben solo 0,08-0,11 mg/m <sup>2</sup> , y también son caras.	Essandoh et al., 2017
Impacto de la adición de biochar de paja de trigo al suelo sobre la sorción, lixiviación, disipación del herbicida (4-cloro-2-metilfenoxi)	Paja de trigo	La adición de biochar al suelo redujo tanto la lixiviación como la disipación de herbicida fenoxi (MCPA). Aproximadamente el 35 % la del ácido (4-cloro-2-metilfenoxi) herbicida fenoxi (MCPA) aplicada se transportó a través del suelo modificado con biochar, mientras que hasta	Tatarková et al., 2013

ácido acético y el crecimiento del girasol (Helianthus annuus L.)		el 56% se recuperó en los lixiviados transportados a través del suelo no modificado.	
Efectos del biochar en la lombriz de tierra (Eisenia foetida) en suelos contaminados con pesticida mesotriona	Paja de trigo	Aunque la aplicación de biochar disminuyó significativamente la concentración de mesotriona las lombrices de tierra, retrasó la degradación del pesticida en el suelo.	Zhang et al., 2019
Aplicación de biochar con microorganismos funcionales para mejorar la eliminación de atrazina y la utilización del fósforo	Paja con cuatro bacterias	La aplicación combinada mostró un 49% más de capacidad para degradar 100 mg/L de atrazina en 24 horas y un 27% más de capacidad para degradar 20 mg/kg de atrazina en 3 días que las bacterias degradantes puras, en experimentos con líquidos y suelo, respectivamente.	Tao et al., 2020
Eliminación del herbicida atrazina mediante un novedoso compuesto de hierro a base de biochar acoplado al proceso de peroximonosulfato del suelo: Efecto sinérgico y mecanismo	Paja de trigo	El proceso Biochar-nZVI / PMS mostró un rendimiento excelente en la eliminación del herbicida atrazina en comparación con biochar-BC-nZVI/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> o proceso BC-nZVI/persulfato (PS).	Día et al., 2021
Degradación de los herbicidas imazapic e imazapyr en presencia de biocarburantes optimizados de racimo de frutos	Racimos de frutas vacíos (EFB) de biomasas de palma aceitera Cáscara de arroz (RH)	Los herbicidas polares fueron resistentes a la degradación por hidrólisis. Las tasas de fotólisis de los herbicidas se redujeron significativamente en presencia de biochar en el suelo. El biochar de racimos de frutas vacíos (EFB) tuvo mayores efectos debido a sus composiciones químicas y	Yavari et al., 2019

vacíos de palma aceitera y de cáscara de arroz en el suelo		grupos funcionales superficiales.	
Impacto de la adición de biochar de paja de arroz en la sorción y lixiviación de herbicidas de fenilurea en columna de arena saturada	Paja de arroz	La presencia de biochar de paja de arroz aumentó la cantidad de sitios de sorción dinámica en todo el sistema de cotransporte, lo que condujo a una promoción significativa de la sorción e intercepción de herbicidas de fenilurea.	San et al., 2021
Influencia del compost y el biochar en las propiedades biológicas del suelo bajo el riego deficitario del césped	Paja de trigo	La composición de las comunidades de bacterias/arqueas fue más divergente en respuesta al riego deficitario en los suelos no modificados que en los modificados con compost o biochar.	Hale et al., 2021

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. Tipo y diseño de investigación

El presente estudio de investigación es de tipo aplicada; ya que, la investigación aplicada implica aplicar la teoría a problemas identificados del mundo real. Los beneficios de la investigación aplicada son a corto plazo y los resultados tienen un uso o aplicación inmediata e identificada (Driskell J. et al., 2014, p.4).

Siendo el diseño narrativo de tópico, el cual se aplica en la investigación, ya que se pretende contar hechos y fenómenos suscitados por los autores de quienes se tomarán las diversas literaturas. La investigación narrativa incluye enfoques como la investigación de la historia de la vida, la historia oral, la biografía, los métodos de experiencia personal y la investigación narrativa (Hatch S. y Newsam S., 2010, p.430).

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

**Tabla N° 4:** Matriz de categorización apriorística

PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	CATEGORÍAS	SUB CATEGORÍAS	UNIDAD DE ANÁLISIS
¿Cuáles son los promedios de remoción del biochar para el tratamiento eco-amigable de cultivos dañados por herbicidas?	Determinar el promedio de remoción del biochar para el tratamiento eco-amigable de cultivos dañados por herbicidas	Porcentaje de remoción de contaminantes en cultivos  (Abbas et al., 2021, p.4)	Dosis inicial  Porcentaje de remoción  (Manno M., 1996, p.552)	(Saracci et al., 1991, p.2), (Bradberry et al., 2004, p.1), (Beasley V., 2020, p.3), (Kim et al., 2017, p.1), (Nag et al., 2011, p.1),
¿Cuáles son las materias primas más empleadas para la	Identificar las materias primas más empleadas para la elaboración de	Tipos de residuos  (Vasilescu M. y Medvedovici A.,	Residuo agrícola o de cosecha  Residuo	

elaboración de biochar como tratamiento eco-amigable de cultivos dañados por herbicidas?	biochar como tratamiento eco-amigable de cultivos dañados por herbicidas.	2005, p.243)	forestal (Mia et al., 2017, p.1)	(Deem L. y Crow S., 2017, p.2), (Boubakri H., 2020, p.1), (Uchimiya et al., 2011, p.2), (Padilla J. y Selim H., 2020, p.1), (Bracmort, 2010, p.1).
¿Cuáles son los parámetros influyentes en la optimización del biochar para el tratamiento eco-amigable de cultivos dañados por herbicidas?  Definir los parámetros influyentes en la optimización del biochar para el tratamiento eco-amigable de cultivos dañados por herbicidas	Definir los parámetros influyentes en la optimización del biochar para el tratamiento eco-amigable de cultivos dañados por herbicidas	Parámetros (Varjani et al., 2019, p.1)	pH Temperatura de pirólisis Tamaño de partícula (Lehmann et al., 2011, p.1)	

### 3.3. Escenario de estudio

El escenario de estudio al ser una revisión sistemática del biochar como tratamiento eco-amigable de cultivos dañados por herbicidas serán las diversas literaturas seleccionadas como artículos científicos de portales web; especialmente enfocados en los tipos de materias primas más empleadas para la elaboración, los parámetros influyentes en la optimización del biochar y la mejora de los cultivos dañados por herbicidas.

### **3.4. Participantes**

Los participantes de la presente revisión sistemática son los artículos de investigación extraídos de fuentes como: Scielo, Sciencedirect, Proquest y Scopus; dichas fuentes permiten a esta investigación acceder a una amplia base de datos de búsquedas científicas, brindando la seguridad de contar con informaciones confiables en base a su contenido.

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

La técnica empleada es el análisis documental mediante la recolección de la ficha de análisis de contenido; esta ficha de recolección de datos se puede visualizar en el anexo 1; siendo ello descrito por Zeeger M. y Barron D., (2005, p.75) como el análisis de documentos, donde describe esta técnica en una investigación cualitativa en el que él analista revisa los documentos para evaluar un tema de valoración; la disección de los documentos implica la codificación del contenido en temas como se investigan las transcripciones de los grupos de discusión o de las entrevistas. De acuerdo con Novayelinda et al., (2019, p.1) podemos tomar en cuenta que el análisis de documentos toma en consideración la totalidad del contexto en el que el documento ha sido generado, implementado y finalmente evaluado; donde los documentos pueden ser declaraciones de política, edictos, documentos legales, leyes del Parlamento o alguna otra legislación, editoriales, artículos de periódicos y revistas, informes de investigación, conocimientos de embarque para buques de carga, etc.

Mientras que la ficha de análisis de contenido se organiza en torno a tres fases cronológicas: pre análisis, explotación del material y tratamiento de los resultados, inferencia e interpretación (Wanlin P., 2007, p.9). La interpretación de los resultados consiste en "utilizar los elementos puestos de manifiesto por la categorización para establecer una lectura original y objetiva del documento original estudiado; siendo la fase del análisis de contenido es sin duda la más interesante, ya que permite, por un lado, evaluar la fecundidad del sistema y, por otro, el valor de las hipótesis (Mucchielli A., 2006, p.5).

### 3.6. Procedimiento

El procedimiento de las fuentes fue recolectado mediante una serie de pasos; como lo son, la recolección, el uso de palabras claves (en diversos idiomas), los procedimientos de selección (inclusión y exclusión); para obtener la cantidad de información total a la investigación; como se puede observar en la tabla 5.

**Tabla N°5:** Procedimiento de selección

TIPO DE DOCUMENTO	PALABRA CLAVE	CANTIDAD INICIAL	PROCESO DE SELECCIÓN	CANTIDAD FINAL
Artículo científico	-Biochar -Herbicide-damaged crops -Biochar as a technology for agricultural soils	Scielo: 66	Inclusión: Que sean artículos. De base de datos confiables Exclusión: Artículos Que no estén entre 2016-2021 Que no cuenten con DOI / ISB Por duplicidad	Scielo: 2
Revistas científicas		Sciencedirect : 44 Scopus: 5 Proquest: 4		Sciencedirect: 13 Scopus: 4 Proquest: 1
Total de artículos				<b>20</b>

### 3.7. Rigor científico

Una preocupación común acerca de los métodos cualitativos es su presunta falta de validez: los datos son "blandos". Si bien es cierto que no existen formas numéricas de determinar la validez en los estudios cualitativos, existen estrategias para asegurar, o evaluar en un sentido no numérico, la validez de un estudio (Ash J. y Guappone K., 2007, p.7). Dicho ello, en la tabla 6 se presentan los criterios tomados en cuenta en el presente estudio.

**Tabla N°6:** Criterios para obtener el rigor científico

DESCRIPCIÓN	FIABILIDAD (CRITERIOS CUALITATIVOS)
Se obtiene cuando se acredita la veracidad de un documento. Y es obtenido mediante la certeza de los documentos extraídos de portales web indizados, que brindan la confianza de la información extraída.	Credibilidad (Murphy F. y Yelder J., 2010, p.11)
Transferencia de una información a otros contextos. Esto se demuestra en la resolución de la presente revisión sistemática; a donde se transfirieron diversas investigaciones (resultados).	Transferibilidad (Murphy F. y Yelder J., 2010, p.11)
La confiabilidad se apoya en la descripción meticulosa de los pasos metodológicos. Y es encontrada en las citas realizadas por las informaciones brindadas de las diferentes literaturas detallando los datos que obtuvieron.	Confiabilidad (Murphy F. y Yelder J., 2010, p.11)
Identificación e interpretación de resultados obtenidos. Y este criterio se consiguió interpretando los diversos resultados obtenidos por otros estudios, acerca del biochar como tratamiento eco-amigable de cultivos dañados por herbicidas	Confirmabilidad (Murphy F. y Yelder J., 2010, p.11)

### **3.8. Método de análisis de información**

En el método de análisis de este estudio se empleó la matriz apriorística; en la cual se plantearon 3 categorías (Porcentaje de remoción de contaminantes en cultivos, Tipos de residuos, Parámetros); dichas categorías dieron pase a la formulación de sub categorías; que van a ayudar a que la información recaudada para la resolución de los problemas específicos sea más precisa y con otros criterios acerca del biochar como tratamiento eco-amigable de cultivos dañados por herbicidas.

### **3.9. Aspectos éticos**

Los aspectos éticos encontrados en este estudio cuentan con la veracidad de la información, honestidad, responsabilidad y la buena gestión; ello es demostrado, siguiendo con lo indicado por la resolución de consejo universitario N° 0103-2018 de la Universidad Cesar Vallejo; así como la normativa respectiva de cada cita plasmada a lo largo del estudio, mediante la norma ISO 690-2.

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Los resultados obtenidos para determinar de qué manera el biochar mejora los cultivos dañados por herbicidas en el presente estudio se muestran en la tabla 7.

**Tabla N° 7:** Promedio de remoción del biochar

DOSIS INICIAL DE BIOCHAR	PORCENTAJE DE REMOCIÓN	AUTOR
1,0 mg/kg	98%	Meng et al., 2019
5 t/ha	Extracción Cd/Pb del maíz fue de 99,1 %	Wei et al., 2021
No indica	86,3%	You et al., 2021
0.5 mg/kg	98%	Ali et al., 2019
10 mg/kg	98,2%	Sun et al., 2020
12,5 g por maceta	97%	Lin et al., 2019
20 mg/kg	Pn: 89,03% Cd: 75,84%	WU et al, 2019
20 mg/kg	70%	Tan et al, 2019
15g/kg	Cd: 92,1% y Pb: 80,5%	Wu et al., 2020
0,1 g/kg	92%	Wang et al 2018
20 mg/kg	92.7%	Deng et al.,2020
50mg/kg	Pb: 90% Cd: 30%	Wan et al., 2020
20mg/kg	Cd: 17,66%	Khan et al., 2020
0,05 g/kg	Cd: 23,6%	Park, et al., 2019
5 g/kg	71%	Liu et al., 2018
5 g/kg	70%	Yin et al., 2020
30 mg/kg	99%	Chen et al., 2020

0,5 g/kg	13,4%	Wang et al., 2019
15 g/kg	85%	Fan et al., 2020
No indica	13,6%	Zhao et al., 2019

De acuerdo a la comparación de 20 investigaciones se obtuvo que el promedio de remoción que se presenta en los contaminantes de suelos agrícolas aplicando biochar con diversas materias primas es del 70 al 80%.

De acuerdo con Brasard et al., (2019, p.) ello se da debido a muchas características interesantes, que incluyen alto contenido de carbono, alto pH, alta estabilidad, alta porosidad y alta área de superficie; ayudando a mejorar las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, aumentando la productividad de los cultivos; además, al presentar una alta superficie específica sirve como herramienta de remediación de los suelos contaminados con pesticidas.

Los investigadores que confirman su efectividad como tratamiento eco amigable de cultivos dañados por herbicidas presentando porcentajes de eficiencia mayores al 90% son: Meng et al., 2019 (98%), Ali et al., 2019 (98%), Sun et al., 2020 (98,2%), Lin et al., 2019 (97%), Wu et al., 2020 (92,1%), Wang et al. 2018 (92%), Deng et al., 2020 (92.7%), Wan et al., 2020 (90%) y Chen et al., 2020 (99%).

Esto es demostrado por los porcentajes más altos de remoción se dieron a dosis iniciales menores a los 50 mg/kg; siendo ellos corroborado por Meng et al., 2019, quien utilizó una dosis de 1 mg/kg obteniendo un 98% de remoción; esto es respaldado por Ali et al., 2019, con una dosis de 0.5 mg/kg obtuvo un 98%; Sun et al., 2020 con 10 mg/kg obtuvo 98,2%; Deng et al., 2020 con 20 mg/kg obtuvo un 92.7% y Chen et al., 2020 con una dosis de 30 mg/kg un 99%.

Así mismo, las materias primas más empleadas para la elaboración de biochar como tratamiento eco-amigable de cultivos dañados por herbicidas se muestran en la tabla 8.

**Tabla N°8:** Materia prima más empleada para elaborar biochar.

TIPO DE RESIDUO	MATERIA PRIMA	AUTOR
Residuo de cosecha	Paja de trigo	Meng et al., 2019
Residuo de cosecha	Filamento de palma	Wei et al., 2021
Residuo forestal	Desechos de madera	You et al., 2021
Residuo de cosecha	Paja de soja + paja de arroz	Ali et al., 2019
Residuo de cosecha	Paja de trigo	Sun et al., 2020
Residuo de cosecha	Paja de trigo	Lin et al., 2019
Residuo de cosecha	Cáscara de camelia	WU et al, 2019
Residuo de cosecha	Ramas del manzano Tallos de maíz	Tan et al, 2019
Residuo de cosecha	Cáscara de arroz	Wu et al., 2020
Residuo forestal	Madera de arce	Wang et al 2018
Residuo de cosecha	Cáscara de piña	Deng et al.,2020
Residuo de cosecha	Cáscara de maní	Wan et al., 2020
Residuo de cosecha	Paja de maíz	Khan et al., 2020
Residuo forestal	Corteza de pino	Park, et al., 2019
Residuo de cosecha	Cáscara de arroz	Liu et al., 2018
Residuo de cosecha	Pasto de Napier	Yin et al., 2020
Residuo forestal	Madera de álamo	Chen et al., 2020
Residuo de cosecha	Cáscara de caña	Wang et al., 2019
Residuo de cosecha	Salvado de mijo	Fan et al., 2020
Residuo de cosecha	Paja de trigo	Zhao et al., 2019

En la tabla 8 se muestra que de 20 literaturas, 16 emplean residuos de cosecha y 4 residuos forestales; ello debido a que los biochar derivados de desechos de cultivos como cáscara de arroz, paja de arroz, rastrojo de maíz, residuos de caña de azúcar, paja de trigo entre otros; añadidos a las tierras de cultivo aporta cantidades considerables de nutrientes totales y

disponibles; indicando que es beneficiosa para el sistema de agricultura sostenible mediante el ciclo de nutrientes en las tierras de cultivo (Li et al., 2019, p.1).

Entre los residuos de cosecha para la elaboración del biochar se tiene a: Paja de trigo, Filamento de palma, Paja de soja, Paja de arroz, Cáscara de camelia, Ramas del manzano, Tallo de maíz, Cascara de arroz, Cascara de piña, Cascara de maní, Paja de maíz, Pasto de Napier, Cáscara de caña y Salvado de mijo. Los investigadores que lo aplican son: Meng et al., 2019, Wei et al., 2021, Ali et al., 2019, Sun et al., 2020, Lin et al., 2019, WU et al., 2019, Tan et al, 2019, Wu et al., 2020, Deng et al.,2020, Wan et al., 2020, Khan et al., 2020, Liu et al., 2018, Yin et al., 2020, Wang et al., 2019, Fan et al., 2020, Zhao et al., 2019.

Esto es rechazado por Singh et al., (2015, p.1) ya que en su investigación después de obtener los resultados aplicando residuos de cultivos señala que, después de la evaluación de revisar varios aspectos de los residuos de cultivos como materia prima, recomienda su uso como mezcla, en lugar de uso exclusivo, junto con varios otros materiales lignocelulósicos.

Por otro lado, los parámetros influyentes en la optimización del biochar para el tratamiento eco-amigable de cultivos dañados por herbicidas, fueron clasificados en 3 sub categorías; pH, T° de pirólisis y tamaño de partícula; exponiendo los resultados de la comparación de 20 literaturas en la tabla 9.

**Tabla N°9:** *Parámetros influyentes en la optimización del biochar*

<b>pH</b>	<b>T° DE PIROLISIS</b>	<b>TAMAÑO DE PARTÍCULA</b>	<b>AUTOR</b>
6,8	500 °C	2 mm	Meng et al., 2019
4,67	550 °C	2 a 0.25-mm	Wei et al., 2021
5,04	700 °C	<2 mm	Ali et al., 2019
7,0	700 °C	2 mm	Sun et al., 2020
3,25	600 °C	0–0.2 m	Lin et al., 2019

2,8	700 °C	0.25-mm	WU et al, 2019
5,5	550 °C	2 mm	Tan et al, 2019
6	500C°	0,154 mm	Wu et al., 2020
7	500 °C	850 mm	Wang et al 2018
6	750 °C	No indica	Deng et al.,2020
5	600 °C	0.25 mm	Wan et al., 2020
8	800°C	0.154 mm	Khan et al., 2020
9	600 °C	< 0,5 mm	Park, et al., 2019
4,5	500°C	4,93 mm	Liu et al., 2018
5	600°C	No indica	Yin et al., 2020
7	550°C	0.250 mm	Chen et al., 2020
>6	500°C	No indica	Wang et al., 2019
6	600°C	0.8 mm	Fan et al., 2020
6	800°C	0,22 mm	Zhao et al., 2019

Es bien sabido que el efecto de inmovilización del biochar está determinado por sus propiedades fisicoquímicas junto con las condiciones ambientales del suelo y las propiedades fisicoquímicas del biochar en condiciones naturales se modifican por diversos factores ambientales; por ejemplo, el pH alto del biochar es uno de los factores importantes responsables de la inmovilización (Cui et al., 2016, p.3).

Dicho ello, el 88% de los investigadores que se encuentran en la tabla 9 presentaron pH ácido, encontrándose en los rangos del 2,8 al 6; pudiendo decir que la mayoría de los investigadores lograron alcanzar la estabilidad o equilibrio de la adsorción del biochar en un pH ácido; el 9% presenta un pH neutro (7) y el 3% presentan un pH alcalino (8 a 9).

De acuerdo con los siguientes autores el equilibrio del biochar se llega en un pH ácido: Meng et al., 2019, Wei et al., 2021, Ali et al., 2019, Lin et al., 2019, WU et al, 2019, Tan et al, 2019, Wu et al., 2020, Deng et al.,2020, Wan et

al., 2020, Liu et al., 2018, Yin et al., 2020, Wang et al., 2019, Fan et al., 2020, Zhao et al., 2019.

De igual manera las propiedades del biochar se ven afectadas principalmente por la temperatura no tanto por la duración del calentamiento de la pirólisis y la temperatura pirolítica optimizada para producir biochar de paja de diversos residuos de cosecha varían entre los 500–600 °C (Chandra S. y Bhattacharya J., 2019, p.1).

Esto es apoyado por el 85% de los investigadores; quienes emplearon una temperatura de pirólisis que varía entre 500 a 600°C; según los siguientes autores: Meng et al., 2019, Wei et al., 2021, Lin et al., 2019, Tan et al., 2019, Wu et al., 2020, Wang et al. 2018, Wan et al., 2020, Park, et al., 2019, Liu et al., 2018, Yin et al., 2020, Chen et al., 2020, Wang et al., 2019, Fan et al., 2020.

Estas afirmaciones son opuestas a lo indicado por Liu et al., (2018, p.1) quien señala que, tanto la temperatura de pirólisis alta como la baja tienen efectos tanto positivos como negativos sobre la absorción de plaguicidas en el suelo, uno por mayor superficie y el otro por un gran número de grupos funcionales. Siendo ello respaldado por Khan et al., 2020, Park y et al., 2019.

Así también, la capacidad del biochar para mejorar las propiedades físicas e hidrológicas de los suelos de textura ligera depende en gran medida de las características del biochar, incluido su tamaño de partícula (Xie et al., 2015, p.1).

De acuerdo a la comparación de las literaturas expuestas en la tabla 9; el 55% de los investigadores presenta tamaños de partícula del biochar menores a 1mm; de acuerdo a los siguientes investigadores: Lin et al., 2019, WU et al., 2019, Wu et al., 2020, Wan et al., 2020, Khan et al., 2020, Park, et al., 2019, Chen et al., 2020, Fan et al., 2020, Zhao et al., 2019.

Ello es apoyado por Blanco H., (2017, p.2), quien dice que la interacción de las partículas de biochar con la matriz del suelo depende en gran medida del

tamaño de las partículas de biochar y los de menor tamaño probablemente tendrán mayor superficie y microporosidad.

Mientras que el 45% emplearon tamaño de partícula mayores a 1mm; Meng et al., 2019, Ali et al., 2019, Sun et al., 2020, Tan et al., 2019, Wang et al., 2018, Liu et al., 2018. Siendo ello opuesto por Alghamdi et al., (2020, p.1) quien indica en su investigación que los resultados mostraron que el mayor aumento tanto en el contenido de agua a capacidad de campo como en el contenido de agua disponible se observó con el tamaño de partícula de biochar más pequeño debido al aumento de la microporosidad como resultado de las superficies internas más grandes y la estructura porosa de las partículas de biochar. Al igual que Glab et al., (2016, p.4), señala que la aplicación de biochar con tamaños de partículas < 1 mm puede mejorar las propiedades físicas e hidrológicas de los suelos de cultivos dañados, mejorando la textura ligera y aumentar la conservación del agua en el suelo.

## V. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente estudio para determinar de qué manera el biochar mejora los cultivos dañados por herbicidas; se tuvo lo siguiente:

- El promedio de remoción del biochar para el tratamiento eco-amigable de cultivos dañados por herbicidas se encuentra en rangos del 70 al 80% empleando diversas materias primas como material precursor.
- Las materias primas más empleadas para la elaboración de biochar como tratamiento eco-amigable de cultivos dañados por herbicidas son los residuos de cosecha en un 80% y residuos forestales en un 20%. Debido a que, los biochar derivados de desechos de cultivos como cáscara de arroz, paja de arroz, rastrojo de maíz, residuos de caña de azúcar, paja de trigo entre otros; añadidos a las tierras de cultivo aporta cantidades considerables de nutrientes totales y disponibles; indicando que es beneficiosa para el sistema de agricultura sostenible mediante el ciclo de nutrientes en las tierras de cultivo.
- Por último, los parámetros influyentes en la optimización del biochar para el tratamiento eco-amigable de cultivos dañados por herbicidas son el pH, Temperatura de pirólisis y tamaño de partícula, siendo el pH ácido el rango por los investigadores para lograr el equilibrio de la adsorción del biochar; es igual manera las propiedades del biochar se ven afectadas principalmente por la temperatura de pirólisis, donde el 85% de los investigadores emplearon una temperatura de pirólisis que varía entre 500 a 600°C así como el tamaño de partícula adecuado mejora la capacidad del biochar, siendo el 55% de los investigadores que emplean un tamaños de partícula del biochar menores a 1mm, debido a que, la aplicación de biochar con tamaños de partículas < 1 mm puede mejorar las propiedades físicas e hidrológicas de los suelos de cultivos dañados.

## **VI. RECOMENDACIONES**

Desde un punto de vista práctico se recomienda a los futuros investigadores con respecto a la literatura planteada lo siguiente:

- Se recomienda elaborar biochar con diferentes tamaños de partículas y plantear rangos de eficiencia de su aplicación en las estructuras del suelo.
- Aplicar el biochar con variación en los diversos parámetros influyentes en las tres fases del suelo (es decir, sólido, líquido y gas).
- Por último, se recomienda una evaluación en condiciones de campo para evaluar el efecto a largo plazo del biochar con diferentes residuos agrícolas en la estructura del suelo para proporcionar mejores pautas para las mejores prácticas de gestión.

## REFERENCIAS

1. ABBAS, Saghir, et al. Alteration of plant physiology by the application of biochar for remediation of organic pollutants. En Handbook of Bioremediation. Academic Press, 2021. p. 475-492. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819382-2.00030-2>
2. ALI, Neelum, et al. Biochars reduced the bioaccessibility and (bio) uptake of organochlorine pesticides and changed the microbial community dynamics in agricultural soils. Chemosphere, 2019, vol. 224, p. 805-815. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.02.163>
3. ALGHAMDI, Abdulaziz G.; ALKHASHA, Arafat; IBRAHIM, Hesham M. Effect of biochar particle size on water retention and availability in a sandy loam soil. Journal of Saudi Chemical Society, 2020, vol. 24, no 12, p. 1042-1050. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2020.11.003>
4. AMOAH-ANTWI, Collins, et al. Restoration of soil quality using biochar and brown coal waste: A review. Science of the Total Environment, 2020, vol. 722, p. 137852. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137852>
5. ASH, Joan S.; GUAPPONE, Kenneth P. Qualitative evaluation of health information exchange efforts. Journal of biomedical informatics, 2007, vol. 40, no 6, p. S33-S39. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jbi.2007.08.001>
6. BEASLEY, Val Richard. Direct and indirect effects of environmental contaminants on amphibians. 2020.
7. BLANCO-CANQUI, Humberto. Biochar and soil physical properties. Soil Science Society of America Journal, 2017, vol. 81, no 4, p. 687-711. Disponible en: <https://doi.org/10.2136/sssaj2017.01.0017>
8. BÖCKER, Thomas; MÖHRING, Niklas; FINGER, Robert. Herbicide free agriculture? A bio-economic modelling application to Swiss wheat production. Agricultural Systems, 2019, vol. 173, p. 378-392. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.03.001>
9. BOUBAKRI, Hatem. Induced resistance to biotic stress in plants by natural compounds: Possible mechanisms. En Priming-Mediated Stress and Cross-

- Stress Tolerance in Crop Plants. Academic Press, 2020. p. 79-99.  
 Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817892-8.00005-2>
10. BRACMORT, Kelsi. Biochar: examination of an emerging concept to mitigate climate change. 2010. Disponible en: <http://ncseonline.org/NLE/CRs/abstract.cfm?NLEid=2216>>
  11. BRADBERRY, Sally M.; PROUDFOOT, Alex T.; VALE, J. Allister. Poisoning due to chlorophenoxy herbicides. *Toxicological reviews*, 2004, vol. 23, no 2, p. 65-73. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386454-3.00114-7>
  12. BRASSARD, Patrick, et al. Biochar for soil amendment. En *Char and Carbon Materials Derived from Biomass*. Elsevier, 2019. p. 109-146. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814893-8.00004-3>
  13. CARLES, Louis, et al. Potential of preventive bioremediation to reduce environmental contamination by pesticides in an agricultural context: A case study with the herbicide 2, 4-D. *Journal of Hazardous Materials*, 2021, vol. 416, p. 125740. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125740>
  14. CHANDRA, Subhash; BHATTACHARYA, Jayanta. Influence of temperature and duration of pyrolysis on the property heterogeneity of rice straw biochar and optimization of pyrolysis conditions for its application in soils. *Journal of cleaner production*, 2019, vol. 215, p. 1123-1139. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.079>
  15. CHEN, Zhenyu, et al. Enhanced removal of aqueous Cd (II) by a biochar derived from salt-sealing pyrolysis coupled with NaOH treatment. *Applied Surface Science*, 2020, vol. 511, p. 145619. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2020.145619>
  16. CLAPP, Jennifer. Explaining growing glyphosate use: The political economy of herbicide-dependent agriculture. *Global Environmental Change*, 2021, vol. 67, p. 102239. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2021.102239>
  17. CUI, Hongbiao, et al. Stability and heavy metal distribution of soil aggregates affected by application of apatite, lime, and charcoal.

- Environmental Science and Pollution Research, 2016, vol. 23, no 11, p. 10808-10817. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6271-7>
18. DAN, Yitong, et al. Impact of rice straw biochar addition on the sorption and leaching of phenylurea herbicides in saturated sand column. *Science of The Total Environment*, 2021, vol. 769, p. 144536. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144536>
  19. Deem, L. M., & Crow, S. E. (2017). Biochar. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-409548-9.10524-x>
  20. DENG, Yiyi, et al. Competitive adsorption behaviour and mechanisms of cadmium, nickel and ammonium from aqueous solution by fresh and ageing rice straw biochars. *Bioresource technology*, 2020, vol. 303, p. 122853. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122853>
  21. DESELNICU, Dana Corina, et al. Hacia una economía circular: un programa de residuos cero para Europa. En Congreso Internacional de Materiales y Sistemas Avanzados (ICAMS) . Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo de Textiles y Cuero-INCDTP, 2018. p. 563-568. Disponible en: <https://doi.org/10.24264/icams-2018.XI.4>
  22. DIAO, Zeng-Hui, et al. Removal of herbicide atrazine by a novel biochar based iron composite coupling with peroxymonosulfate process from soil: Synergistic effect and mechanism. *Chemical Engineering Journal*, 2021, vol. 409, p. 127684. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.127684>
  23. ERLINGSSON, Christen; BRYSEWICZ, Petra. Orientation among multiple truths: An introduction to qualitative research Orientation attraverso le verità multiple: Une introduction à la recherche qualitative. 2012. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.afjem.2012.04.005>
  24. ESSANDOH, Matthew, et al. Phenoxy herbicide removal from aqueous solutions using fast pyrolysis switchgrass biochar. *Chemosphere*, 2017, vol. 174, p. 49-57. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.01.105>
  25. FAN, Zixi, et al. Removal behavior and mechanisms of Cd (II) by a novel MnS loaded functional biochar: Influence of oxygenation. *Journal of Cleaner*

- Production, 2020, vol. 256, p. 120672. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120672>
26. GLAVAN, Matjaž, et al. How to enhance the role of science in European Union policy making and implementation: The case of agricultural impacts on drinking water quality. *Water*, 2019, vol. 11, no 3, p. 492. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/w11030492>
27. DRISKELL, James E.; KING, Jennifer; DRISKELL, Tripp. Conducting applied experimental research. En *Laboratory experiments in the social sciences*. Academic Press, 2014. p. 451-472. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-404681-8.00020-0>
28. Glab, Tomasz, et al. Effect of biochar application on soil hydrological properties and physical quality of sandy soil. *Geoderma*, 2016, vol. 281, p. 11-20. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.06.028>
29. GUAN, Xianjiao, et al. Effects of long-term herbicide application on the crops in soybean-peanut rotations in the red soil upland of Southern China. *Field Crops Research*, 2020, vol. 248, p. 107723. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107723>
30. GUPTA, Pawan K. Herbicides and fungicides. En *Reproductive and developmental toxicology*. Academic Press, 2017. p. 657-679. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-382032-7.10039-6>
31. GWENZI, Willis, et al. Biochar-based water treatment systems as a potential low-cost and sustainable technology for clean water provision. *Journal of environmental management*, 2017, vol. 197, p. 732-749. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.087>
32. HALE, Lauren, et al. Influence of compost and biochar on soil biological properties under turfgrass supplied deficit irrigation. *Applied Soil Ecology*, 2021, vol. 168, p. 104134. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104134>
33. Hatch, J. A., & Newsom, S. K. (2010). *Life History*. *International Encyclopedia of Education*, 430–435. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/b978-0-08-044894-7.01517-7\\_](https://doi.org/10.1016/b978-0-08-044894-7.01517-7_)

34. JOHAL, G. S.; HUBER, D. M. Glyphosate effects on diseases of plants. *European Journal of agronomy*, 2009, vol. 31, no 3, p. 144-152. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2009.04.004>
35. KHAN, Zulqarnain Haider, et al. Mechanisms for cadmium adsorption by magnetic biochar composites in an aqueous solution. *Chemosphere*, 2020, vol. 246, p. 125701. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125701>
36. KIM, Ki-Hyun; KABIR, Ehsanul; JAHAN, Shamin Ara. Exposure to pesticides and the associated human health effects. *Science of the Total Environment*, 2017, vol. 575, p. 525-535. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.009>
37. LEHMANN, Johannes, et al. Biochar effects on soil biota—a review. *Soil biology and biochemistry*, 2011, vol. 43, no 9, p. 1812-1836. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.04.022>
38. LI, Zichuan, et al. The impact of crop residue biochars on silicon and nutrient cycles in croplands. *Science of the Total Environment*, 2019, vol. 659, p. 673-680. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.381>
39. LIN, Lina, et al. Effects of Fe-Mn modified biochar composite treatment on the properties of As-polluted paddy soil. *Environmental Pollution*, 2019, vol. 244, p. 600-607. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.10.011>
40. LIU, Yuxue, et al. Impact of biochar amendment in agricultural soils on the sorption, desorption, and degradation of pesticides: a review. *Science of the total environment*, 2018, vol. 645, p. 60-70. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.099>
41. LIU, Si-jia, et al. The effect of several activated biochars on Cd immobilization and microbial community composition during in-situ remediation of heavy metal contaminated sediment. *Chemosphere*, 2018, vol. 208, p. 655-664. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.06.023>
42. ŁOZOWICKA, Bożena, et al. Effect of microorganism on behaviour of two commonly used herbicides in wheat/soil system. *Applied Soil Ecology*,

- 2021, vol. 162, p. 103879. Disponible en:  
<https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103879>
43. Manno, M. (1996). Herbicides. *Human Toxicology*, 551–560. Disponible en:  
<https://doi.org/10.1016/b978-044481557-6/50023-x>
44. MENG, Lulu, et al. Soil-applied biochar increases microbial diversity and wheat plant performance under herbicide fomesafen stress. *Ecotoxicology and environmental safety*, 2019, vol. 171, p. 75-83. Disponible en:  
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.12.065>
45. MIA, Shamim; DIJKSTRA, Feike A.; SINGH, Balwant. Long-term aging of biochar: a molecular understanding with agricultural and environmental implications. *Advances in agronomy*, 2017, vol. 141, p. 1-51. Disponible en:  
<https://doi.org/10.1016/bs.agron.2016.10.001>
46. MUCCHIELLI, Alex. Les processus intellectuels fondamentaux sous-jacents aux techniques et méthodes qualitatives. *Recherches qualitatives*, 2007, vol. 3, p. 1-27.
47. MUOLA, Anne, et al. Risk in the circular food economy: Glyphosate-based herbicide residues in manure fertilizers decrease crop yield. *Science of The Total Environment*, 2021, vol. 750, p. 141422. Disponible en:  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141422>
48. MURPHY, F. J.; YIELDER, J. Establishing rigour in qualitative radiography research. *Radiography*, 2010, vol. 16, no 1, p. 62-67. Disponible en:  
<https://doi.org/10.1016/j.radi.2009.07.003>
49. NAG, Subir K., et al. Poor efficacy of herbicides in biochar-amended soils as affected by their chemistry and mode of action. *Chemosphere*, 2011, vol. 84, no 11, p. 1572-1577. Disponible en:  
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.05.052>
50. NAKKA, Sridevi, et al. Herbicide resistance: Development of wheat production systems and current status of resistant weeds in wheat cropping systems. *The Crop Journal*, 2019, vol. 7, no 6, p. 750-760. Disponible en:  
<https://doi.org/10.1016/j.cj.2019.09.004>
51. NOVAYELINDA, Riri; RAHMADHANI, Nafia; HASANAH, Oswati. Does exclusive breastfeeding correlate with infant's early language milestone?.

- Enfermeria clinica, 2019, vol. 29, p. 49-51. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.enfcli.2019.01.002>
52. PADILLA, Joshua T.; SELIM, H. Magdi. Environmental behavior of glyphosate in soils. *Advances in Agronomy*, 2020, vol. 159, p. 1-34. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2019.07.005>
53. PARK, Jong-Hwan, et al. Cadmium adsorption characteristics of biochars derived using various pine tree residues and pyrolysis temperatures. *Journal of colloid and interface science*, 2019, vol. 553, p. 298-307. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2019.06.032>
54. RIVERA, Adriana Patricia Tofiño, et al. Efecto del glifosato sobre la microbiota, calidad del suelo y cultivo de frijol biofortificado en el departamento del Cesar, Colombia. *Revista Argentina de Microbiología*, 2020, vol. 52, no 1, p. 61-71. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ram.2019.01.006>
55. SARACCI, R., et al. Cancer mortality in workers exposed to chlorophenoxy herbicides and chlorophenols. *The Lancet*, 1991, vol. 338, no 8774, p. 1027-1032. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/0140-6736\(91\)91898-5](https://doi.org/10.1016/0140-6736(91)91898-5)
56. SHEN, Zhengtao, et al. The use of biochar for sustainable treatment of contaminated soils. *Sustainable Remediation of Contaminated Soil and Groundwater: Materials, Processes, and Assessment*, 2019, p. 119. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817982-6.00006-9>
57. STOATE, Chris, et al. Ecological impacts of early 21st century agricultural change in Europe—a review. *Journal of environmental management*, 2009, vol. 91, no 1, p. 22-46. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.07.005>
58. STREHLOW, B.; DE MOL, F.; GEROWITT, B. Herbicide intensity depends on cropping system and weed control target: Unraveling the effects in field experiments. *Crop Protection*, 2020, vol. 129, p. 105011. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.105011>
59. SUN, Tong, et al. Bacterial compatibility and immobilization with biochar improved tebuconazole degradation, soil microbiome composition and functioning. *Journal of Hazardous Materials*, 2020, vol. 398, p. 122941. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122941>

60. TAO, Yue, et al. Application of biochar with functional microorganisms for enhanced atrazine removal and phosphorus utilization. *Journal of Cleaner Production*, 2020, vol. 257, p. 120535. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120535>
61. TATARKOVÁ, Veronika; HILLER, Edgar; VACULÍK, Marek. Impact of wheat straw biochar addition to soil on the sorption, leaching, dissipation of the herbicide (4-chloro-2-methylphenoxy) acetic acid and the growth of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Ecotoxicology and environmental safety*, 2013, vol. 92, p. 215-221. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2013.02.005>
62. TAYLOR, Steve L. Chemical intoxications. En *Foodborne diseases*. Academic Press, 2017. p. 447-458. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385007-2.00022-X>
63. UCHIMIYA, Minori, et al. Influence of pyrolysis temperature on biochar property and function as a heavy metal sorbent in soil. *Journal of agricultural and food chemistry*, 2011, vol. 59, no 6, p. 2501-2510. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/jf104206c>
64. VARJANI, Sunita; KUMAR, Gopalakrishnan; RENE, Eldon R. Developments in biochar application for pesticide remediation: current knowledge and future research directions. *Journal of environmental management*, 2019, vol. 232, p. 505-513. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.043>
65. Vasilescu, M. N., & Medvedovici, A. V. (2005). HERBICIDES. *Encyclopedia of Analytical Science*, 243–260. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/b0-12-369397-7/00256-9>
66. WAN, Shunli, et al. Ultrafast sequestration of cadmium and lead from water by manganese oxide supported on a macro-mesoporous biochar. *Chemical Engineering Journal*, 2020, vol. 387, p. 124095. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.124095>
67. WANG, Qian, et al. Sorption and desorption of Pb (II) to biochar as affected by oxidation and pH. *Science of the Total Environment*, 2018, vol. 634, p. 188-194. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.189>

68. WANG, Yan, et al. Effects of macromolecular humic/fulvic acid on Cd (II) adsorption onto reed-derived biochar as compared with tannic acid. *International journal of biological macromolecules*, 2019, vol. 134, p. 43-55. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.05.039>
69. WANLIN, Philippe. L'analyse de contenu comme méthode d'analyse qualitative d'entretiens: une comparaison entre les traitements manuels et l'utilisation de logiciels. *Recherches qualitatives*, 2007, vol. 3, no 3, p. 243-272. Disponible en: ISSN 1715-8702
70. WEI, Lan, et al. Combined biochar and soda residues increases maize yields and decreases grain Cd/Pb in a highly Cd/Pb-polluted acid Udufts soil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2021, vol. 306, p. 107198. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107198>
71. WU, Jiawen, et al. The distribution of Pb (II)/Cd (II) adsorption mechanisms on biochars from aqueous solution: considering the increased oxygen functional groups by HCl treatment. *Bioresource technology*, 2019, vol. 291, p. 121859. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121859>
72. WU, Zhiying, et al. A facile foaming-polymerization strategy to prepare 3D MnO<sub>2</sub> modified biochar-based porous hydrogels for efficient removal of Cd (II) and Pb (II). *Chemosphere*, 2020, vol. 239, p. 124745. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124745>
73. XIE, Tao, et al. Characteristics and applications of biochar for environmental remediation: a review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 2015, vol. 45, no 9, p. 939-969. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/10643389.2014.924180>
74. YAVARI, Saba, et al. Synthesis optimization of oil palm empty fruit bunch and rice husk biochars for removal of imazapic and imazapyr herbicides. *Journal of environmental management*, 2017, vol. 193, p. 201-210. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.02.035>
75. YAVARI, Saba, et al. Degradation of imazapic and imazapyr herbicides in the presence of optimized oil palm empty fruit bunch and rice husk biochars in soil. *Journal of hazardous materials*, 2019, vol. 366, p. 636-642. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.12.022>

76. YIN, Guangcai, et al. Novel Fe-Mn binary oxide-biochar as an adsorbent for removing Cd (II) from aqueous solutions. *Chemical Engineering Journal*, 2020, vol. 389, p. 124465. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.124465>
77. YOU, Xiangwei, et al. Biochar decreased enantioselective uptake of chiral pesticide metalaxyl by lettuce and shifted bacterial community in agricultural soil. *Journal of Hazardous Materials*, 2021, vol. 417, p. 126047. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126047>
78. Zeegers, M., & Barron, D. (2015). Milestone 6. Milestone Moments in Getting Your PhD in Qualitative Research, 75–85. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100231-5.00006-7>
79. ZHANG, Qingming; SALEEM, Muhammad; WANG, Caixia. Effects of biochar on the earthworm (*Eisenia foetida*) in soil contaminated with and/or without pesticide mesotrione. *Science of The Total Environment*, 2019, vol. 671, p. 52-58. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.364>
80. ZHAO, Yueling, et al. Green preparation of magnetic biochar for the effective accumulation of Pb (II): Performance and mechanism. *Chemical Engineering Journal*, 2019, vol. 375, p. 122011. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.122011>
81. ZOBIOLE, L. H. S., et al. Glyphosate affects micro-organisms in rhizospheres of glyphosate-resistant soybeans. *Journal of applied microbiology*, 2011, vol. 110, no 1, p. 118-127. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2010.04864.x>

## ANEXOS

### Anexo N° 1: Ficha de análisis de contenido

 <b>UCV</b> UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	<b>FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO</b>
--	---------------------------------------

#### TITULO:

DATOS DEL AUTOR: NOMBRE(S)		
PAGINAS UTILIZADAS	AÑO DE PUBLICACION	LUGAR DE PUBLICACION

TIPO DE INVESTIGACION:
------------------------

CÓDIGO (DOI) (ISBN):			
PALABRAS CLAVES :			
TIPOS DE MÉTODOS:			
PARÁMETROS	pH	Temperatura de pirólisis	Tamaño de partícula
TIPO DE RESIDUOS EMPLEADO:			
RESULTADOS :			