



Universidad César Vallejo

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

**Revisión Sistemática: Estudio Comparativo entre Biochar y
Compost para la Inmovilización de Metales Pesados en Suelos
Agrícolas, 2021.**

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

AUTOR:

Díaz Mego, José Enrique (ORCID: 0000-0002-6560-5110)

ASESOR:

Mg. Luis Alberto Ordoñez Sánchez (ORCID: 0000-0003-3860-4224)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LIMA - PERÚ

2021

Dedicatoria

Dedico este trabajo a toda mi familia, en especial a mis padres José e Irma, y también a mis hermanas Diana y Rocío, quienes me han dado todo su apoyo y comprensión durante este tiempo de formación profesional.

Agradecimientos

Agradezco a Dios y a toda mi familia por darme ánimo durante este proceso, también a mi asesor y todos mis docentes por la paciencia y dedicación en sus enseñanzas y también a todos mis amigos universitarios por todos los agradables momentos que pasamos.

INDICE DE CONTENIDOS

Carátula	i
Dedicatoria	ii
Agradecimientos	iii
Resumen.....	v
Abstract.....	vi
I.INTRODUCCIÓN	1
II.MARCO TEÓRICO	5
III. METODOLOGÍA	14
3.1 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	14
3.1.1. Tipo	14
3.1.2. Diseño	14
3.2. Escenario de estudio	14
3.3. Participantes.....	15
3.4. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos.....	15
3.4.1. Técnica	15
3.4.2. Instrumentos	15
3.5. Procedimiento	16
3.6. Rigor Científico.....	17
3.7. Método de análisis de datos.....	17
3.8. Aspectos Técnicos	17
IV. RESULTADOS	18
V. DISCUSIÓN	21
VI. CONCLUSIONES	24
VIII. RECOMENDACIONES	25
REFERENCIAS	26
ANEXOS	30

Resumen

Los metales pesados vienen siendo una problemática muy común en estos tiempos, puesto que las actividades mineras y las actividades agrícolas alteran las condiciones del suelo. En nuestro trabajo de revisión sistemática, no experimental el objetivo general fue comparar la eficiencia entre biochar y compost para la inmovilización de metales pesados en suelos agrícolas, en el cual se pudo determinar las características fisicoquímicas que cuenta cada una de las enmiendas, las cuales dependían mucho a la materia orgánica que se utilice; también se determinó la variación de las dosis que se utilizan en el proceso las cuales van desde 5% hasta 25% y si la variación de los niveles de pH eran influyentes en los resultados. Por lo que se concluyó que el compost tenía una ligera diferencia al momento de remover los metales pesados a comparación del biochar por el hecho de que su obtención es una reacción más natural y tiene una mejor conservación de sus propiedades. Por ello se debería seguir las investigaciones sobre biorremediación a base de materias orgánicas para la inmovilización de metales pesados y lograr tener métodos más eficientes y naturales al momento de tomarnos con esta problemática.

Palabras clave: Comparación, compost, biochar, metales pesados y suelos agrícolas

Abstract

Heavy metals have been a very common problem in these times, since mining and agricultural activities alter soil conditions. In our non-experimental systematic review work, the general objective was to compare the efficiency between biochar and compost for the immobilization of heavy metals in agricultural soils, in which it was possible to determine the physicochemical characteristics of each of the amendments, which depended much to the organic matter that is used; It was also determined the variation of the doses used in the process, which range from 5% to 25% and if the variation of the pH levels were influencing the results. Therefore, it was concluded that the compost had a slight difference when removing heavy metals compared to biochar due to the fact that its obtaining is a more natural reaction and has a better conservation of its properties. For this reason, research on bioremediation based on organic matter should be followed for the immobilization of heavy metals and achieve more efficient and natural methods when dealing with this problem.

Keywords: Comparison, compost, biochar, heavy metals and agricultural soils

I. INTRODUCCIÓN

La realidad problemática del presente trabajo de investigación relacionado a la contaminación de los suelos por metales pesados, se viene dando desde tiempo pasados, esto se genera principalmente por la actividad minera industrial y urbanas. Así mismo, los fertilizantes, pesticidas que se usan en la agricultura, contienen metales. Estos elementos son persistentes en los suelos durante largos periodos de tiempo, donde también influye bastante la cantidad de dichos metales los cuales pueden llegar a ser riesgosos para la salud humana y para el medio ambiente (Álvarez, 2019, p. 3). En Cuba, se considera que los procesos de las actividades mineras no controlados, contaminan con metales pesados, y ponen en alto riesgo a los agroecosistemas y población, por ello se resalta la importancia de cuantificar el grado de contaminación que se generan, controlando los riesgos agroalimentarios expuestos a metales pesados, de tal manera poder brindar una mejor salud alimentaria a toda la población (García, 2016, p. 8). La explotación minera en el Perú genera mayormente la contaminación de suelos y aguas por metales pesados donde se puede ver que la mayor parte de contenido sería todo tipo de material residual como escombros estériles y entre ellos los metales pesados que sobrepasan los estándares de calidad ambiental y representa un grave problema sobre la cubierta vegetal. Las características del suelo son muy importantes para poder reducir o aumentar la toxicidad que tienen los metales. En el mes de diciembre del 2018, en el distrito de Bambamarca - Cajamarca, se generó una gran fuga de agua con presencia de desechos tóxicos provenientes de procesos mineros que se realizan en la región. A la altura del río Tingo Maygasbamba según indicó la OEFA se encontraron la presencia de cobre y otros contaminantes en la sangre de los pobladores los cuales indicaron que dicha contaminación era realizada por la empresa minera Goldfields. Así mismo, en la región de Cusco, provincia de Espinar, tienen la misma preocupación puesto que la empresa minera Antapaccay está alterando la calidad de los recurso hídricos con la presencia de metales que fueron detectados en los monitoreos que se dieron, los cuales indicaron que están por debajo de los límites máximos permisibles, es por ello que la población exige nuevos estudios ya que consideran que el daño se está acumulando y afectando la salud de los pueblos aledaños como también la del

ambiente, de acuerdo con ello la Dirección Regional de Salud de Cusco, en el 2018 se realizó un último informe puesto que la protesta de la gente era progresiva, donde se dio a conocer que el agua potable que la gente utilizada para su consumo diario tiene presencia de minerales como arsénico, hierro, manganeso, aluminio y otros 19 metales que sobrepasan los límites máximos permisibles que da la Organización Mundial de la Salud (Ministerio del Ambiente, 2013). Frente a esta problemática se pueden realizar muchos tipos de biorremediación, en este caso se realizó el estudio comparativo entre el Biochar y el Compost para la inmovilización de metales pesados en suelos agrícolas, puesto que el compost es un producto que se obtiene de restos de cosechas, podas, restos agroindustriales adicionando estiércol de animales, lo cual genera una descomposición de materia que es utilizado como abono orgánico, es muy eficiente y práctico ya que posee la facultad de regenerar las características del suelo, contribuye a la estabilización de su estructura, lo cual ayuda a la retención de agua, ayuda en la porosidad lo cual estimula al crecimiento vegetal. Por otro lado, el Biochar es un compuesto que se da de materia orgánica, y ayuda con la estabilización del pH y por lo mismo con la adsorción de metales pesados que se pueden encontrar presentes en el ambiente y principalmente en los suelos agrícolas los cuales son afectados directamente. Es por ello que planteamos como problema general lo siguiente; ¿En cuánto se reduce la concentración de metales pesados utilizando biochar y compost en suelos agrícolas? y como problemas específicos ¿De qué manera las características fisicoquímicas del compost y el biochar inmovilizan los metales pesados en suelos agrícolas?, ¿Cómo influirá la variación de la dosis de Biochar y Compost en la inmovilización de metales pesados en suelos agrícolas?, ¿De qué manera las condiciones del pH influyen en el proceso de inmovilización de metales pesados en suelos agrícolas tratados por biochar y compost?. El presente trabajo de investigación es justificado teóricamente, considerando un gran aporte en los lugares donde se encuentren contaminados con presencia de metales pesados y de una forma u otra estos dañen los cultivos y la salud de los pobladores, para esto podemos utilizar el compost o biochar para así disminuir o reducir la presencia de estos contaminantes, generando así una mejor salud y calidad de vida hacia las personas habitantes en los distintos departamentos del Perú, contribuyendo socialmente con una nueva cultura con menos contaminación y técnicas más

eficientes sobre el tratamiento y remoción de metales en las futuras generaciones. Si bien los metales pesados vendrían siendo un problema no solo en los cultivos sino también en la salud humana, estos métodos serían ideales para reducir los niveles de contaminación en el ambiente y generar así un lugar más sano y natural donde se pueda interactuar con la naturaleza de una manera directa y sin necesidad de tener que estar preocupándose en los problemas que puedan haber en el lugar, en el aspecto práctico el compost y biochar son muy eficientes en el aspecto de remover y reducir los metales pesados donde se podría aplicar en los lugares más afectados donde se necesite un buen manejo ambiental. De este modo estaríamos brindando teóricamente nuevos conocimientos que la población hasta el momento pueden desconocer puesto que la contaminación por metales pesados es muy común en lugares donde se realiza la minería, de acuerdo a ello se puede mejorar la economía en el país ya que estaríamos optando en una técnica muy eficiente y a la misma vez práctica que se genera a base de residuos de cosechas o inculcando la poda de árboles se podría utilizar dicha poda para la generación de estos productos, logrando dar trabajo a los pobladores, mejorando las cosechas y a la misma vez brindar un ambiente más saludable y sano para la población y el país.

Nuestro objetivo general en dicho trabajo de revisión es “Comparar la eficiencia entre biochar y compost para la inmovilización de metales pesados en suelos agrícolas” planteando así los problemas específicos “Identificar si las características fisicoquímicas del compost y el biochar inmovilizan los metales pesados en los suelos agrícolas”, “Identificar si la variación de la dosis de Biochar y Compost influyen en la inmovilización de metales pesados en suelos agrícolas” y Determinar las condiciones del pH en el proceso de inmovilización de metales pesados en suelos agrícolas tratados por biochar y compost.

Como hipótesis general tenemos que: la eficiencia del biochar será más alta que la del compost para la inmovilización de metales pesados en suelos agrícolas, y como hipótesis específicas: las características fisicoquímicas del compost y el biochar ayudaran positivamente a la inmovilización de los metales pesados en suelos agrícolas, la variación de la dosis de biochar con respecto al compost influirán en la inmovilización de metales pesados en suelos agrícolas y las

condiciones del pH influirán en el proceso de inmovilización de metales pesados en suelos agrícolas tratados por biochar y compost.

II.MARCO TEÓRICO

Según Meddeb, Hassine, et al. (2018) en su artículo científico titulado "Effects of biochar and compost on a heavy metal moderately polluted urban farm soil" el cual tiene como objetivo determinar el efecto de biochar, compost y su mezcla sobre la disponibilidad de metales pesados y la actividad biológica del suelo. Menciona que el uso de biochar y compost son subproductos derivados de materia orgánica, los cuales forman parte de una atractiva alternativa para la eficaz recuperación de los suelos contaminados por metales pesados y ayudando así a su mejora de fertilidad y productividad de los suelos. Consideran que dichos subproductos contienen grandes cantidades de C orgánico (+50%), generalmente contienen el pH elevado y una gran porosidad lo que conlleva a tener superficies relativamente absorbentes de metales pesados. El método experimental comprendió la toma de una muestra de suelo de un huerto urbano con alta presencia en metales pesados, el biochar que utilizaron fue obtenido de restos de madera de pino mediante un proceso de pirólisis a 600° durante 20 minutos, el compost fue procedente de lodos de la depura urbana. Luego de rellenar macetas con dicha mezcla se sembró una planta de lechuga y a los 27 días de la siembra se tomaron las respectivas muestras para determinar las actividades enzimáticas fosfatasa, glucosidasa, deshidrogenasa, y urea. a los 52 días se determinó la biomasa en húmedo y seco y se analizó la cantidad de metales. Los resultados dieron a conocer que el crecimiento de las raíces de la lechuga eran menores en las muestras que no se utilizó enmiendas lo cual representa un 33% de significancia de remoción de metales pesados, concluyeron que, la aplicación conjunta de biochar y compost es más efectiva para la mejora de propiedades del suelo y el rendimiento de cultivos. La aplicación de biochar y compost tuvieron efectos muy relacionados a los que genera un compost procesado, puesto que dio una reducción significativa de la disponibilidad de metales tomando en cuenta que dichos productos son de la reutilización de la materia orgánica presente en los lugares con presencia de dichos contaminantes. Considerando que dicho trabajo de investigación traería un gran aporte puesto que nos indica que efectivamente el biochar y compost ayudan con la remoción de metales pesados ayudando así con el desarrollo de los cultivos.

En el artículo científico de tipo revisión sistemática titulado "Enmiendas orgánicas en la inmovilización de cadmio en suelos agrícolas contaminados: una revisión" en el cual su objetivo es el empleo de las enmiendas orgánicas en la inmovilidad del cadmio en suelos agrícolas contaminados. Ponen como solución, la implementación de enmiendas orgánicas tales como, biochar, compost, estiércol, residuos de subproductos inutilizable, ya que son considerados como una fuente que estabiliza e inmoviliza de una forma "in situ" los metales pesados ya que la mayoría de enmiendas orgánicas disminuye la cantidad de metales para los cultivos y plantas, por medio de la adsorción, precipitación y formación de complejos. Estas forman una capa de recubrimiento en la superficie y en la sub superficie los cuales funcionan como aglomerantes metálicos el cual tiene la capacidad natural de retener metales pesados. De acuerdo a ello, en los trabajos presentados concluyeron que dichas enmiendas orgánicas toman el papel fundamental para la inmovilización de metales pesados en suelos agrícolas contaminados, también consideran que es una forma de biorremediación más rápida, factible, económica, rentable y amigable con el medio ambiente (Huaraca, Pérez et al, 2020, p. 70). Por ello, la inmovilización de metales pesados sería una alternativa bastante factible ya que se realiza "in situ" con productos orgánicos degradables.

Venegas Sepúlveda, Andrea (2015, p. 1) publicó un artículo científico titulado "Evaluación de la adición de materiales de origen orgánico para la remediación de suelos contaminados por metales pesados" donde realizan una evaluación de enmiendas orgánicas las cuales servirían para la inmovilización de metales pesados que se encuentran en presencia de los suelos, se pudieron obtener materiales como: compost de residuos orgánicos municipales, compost de origen doméstico, compostado producido por residuos sólidos urbanos, compostado de residuos vegetales, y dos biochars. Por un lado, se tomaron los análisis de las propiedades principales que tienen los metales pesados en el suelo, así como el pH, capacidad de neutralización ácida, contenido de materia orgánica, etc. También se evaluaron cual es la capacidad de sorción que tienen los metales tales como: Cd, Cu, Ni, Pb, y Zn; mediante análisis de coeficiente de distribución sólido y líquido a concentraciones crecientes de metal en el cual los valores presentados indican valores elevados de ANC (4200 y 7100 meq -1) lo

cual representa que la sorción es del 90% entre el metal y la materia. A partir de ello se realizaron análisis para la eficacia de la disminución de los metales pesados en el suelo. Dichos suelos se sometieron a ensayos de lixiviados para así poder observar los metales extraíbles en un intervalo de pH, los suelos fueron caracterizados de acuerdo al pH, ANC y DOC para así poder observar los cambios que se producen al adicionar las enmiendas orgánicas. Se observó que los materiales que contienen un contenido orgánico elevado y el pH ligeramente ácido mostraron una capacidad de adsorción inferior a los que tenían pH elevado y bajo contenido orgánico disuelto (DOC). Por ello se considera que las enmiendas orgánicas tuvieron un resultado más favorable que al que se realiza de un proceso natural.

Ante la problemática de suelos contaminados Obaji, Romero, et al. (2017, p. 10) en su artículo científico “Evaluación de materiales como potenciales retenedores de metales pesados para su aplicación como enmiendas en suelos contaminados”, realizaron la investigación de 10 materiales orgánicos enmendadores de metales pesados. Se utilizaron Lombri-abono, estiércol de burro, estiércol de vaca, binde, árbol descompuesto, aserrín, cascarilla de arroz, fibra de coco, piedra pómez, y biochar. Posteriormente cada uno de ellos fue secado a 70° por 24 horas, el cual fue molido y tamizado en una malla de 200µm para que las partículas obtenidas sean homogéneas y no tengan algún tipo de diferencia o alteración en los resultados. Los ensayos se dieron en columnas de 50 mL con dimensiones de 15 cm de largo y 1 cm de diámetro, a cada una de las columnas se les introdujo 1gr de fibra de vidrio para que no haya pérdida del material y se le agregó 25 ml de material correspondiente. Se dejó durante un tiempo de 15 días y el lixiviado obtenido fue utilizado para realizar la determinación de dichos metales por medio de espectrometría de absorción atómica por llama con previa digestión ácida asistida por microondas mediante el método EPA 3015a. Donde pudieron identificar que el lombriabono, la piedra pómez, y el biochar tienen un alto potencial para ser utilizados como enmiendas en suelos contaminados por metales pesados como Pb, Cd, y As ya que cuentan con formas recalcitrantes y logran la sorción de metales pesados.

En el trabajo realizado “Aplicación de Biochar de Rastrojos Vegetales para la Inhibición de la Biodisponibilidad de Cadmio (Cd) en Suelos Contaminados -

2017” Panez, Lizeth (2017, p. 8), tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de la aplicación de biochar de rastrojos vegetales en la inhibición de la biodisponibilidad de cadmio (Cd) en suelos contaminados, para ello se evaluó la temperatura de pirólisis para determinar el cambio de pH al contacto con el agua. Dicho proceso tuvo una temperatura de 700°C donde el pH del biochar resultó alcalino con 10,12. La concentración del metal contaminante (Cd) en el suelo y en el agua se determinaron mediante la técnica de ICP, las muestras que se tenían se mezclaron equitativamente con el biochar aproximadamente con un 10 y 20% por peso del suelo original con presencia de cadmio. Dicho proceso fue parcialmente humedecido por 26 días de una forma continua y controlada, de modo que se almacenó un promedio de un litro de lixiviados donde se pudo cuantificar la presencia de cadmio. Por lo que los resultados obtenidos dieron a conocer que el biochar a un 20% tenía una retención de cadmio en el agua de un 92.3%, mientras que con la aplicación de 10% la retención era de 84.6%. Por lo que se llega a la conclusión de que las propiedades del biochar son buenas para inhibir y retener los metales pesados presentes en suelos contaminados. Así se podría controlar de una manera eficiente los suelos con presencia de metales pesados.

Yin, et al. (2015, p. 24) en su artículo científico "Effects of organic amendments on rice (*Oryza sativa* L.) growth and uptake of heavy metals in contaminated soil" el cual fue un artículo experimental el cual tuvo como objetivo investigar los cambios dinámicos de la solución del suelo y los mecanismos por los cuales la torta de colza (RSC) inmovilizaban Cd y Cu en el sistema suelo-arroz. Se llevó a cabo un experimento en maceta de invernadero que duró 5 meses a lo largo de la temporada de aumento del arroz (*Oryza sativa* L.) para deducir los efectos de 3 enmiendas orgánicas (material de carbono orgánico (OCM), RSC y PM de estiércol de cerdo) para la inmovilización de los metales pesados. Se dio a conocer que el Cd, Cu y Zn total y extraíble con CaCl₂ en diferentes piezas del cultivo de arroz, además del pH, el carbono orgánico disoluble y el Cd, Cu, Zn y N totales en la solución del suelo. Luego de la aplicación de RSC y PM a este suelo contaminado, la concentración de DOC en la solución del suelo a partir de la fase previa al macollamiento hasta la fase de arranque incrementó, y después redujeron las concentraciones de metales pesados solubles en el suelo; por

consiguiente, el decrecimiento de la biodisponibilidad da como consecuencia el decrecimiento de las concentraciones de Cd y Cu en el arroz integral. La aplicación de RSC disminuyó las concentraciones de metales pesados en la solución del suelo en los periodos previa al macollamiento y macollamiento una vez que el cultivo de arroz era sensible al estrés por metales pesados y terminó en un más grande rendimiento de grano y menores concentraciones de Cd y Cu en el arroz integral. Luego de la aplicación de RSC y PM a este suelo contaminado, la concentración de DOC en la solución del suelo a partir de la fase previa al macollamiento hasta la fase de arranque incrementó, y después redujeron las concentraciones de metales pesados solubles en el suelo; por consiguiente, el decrecimiento de la biodisponibilidad da como consecuencia el decrecimiento de las concentraciones de Cd y Cu en el arroz integral. En conclusión, la aplicación de RSC terminó en un incremento de la concentración de DOC y DON en la solución del suelo del cultivo de arroz, lo cual disminuyó las concentraciones de metales pesados en la solución del suelo y redujo la biodisponibilidad de los metales pesados.

El suelo usado en este experimento ha sido muestreado en las cercanías del área contaminada por una fundición de cobre. El experimento de la maceta se hizo en suelo (calculado sobre la base del peso seco del suelo). Las macetas se llenaron con 9 kilogramos de suelo. Además, se instalaron 3 macetas de control sin enmiendas. Las macetas se regaron y almacenaron en un invernadero, donde se dejaron reposar un mínimo de 6 semanas a temperatura ambiente antecedente de sembrar la papa. Las plantas de papa se cultivaron en una cámara climática a lo largo de 56 días con riego regular y rotación aleatoria de la postura de las macetas. Luego de 56 días, se cosecharon cada una de las plantas. Las plantas se limpiaron y lavaron bajo piezas constituyentes: raíz, papa (cáscara y tubérculo), hojas y tallos, y se analizan por separado. El contenido de cadmio en las raíces incrementó con cada una de las enmiendas usadas en los experimentos. Contenido de cadmio tendido reducir en tallos y hojas una vez que se trata con las enmiendas. La exclusiva exclusión ha sido la situación donde se aplicó una enmienda de turba al 5%, en cuyo caso el contenido de Cd en tallos y hojas incrementó en un 58% y 33%, respectivamente. El incremento de las dosis de compost, vermicompost y turba condujo a una disminución del

contenido de Cd en la papa tubérculos en hasta 0.011 miligramo / kilogramo (10% de compost), 0.016 miligramo / kilogramo (10% de vermicompost) y 0.029 miligramo / kilogramo (10% de turba) y estas concentraciones están por debajo de la concentración permitida. Como conclusión tuvieron que el uso de enmiendas es más efectivo después de un 10% de adición, por lo que las enmiendas aumentan el rendimiento de almidón, por lo que el estudio de enmiendas orgánicas requiere de análisis más a fondo puesto que es una gama amplia de cultivos agrícolas (Angelova, et al, 2017, p. 54).

Sankar, et al. (2015, p. 40) menciona en su artículo científico "Organic Soil Amendments: Potential Source for Heavy Metal Accumulation" que el experimento de campo se hizo con diversidad de arroz en cromo contaminado, suelo mezclado con distintas enmiendas. En medio de las enmiendas, el suelo mezclado con Azospirillum funcionó de una mejor forma. El orden de incremento y el rendimiento del rendimiento se informó en el cultivo en el suelo contaminado mezclado con la enmienda, se informó el incremento y el rendimiento de la cosecha de maíz cultivada en cromo cultivo que se realizó en suelo contaminado mezclado con distintas enmiendas. El más grande aumento y rendimiento de la cosecha de arroz se registraron en el suelo mezclado con Azospirillum seguido de bonote compostado nutrientes bastante fundamentales para el incremento de los cultivos. Azospirillum uno de los biofertilizantes no solo corrige nitrógeno, sino que además beneficia a las plantas al proporcionar hormonas de aumento y vitaminas. La inoculación de Azospirillum mejoró el estado hídrico en plantas estresadas. Se puede concluir que la mitigación del suelo contaminado por medio de la utilización de inoculantes microbianos minimiza la toxicidad de los metales pesados e incrementa el desarrollo de las plantas por medio del abastecimiento.

El biochar es un carbón vegetal que se da después de la descomposición térmica de la materia orgánica, donde su suministro de oxígeno es limitado y su temperatura media (<700°C). Este producto es muy difícil de precisar puesto que se puede producir con diferentes tipos de materias primas orgánicas, las cuales se pueden utilizar como enmiendas orgánicas ya que tienen propiedades físicas, químicas, biológicas que interactúan captan nutrientes y fijando carbono

atmosférico sobre las plantas y el suelo, lo que incrementa el rendimiento de los cultivos (Guerra, Patricia, 2015, p. 17).

La composición de esta enmienda orgánica se da de acuerdo a la materia orgánica que sea empleado, los cuales contienen oxígeno (O), hidrógeno (H), azufre (S), cationes básicos, metales pesados y de compuestos orgánicos, los cuales tienen presencia debido a que muchos de ellos son absorbidos y desplazados por las plantas, por ello es sugerible que se analice la materia prima antes de su producción y aplicación del biochar. Según estudios realizados previamente dicha enmienda orgánica tiene los diferentes análisis próximos para su producción:

Gran contenido de Humedad ya que contiene un material higroscópico, el cual logra una gran cantidad de absorción de humedad en el medio donde se encuentra, posee contenido de material móvil y/o volátil por el hecho que puede ser removido mediante degradación microbiana o por lixiviación en el suelo, contenido de ceniza lo cual es la fracción no orgánica libre de humedad, lo cual se considera como un indicador de nutrientes y contenido de carbón fijo que es el análisis del biochar antes de convertirse en carbón puro, sino todo lo que no es ceniza y no se volatiliza a 950°C. A partir de ello sus propiedades físico químicas del biochar son:

El pH es una característica determinante sobre los efectos de la relación suelo - biochar - planta, especialmente cuando el biochar alcanza un equilibrio con el dióxido de carbono y puede convertir hidróxidos alcalinos en carbonatos, estabilizando el pH de la muestra.

Esta característica es fundamental para determinar la adsorción y desorción de nutrientes, particularmente el biochar tiene una baja retención de cationes, pero con el transcurso del tiempo esta enmienda aumenta sus grupos funcionales, sumando su carga negativa y por ello el aumento de la CIC (Capacidad de Intercambio Catiónico).

Esto representa una medida total del contenido tales como sales disueltas, por lo general el biochar contiene una gran cantidad de cenizas por lo que la probabilidad de elevar los sólidos totales disueltos es mayor.

El compost se puede definir como, proceso biooxidado, conversión, descomposición y fermentación biológica que se da bajo condiciones controladas y aeróbicas de los residuos orgánicos, lo cual permite una producción orgánica homogénea, cuya cualidad depende mucho del tipo de materia prima orgánica, técnica y tiempo del proceso de compostaje (Cabrera, Victor, 2016, p. 13).

Se da por la desintegración de materia orgánica mediante acción de microorganismos, los cuales alteran su estructura molecular. Esto se da de acuerdo al tiempo de descomposición, donde se pasa por un proceso de Mesófila (fase inicial), Termofilia (aumento de temperatura y degradación de material), Enfriamiento (los hongos termófilos degradan la celulosa) y Maduración (fase final donde se da el proceso de fermentación, 20 días). lo cual forma el grado de madurez y la degradación completa generando así la descomposición de moléculas orgánicas y dióxido de carbono, residuos orgánicos inertes o minerales que se vierten a las características del suelo, microorganismos y plantas. (Barrena, Raquel, 2006, p. 35) indica que el compost necesita de condiciones óptimas para poder obtener un compost de calidad, entre ellas están:

En la Relación Carbono Nitrógeno, es el proceso en el que se indica la efectividad que tiene el proceso en la descomposición él las cuales se indican las cantidades de nitrógeno y carbono y su consumo de oxígeno lo cual se genera en condiciones anaeróbicas lo cual genera los malos olores.

La aireación es la cantidad de oxígeno que presenta el compost, en su etapa inicial el oxígeno que presenta es de 15-20%, a medida que el proceso avanza el oxígeno disminuye por lo que sí es menor a 5% se genera condiciones anaeróbicas y si es mayor a 10% las condiciones son adecuadas.

Por otro lado, la temperatura es una condición que se debe de controlar ya que es una forma directa de interactuar con microorganismos asociados, de esta forma poder mantener la actividad microbiana con un eficaz rendimiento dependiendo a la fase que presenta dicha descomposición.

Cuenta con Sustrato los cuales se consideran residuos orgánicos que tengan estructuras químicas simples ya que son más fáciles de asimilar por las

bacterias, por ello el compost no debe poseer residuos inorgánicos que tienden a ser muy difíciles de asimilar para las bacterias que se encargan de la descomposición del proceso.

Su humedad cuenta con características que se controla de acuerdo a la materia orgánica, para evitar así el exceso de generación de lixiviados. El rango más óptimo de humedad en la producción del compost oscila entre 40-60%.

Posee un pH el cual es un indicador que se tiene durante el proceso de compostaje, el cual disminuye en la fase inicial causado por la generación de ácidos orgánicos y dióxido de carbono, posteriormente se eleva ya que se libera dióxido de carbono y aireación que hay en la degradación de sustratos.

Para (Kheats, Jon, 2016, p. 26) la inmovilización de los metales pesados en el suelo se da por actividades biológicas y las interacciones que se dan sólido-líquido, los cuales pueden presentar diferentes procesos en forma soluble o lavado. Muy a parte de la inmovilización natural también se pueden utilizar técnicas que aceleran de cierto modo la inmovilización de dichos metales presentes en los suelos.

Se les podría llamar metales pesados a sustancias propias de la naturaleza las cuales se desprenden de una forma natural o de forma antropogénica, dichos metales pueden ser muy útiles en algunos casos, por ejemplo, el plomo en tuberías. Por otro lado, pueden ser muy perjudiciales no solo para el medio ambiente sino también para la salud, ya que su presencia en el suelo puede significar una gran alteración para los cultivos los cuales podrían afectar de diferentes formas los órganos de las personas (Aróstegui, Carlos, 2014, p. 11).

Los suelos agrícolas son aquellos que utilizan la productividad de cultivos y plantaciones, es decir, para toda actividad agrícola o para la agricultura. Dichos suelos contienen un valor óptimo de pH que va de 6 a 7.5 el cual es un valor eficaz para el desarrollo y crecimiento de las plantas. (Muhammad, Karen, 2015, p. 9) A partir de los componentes que tiene el suelo pueden ser muy eficientes y contribuir positivamente en la calidad y producción agropecuaria (Acosta, Carlos, 2014, p. 4).

III. METODOLOGÍA

3.1 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. Tipo

La investigación es de tipo aplicada, y tiene un enfoque cualitativo ya que se presentan características de las categorías que tiene la investigación. Dicha investigación utiliza recolección y análisis de datos, para poder aclarar las preguntas de investigación y poder argumentar nuevas dudas sobre el proceso que tiene la investigación (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p. 38). Dicho eso, la investigación es de tipo aplicada, ya que solamente realizaremos una síntesis de la evidencia que se recolecta y no se harán pruebas pre experimentales no experimentales.

3.1.2. Diseño

Para (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p. 39) indica que la investigación utilizó un diseño narrativo ya que el proceso consiste en la recolección de información narrativa sobre experiencias que tienen coherencia con el planteamiento del problema, para así poder el desarrollo general que tengan las narrativas individuales. Es por ello que, al usar esta información narrativa extraída de estudios de artículos científicos, y sólo canalizar información objetiva sobre inmovilización de metales pesados, se puede definir que nuestra investigación usó este diseño.

3.2. Escenario de estudio

Según Ortiz et al. (2016, p. 16), el escenario de investigación es aquel que permite al investigador relacionarse e interactuar con el fenómeno estudiado, de acuerdo a ello el escenario de investigación se considera los espacios como artículos científicos con alta relevancia, sobre inmovilización de metales pesados. Debido a esto se debe de respetar los criterios que se establecieron en los criterios y subcriterios que se plantearon en la investigación. Ya que la naturaleza del estudio está conformada en información de centros que brindan información sobre la inmovilización de metales pesados, dichos espacios cuentan con muestras de suelo, parámetros fisicoquímicos entre otros análisis informativos que sirven para evaluar la eficacia del tratamiento.

3.3. Participantes

En la investigación cualitativa realizada por (Wiltheing y Bernan, 2017, p. 7) se describe que se le considera participantes a todos aquellos medios por los cuales se puedan determinar algún hecho o estudio. En la presente investigación consideramos participantes a todas aquellas fuentes que nos brindan información tales como artículos de revistas de ScienceDirect, Scopus, Web of science, Dialnet, ResearchGate, Google Academico y Scielo, ya que por medio de ellos podemos encontrar una gran cantidad de artículos que cuentan con estándares de calidad de revisión, también se consideró libros electrónicos que tienen una revisión por entidades que mejoran en gran cantidad la validez del contenido para tener así un mejor citado en la metodología de la investigación.

3.4. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Técnica

Cabe recalcar que la técnica que se usada para el análisis documental de la información que se adquirió de cada uno de los artículos, mejor dicho, de todos los análisis documentales, con el único fin de sintetizar dicha información y poder responder con los objetivos específicos y objetivo general. El análisis documental nos da a conocer la organización en que se encuentran los documentos que se encontraron dentro de la internet empezando por el análisis de conocimientos que están dentro de cada uno de estos medios informativos (Luna, 2015, p. 23). Ya que al hacer un análisis documental se puede sintetizar y hacer más simple el trabajo de distintos autores sobre un tema en particular, es por ello que para la recolección de datos se debe de adquirir los resultados, conclusiones y recomendación de los artículos científicos.

3.4.2. Instrumentos

Según (Bernal, 2018, p. 49), indica que para que un instrumento de recolección de datos sea útil, debe ser aquel que, de acuerdo a su naturaleza de contenido, nos expresa abreviadamente el desarrollo de los participantes en el escenario de una investigación. Por ello el instrumento de esta investigación se centra en los artículos que se han revisado donde indican posibles soluciones al problema de estudio, esclarecer los objetivos, el análisis de las categorías y subcategorías, por ellos se han evaluado distintas recomendaciones, conclusiones y resultados

de artículos que presentan una antigüedad no menor a 5 años, ya que presentan información actualizada sobre el tema de estudio y derivar los siguientes instrumentos:

- Eficiencia de biochar y compost para el control de metales pesados.
- Concentración de remoción de metales pesados en los suelos agrícolas.
- Métodos de biorremediación para la inmovilización de suelos agrícolas.

Para (Ortiz, et al. 2016, p. 20) es importante tener validados nuestros instrumentos para así contar con más claridad la problemática de nuestra investigación, ya que para ello se necesita de la garantía de expertos que conocen sobre el tema brindando datos de manera proporcional y adecuada.

3.5. Procedimiento

Para lograr el proceso de investigación se analizaron las siguientes palabras claves: "comparación", "compost", "biochar", "metales pesados" y "suelos agrícolas". Para ello se establecieron diferentes tipos de procedimientos y múltiples criterios que nos permitieron organizar y estructurar la información. Primeramente, se priorizó el criterio sobre la fuente de información, seguido de ello analizamos el criterio de búsqueda de información y por último el criterio de selección de artículos relevantes.

- La selección de buscadores y bases de datos que tengan alta confiabilidad.
- Buscar información que tenga relación con el trabajo de investigación.
- Búsqueda de artículos sobre inmovilización de metales pesados con biochar y compost.
- Excluir artículos que no cumplan con los requisitos que pide la investigación.
- Incluir artículos que tengan información que aporte con la investigación.
- Incluir artículos pre evaluados, que hayan pasado con estándares de calidad de información.
- Sintetizar la información obtenida y recolectada de los artículos.

3.6. Rigor Científico

Esta investigación científica cumple con el rigor científico de dependencia, puesto que lleva una gran similitud a otras investigaciones sobre inmovilización de metales con agentes orgánicos (Baptista, 2014, p. 78). La credibilidad se da ya que se realiza a través de observaciones y estudios que se dieron a largo plazo en los artículos científicos que se revisaron durante el estudio, recogiendo información que brinda conocimientos y sintetiza la naturaleza de nuestra investigación. Por consiguiente, nuestra investigación cumple con una gran credibilidad ya que cuenta con información consistente y bien argumentada, además que al momento de parafrasear se ha hecho con una mayor exactitud, mejorando lo que argumentaba el autor, permitiendo de este modo profundizar la información para obtener información adicional y concreta de una mejor calidad a la investigación anteriormente realizada.

3.7. Método de análisis de datos

Se tuvieron como principal fuente de análisis el Compost y Biochar los cuales cuentan con cualidades para biorremediar suelos contaminados con metales pesados mediante absorción, adsorción, volatilización y traslocación. Por otro lado, se tomó en cuenta el grado de eficacia y el tiempo que dura el proceso para inmovilizar dichos metales. Para el análisis de dicha información se recolectaron fuentes que se obtuvieron de artículos científicos que provienen de ScienceDirect, Scopus, Web of science, Dialnet, ResearchGate, Google Académico y Social, Por lo que no se tomó en cuenta artículos que no cuenten con información precisa ya que se prioriza a contestar nuestra pregunta general y los objetivos planteados en la investigación.

3.8. Aspectos Técnicos

Para la investigación se tomó aspectos éticos tales como: Citar a los autores que contaban con la información correspondiente obtenidos de los artículos científicos y se citó correctamente la página de la información extraída, se parafraseo de una forma adecuada y se respetó los ideales del autor, respecto a ello las referencias se hicieron de acuerdo al estilo ISO 960 - 2. Se cumplieron con los códigos de ética de la Universidad César Vallejo - 2021 que se establecen en la Resolución de Consejo Universitario N° 0262-2020/UCV.

IV. RESULTADOS

Luego de las revisiones investigadas se llegó a los siguientes resultados:

Identificar si las características fisicoquímicas del compost y el biochar inmovilizan los metales pesados en los suelos agrícolas.

4.1 Se lograron identificar las siguientes condiciones fisicoquímicas que cooperan con la inmovilización de metales pesados: Compost (pH, conductividad eléctrica, relación carbono/nitrógeno, materia orgánica, temperatura y textura); Biochar (pH, intercambio catiónico, conductividad eléctrica y temperatura). (Figura 1)

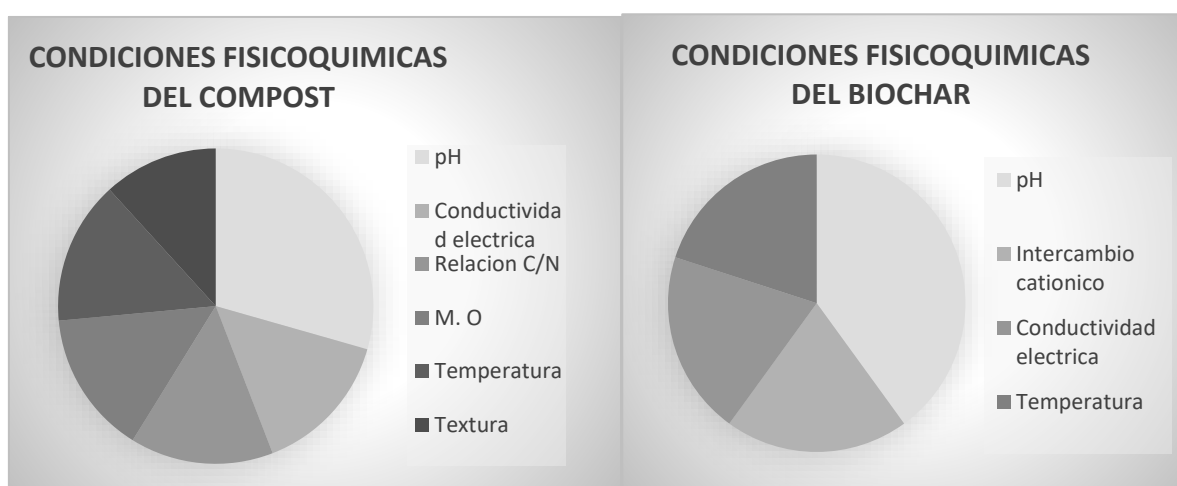


FIGURA 1. Condiciones fisicoquímicas del biochar y el compost.

FUENTE: *Revisión Sistemática: Estudio comparativo entre Biochar y Compost para la Inmovilización de Metales Pesados en Suelos Agrícolas, 2021.*

INTERPRETACION: Como se puede observar en las figuras, las características fisicoquímicas que cuenta el compost son mejores que las del biochar, las cuales tienen mejor eficiencia en el control de metales pesados como: Plomo, Cobre, Niquel, Cadmio, Zing y Cianuro.

Identificar si la variación de la dosis de Biochar y Compost influyen en la inmovilización de metales pesados en suelos agrícolas

4.2. Se identificaron distintas variaciones que se aplican en el proceso de inmovilización de metales pesados. En la mayoría de información poseen cantidades de: compost (05%, 10%, 20%, 25%); biochar (05%, 10%, 15%, 20%). (Figura 2)

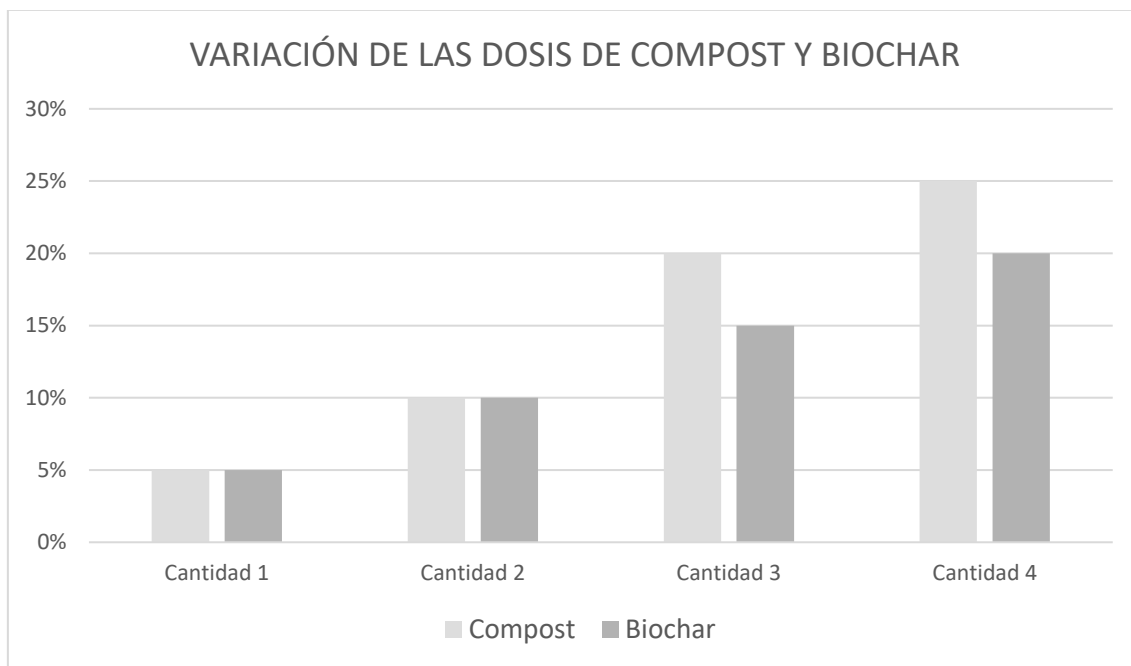


Figura 2. Variación de dosis de biochar y compost.

FUENTE: *Revisión Sistemática: Estudio comparativo entre Biochar y Compost para la Inmovilización de Metales Pesados en Suelos Agrícolas, 2021.*

INTERPRETACION: Se muestra que la variación de las dosis que se aplican en los suelos contaminados por metales pesados no es muy significativa, ya que para ambas enmiendas se utilizan casi las mismas cantidades, en las fuentes bibliográficas que nos basamos se puede notar que utilizaron dosis de 5% y 10% las cuales se considera que son cantidades comunes a utilizar, por otro lado en las siguientes cantidades la variación no fue mucha ya que en compost lo elevaron un poco a 20% y 25% mientras que en biochar fueron de 15% y 20%.

Determinar las condiciones del pH en el proceso de inmovilización de metales pesados en suelos agrícolas tratados por biochar y compost

4.3 Las condiciones de pH que se han dado en los distintos medios de información varían de entre 4.8 y 7. (Figura 3)

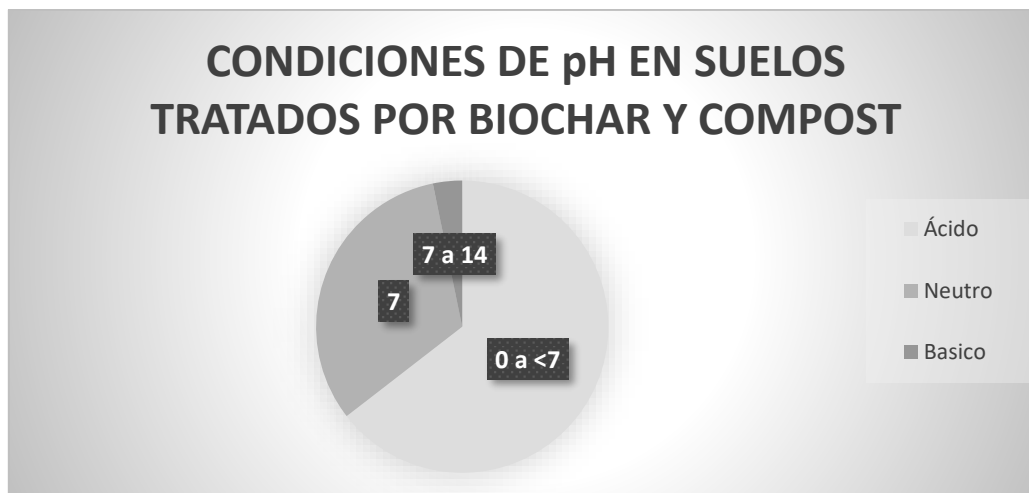


Figura 3. Condiciones de pH en suelos tratados por biochar y compost.

FUENTE: *Revisión Sistemática: Estudio comparativo entre Biochar y Compost para la Inmovilización de Metales Pesados en Suelos Agrícolas, 2021.*

INTERPRETACION: Mayormente como se muestra en el grafico el pH que se obtiene de los suelos contaminados por metales pesados tiende a ser ácido, en nuestras revisiones pudimos encontrar que el proceso en el que se realizó con un pH más ácido fue el de 4.8, mientras que, el menos ácido fue de un pH de 7; por lo que se considera que determinar el parámetro de pH en este tipo de experiencias es muy importante para poder determinar la movilidad del catión y por ende la solubilidad e inmovilización de dichos metales.

V. DISCUSIÓN

Las características fisicoquímicas que poseen el biochar y el compost tienen un alto potencial inmovilizador de metales pesados ya que cuentan con: Compost (pH, conductividad eléctrica, relación carbono/nitrógeno, materia orgánica, temperatura y textura); Biochar (pH, intercambio catiónico, conductividad eléctrica y temperatura), donde se puede observar que el compost posee propiedades más conservadas y que inmovilizan ligeramente más que el biochar, Meddeb et al. 2018 en su trabajo realizado tuvo por objetivo el control de Cu, Pb y Zn, donde indica que todo subproducto de materia orgánica es muy eficaz para mejorar la fertilidad de los suelos, ya que contienen una gran cantidad de carbono orgánico, pH alcalino y una gran porosidad, lo que conlleva a ser una enmienda relativamente absorbente a metales pesados, llegando a resultados de hasta un 33% de remoción. Mientras que Contreras et al. 2021 analizaron tres muestras con niveles de Pb muy elevados, el cual realizaron el análisis a los 90, 180 y 270 días donde se pudo llegar a los resultados donde indican que a los 90 días tenía mejor control del contaminante, mientras que a los 180 y 270 algunas muestras no presentaban ningún tipo de control, por lo que indicaron que las características fisicoquímicas que poseen estos subproductos podrían llegar a perderse después de los 100 días de aplicación y podrían generar que se dé un incremento del contaminante. También se pudo identificar que el biochar no solo inmoviliza los metales pesados, si no que contiene características fisicoquímicas muy eficaces para eliminar herbicidas que se utilizan en los cultivos y en otras actividades, así como dice Carranza y Rejano 2020, donde encontraron que, mientras hacían los experimentos a nivel de laboratorio para inmovilizar Plomo, la presencia de Atrazina también fue controlada gracias a que el biochar posee un pH alcalino, intercambio catiónico, conductividad eléctrica y temperatura que ayudan a remover desde un 77% hasta un 100% la Atrazina y un 81.89% la presencia de plomo.

La variación de las dosis es muy importante, ya que van entre 5% hasta 25% en cada una de las enmiendas; en las cuales, tienen mayor eficiencia a partir del 10% de la aplicación; Navarro, et al. 2018, en su trabajo realizó utilizó biochar a 500°C durante 20 minutos para inmovilizar Cu, Ni, Pb y Zn, aplicando una dosis de 5% y 10% durante 20 días de encubamiento para lograr un resultado al 5%

de Cu43%, Ni55%, Pb61% y Zn58%; mientras que en la muestra de 10% indican que no se encontró diferencias significativas, Puquino y Villegas 2019 comentan que utilizaron residuos orgánicos agrícolas, forestales y municipales para llevarlo a 800°C durante 30 y 40 minutos en el cual tenían como objetivo inmovilizar Pb con una adición de 10%, donde los resultados actuaron con una eficiencia de 50.29% de remoción del contaminante. Ramos 2019 considera que mientras más temperatura tenga la pirolisis la eficiencia es menor ya que en su trabajo realizó análisis a 3 distintas temperaturas las cuales fueron a 200°C, 400°C y 600°C para lograr la inmovilización de Cianuro, en el cual obtuvo una remoción de 41.88% a 200°C, 27.56% a 400°C y 17.75 a 600°C, a comparación de Panéz 2017, utilizó una temperatura mayor que es de 700°C para inmovilizar Cd con dosis de 10% y 20% durante 26 días para obtener al 20% una remoción de 92.3% y al 10% se logró 84.6%. Por lo que se podría decir que todo depende del tipo de materia orgánica que se utilice para la obtención del biochar y también el tipo de contaminante que se desee inmovilizar. Vavarro, et al. 2018 utilizó en su experimento compost a base de depura y restos de poda para inmovilizar Cu, Ni, Pb y Zn con una dosis de 5% y 10% dejando durante 25 días de encubamiento, donde obtuvieron como resultado al 5% (Cu47%, Ni58%, Pb62% y Zn59%) mientras que al 10% los resultados fueron mucho más eficientes (Cu74%, Ni94%, Pb95% y Zn91%), así también al igual que la anterior referencia, Angelova et al. 2018 también realizó el experimento con dosis de 5% y 10%, pero a diferencia de la anterior se realizó con un encubamiento de 56 días, donde se llegó a los resultados que al 5% se logró un 33% de remoción mientras que al 10% obtuvieron un 58% de control del contaminante. En ambas experiencias llegaron a la conclusión de que el uso de la enmienda era mejor después de un 10% de dosis aplicada.

Se observa que las condiciones de pH en dicho proceso tienden a ser muy importantes, ya que de acuerdo a ello, se puede medir la movilidad del catión y determinar la solubilidad e inmovilización de dichos metales pesados. Tal y como dice Carranza y Rejano 2020, el compost inmoviliza con mucha eficiencia el Pb, Cd y Cr a pesar de que se realiza en condiciones de pH ácidas que va de entre 4.8 hasta 7, por lo que contribuyen que tiene una eficiente capacidad de sorción ya que cuenta con la capacidad de formar enlaces y su electronegatividad pasan

a ser factores importantes en dichos desarrollos experimentales. Venegas 2015, considera que los metales pesados contienen pH y capacidad de neutralización bastante ácida, y que dicho control de contaminantes es mejor cuando el pH es ligeramente ácido, ya que considera que mientras el pH sea más ácido, el contenido orgánico disuelto debería ser más elevado puesto que el proceso se da de una manera más natural.

VI. CONCLUSIONES

Las características fisicoquímicas que poseen el biochar y compost son muy eficientes para la inmovilización de metales pesados que contaminan los suelos agrícolas, a diferencia del biochar las características que cuenta el compost son más conservadas ya que su proceso es de una manera más natural, sin embargo, la eficiencia que tienen ambas enmiendas orgánicas para dicho proceso no es muy significativa, por ello se podría decir que las características fisicoquímicas si ayudan positivamente a la inmovilización de metales pesados.

La dosis que se aplica en los procesos de inmovilización tiene una gran significancia ya que a partir del 10% los resultados tienden a ser más efectivos, sin embargo, los resultados pueden variar un poco de acuerdo al contaminante presente en los suelos agrícolas y al tipo de materia orgánica que se utilice para la obtención de dichas enmiendas remediadoras, siendo así que la variación si influye para la inmovilización de metales pesados.

Las condiciones del pH tienden a ser muy importantes para determinar las condiciones en las que se da la inmovilización de metales pesados, así las enmiendas orgánicas como biochar y compost actúan muy bien en condiciones acidas y neutras, por ello considerar el nivel de pH que posee la muestra viene siendo de gran importancia para dicho proceso.

Por ello; se considera que la eficiencia del biochar y compost tienden a ser muy eficientes para la inmovilización de contaminantes presentes en suelos agrícolas, pero a diferencia del biochar, el compost tiende a ser ligeramente más efectivo, aunque la diferencia no es muy significativa, ambas enmiendas poseen grandes capacidades retenedoras de metales pesados.

VIII. RECOMENDACIONES

A las futuras investigaciones, tomar mayor énfasis en temas que tienen un gran interés en remediaciones fuera del uso de productos químicos, ya que así podríamos conservar de una manera más natural el medio ambiente, en especial los temas que tratan sobre remediación de suelos. A las entidades mineras y actividades agrícolas que alteran la calidad del suelo, considerar las teorías puestas en este trabajo ya que tiene referencias claves que pueden servir para las futuras generaciones que se interesen en el tema y en la contaminación por metales pesados.

A los investigadores, llegar más a fondo con los temas de remediación de suelos, ya que no solo se cuenta con biochar y compost, sino que hay una infinidad de enmiendas orgánicas que podrían ayudar la inmovilización de metales pesados, considerando que nuestro país cuenta con mucha materia orgánica y no solo eso también cuenta con plantas muy eficientes para la inmovilización de metales pesados.

REFERENCIAS

- Álvarez Calvo, Luisa. Tratamiento de suelos contaminados por metales mediante combinación de técnicas de fitorremediación con adición de biochar. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, 2019.
- Ahmad, I; Akhtar, MJ; Zahir, ZA y col. Enmiendas orgánicas: efectos sobre el crecimiento de los cereales y la remediación del cadmio. Environ. Sci. Technol. September 2015.
- Angelova, V; Ivanova, R; Perifanova, M; Izunova,G; Potential of Sunflower (Helianthus annuus L.) for Phytoremediation of Soils Contaminated with Heavy Metals.University of Agriculture, Plovdiv, Bulgaria. 2012.
- Bautista, F; Goguitchaichvili, A; Delgado, C;Quintana, P; Aguilar, D; Cejudo, R; Cortés, J. El color como indicador de contaminación por metales pesados en suelos de la Ciudad de México: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, México, 2021
- BERNAL, M., et al. (2018). Validez de contenido por juicio de expertos de un instrumento para medir percepciones físico-emocionales en la 49 práctica de disección anatómica. Educación médica. p. 1-8. [Fecha de consulta: 30 de abril de 2020]. Disponible en: <https://scihub.se/https://doi.org/10.1016/j.edumed.2018.08.008> Doi: 10.1016/j.edumed.2018.08.008
- Cabrera Córdova, Víctor Carlos. Propuesta para la Elaboración de Compost a partir de los Residuos Vegetales Provenientes del Mantenimiento de las Áreas Verdes Públicas del Distrito de Miraflores. Universidad Agraria La Molina. Lima - Perú, 2016.
- Castillo Barreiro, Laura. La corteza de pino como adsorbente natural de metales pesados en suelos contaminados. Universidad de Vigo. España, 2017.
- Cavarrubias, Sergio; Peña,Juan. Contaminación ambiental por metales pesados en México: problemática y estrategias de fitorremediación. Instituto Politécnico Nacional, Unidad Irapuato. Guanajuato, México. Octubre, 2016.

- Chávez Rodríguez, Luciana. Fitorremediación con especies nativas en suelos contaminados por plomo. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima, Perú. 2015.
- Clemente, R; Walker, DJ; Roig, A; et al. Heavy metal bioavailability in a soil affected by mineral sulphide contamination following the mine spillage at Aznalcóllar. España, 2015.
- Guerra, Patricia. "Producción y caracterización de Biochar a partir de la biomasa residual de sistemas agroforestales y de agricultura convencional en la Amazonía Peruana". Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima Perú, 2015.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). Metodología de la Investigación. Quinta Edición Mcgraw-Hill. Ultra, México, 2010, p. 158-209. [Fecha de consulta: 22 de agosto de 2020]. Disponible en: https://www.esup.edu.pe/descargas/dep_investigacion/Metodologia%20de%20la%20investigaci%C3%B3n%205ta%20Edici%C3%B3n.pdf
- HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, C. & BAPTISTA, P. (2014). Metodología de la Investigación. Quinta Edición Mcgraw-Hill. Ultra, México, 2010, p. 158-209. [Fecha de consulta: 22 de agosto de 2020]. Disponible en: https://www.esup.edu.pe/descargas/dep_investigacion/Metodologia%20de%20la%20investigaci%C3%B3n%205ta%20Edici%C3%B3n.pdf
- Huaraca Fernandes, Jon; Lourdes Pérez Sosa; Bustinza Cabala, Leonor y Pampa Quispe, Noé. Enmiendas orgánicas en la inmovilización de cadmio en suelos agrícolas contaminados: una revisión. Universidad Nacional de Barranca, agosto del 2020.
- LUNA, M. (2015). Organización del conocimiento en la red digital. Investigación bibliotecológica, vol. 29, no 67, p. 77-89. [Fecha de consulta: 12 de abril de 2020]. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187358X2015000300077&script=sci_arttext&tlng=en ISSN 2448-8321
- Meddeb, Salma; Hassine, Habib; Tangour, Dohua; Aichi, Hamouda; Álvarez J. María; Rosa, J. María; López, Rafael. Effects of biochar and compost on a heavy metal moderately polluted urban farm soil. Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla. 2018.

- Obaji Bernal, Adriana; Romero Pimienta, Khaterine; Combatt Caballero, Enrique; Díaz Fernández, Luis; Burgos Núñez, Saudith; Urango Cardenas, Iván; Marrugo Negrete, José. Evaluación de materiales como potenciales retenedores de metales pesados para su aplicación como enmiendas en suelos contaminados. Universidad de Córdoba, Montería. 2015
- Puga, Soraya; Sosa, Manuel; Lebgue, Toutcha; Quintana, Cesar y Alfredo, Campos. Contaminación por metales pesados en suelo provocada por la industria minera. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima – Perú. 2016.
- Ramales, C.S; Ramírez, P.A; Torres, L.D; Coyotl, C.A; Silveti, L.A. Evaluación de metales pesados en la mezcla biosólida-cáscara de naranja. Revista Latinoamericana del Ambiente y las Ciencias, 2018.
- Romero, N. y García, V. (2019). La ética en la investigación cualitativa. CuidArte, vol. 8, no 16, p. 36-46. [Fecha de consulta: 09 de julio de 2020]. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/cuidarte/cui-2019/cui1916e.pdf> ISSN: 2395-8979
- Sankar Ganesh, K; Sundaramoorthy, P; Nagarajan,M. Organic Soil Amendments: Potential Source for Heavy Metal Accumulation. Department of Botany, Annamalai University, Annamalai Nagar, Chidambaram, India. 2015.
- Shazia ,Gul; Alia, Naz; Iftikhar, Fareed; Muhammad, Irshad. Reducing Heavy Metals Extraction from Contaminated Soils Using Organic and Inorganic Aendments – a Review. Institute of Information Technology, Abbottabad, Pakistan. Vol. 24. 2015.
- Shrestha, Paliza; Bellitürk, Korkmaz y Görres, Josef. Phytoremediation of Heavy Metal-Contaminated Soil by Switchgrass: A Comparative Study Utilizing Different Composts and Coir Fiber on Pollution Remediation, Plant Productivity, and Nutrient Leaching. The University of Vermont, Burlington, Nueva Jersey. 9 April 2019.
- Soto, Margarita; Rodriguez, Liset; Olivera, Martha; Arostegui, Victor; Colina, Cesar y Garate, Jorge. Riesgos para la salud por metales pesados en productos agrícolas cultivados en áreas abandonadas por la minería aurífera en la Amazonía peruana. Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios. 25 de febrero, 2020.

- Valdez Carmenate, Ramiro; López Morgado, Olivia; Guridi Izquierdo, Fernando; Balbín Arias, María. Riesgo agroambiental por metales pesados en suelos con Cultivares de *Oryza sativa* L y *Solanum tuberosum* L. Universidad Agraria de La Habana. San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. Vol, 24. 2015.
- Venegas Sepúlveda, Andrea. Evaluación de la adición de materiales de origen orgánico para la remediación de metales pesados. Universidad de Barcelona. 9 de febrero, 2015.
- Yin, Bingkui; Zhou, Liqiang; Yin, Bin; Chen, Liang. Effects of organic amendments on rice (*Oryza sativa* L.) growth and uptake of heavy metals in contaminated soil. *Journal of Soils and Sediments*, 28 de agosto, 2015.

<https://doi.org/10.1007/s11368-015-1181-8>

VI. ANEXOS

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Problema general	Objetivo específico	Dimensiones	Indicadores		Método
¿En cuánto se reduce la concentración de metales pesados utilizando biochar y compost en suelos agrícolas?	Comparar la eficiencia entre biochar y compost para la inmovilización de metales pesados en suelos agrícolas	Porcentaje de eficiencia del biochar y del compost	Compost: Co, Cf		<ul style="list-style-type: none"> · Tipo: Aplicada. · Diseño: No experimental – descriptivo. · Enfoque: Cualitativo. · Población y muestra: 80 Artículos de investigación, libros y tesis. · Instrumentos: Ficha de recolección de datos.
			Biochar: Co, Cf		
Problemas específicos	Objetivos específicos	Dimensión	Indicadores		
¿De qué manera las características fisicoquímicas del compost y el biochar inmovilizan los metales pesados en suelos agrícolas?	Identificar si las características fisicoquímicas del compost y el biochar inmovilizan los metales pesados en los suelos agrícolas	Características fisicoquímicas del compost y biochar en la inmovilización de metales pesados en suelos agrícolas	Compost	pH	
				Conductividad eléctrica	
				Relación C, N.	
				M. O	
				Temperatura	
				Textura	
			Biochar	pH	
				Intercambio catiónico	

				Conductividad eléctrica
				Temperatura
¿Cómo influirá la variación de la dosis de Biochar y Compost en la inmovilización de metales pesados en suelos agrícolas?	Identificar si la variación de la dosis de Biochar y Compost influyen en la inmovilización de metales pesados en suelos agrícolas	Cantidades de biochar y compost para la inmovilización de metales pesados en suelos agrícolas	Dosis compost	<ul style="list-style-type: none"> · 05% · 10% · 20% · 25%
			Dosis biochar	<ul style="list-style-type: none"> · 05% · 10% · 15% · 20%
¿De qué manera las condiciones del pH influyen en el proceso de inmovilización de metales pesados en suelos agrícolas tratados por biochar y compost?	Determinar las condiciones del pH en el proceso de inmovilización de metales pesados en suelos agrícolas tratados por biochar y compost	Rangos del pH en la inmovilización de metales pesados en suelos agrícolas	<ul style="list-style-type: none"> · 0 a < 7 ácido · 7 neutro · 7 a 14 básico 	

Matriz apriorística

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO ESPECÍFICO	HIPÓTESIS	VARIABLE	CATEGORÍA	SUBCATEGORÍA	MÉTODO
¿En cuánto se reduce la concentración de metales pesados utilizando biochar y compost en suelos agrícolas?	Comparar la eficiencia entre biochar y compost para la inmovilización de metales pesados en suelos agrícolas	La eficiencia del biochar será más alta que la del compost para la inmovilización de metales pesados en suelos agrícolas	Revisión sistemática sobre la inmovilización de metales pesados en suelos agrícolas	Inmovilizar metales pesados en suelos agrícolas	Cd	<p>Tipo: Aplicada.</p> <p>Diseño: No experimental – descriptivo.</p> <p>Enfoque: Cualitativo</p> <p>Población y muestra: 80 Artículos de investigación, libros y tesis.</p> <p>Instrumentos: Ficha de</p>
					Cu	
					Zn	
					Ni	
					Pb	
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS	VARIABLE	CATEGORÍA	SUBCATEGORÍA	
¿De qué manera las características fisicoquímicas del compost y el biochar inmovilizan los metales pesados en suelos agrícolas?	Identificar si las características fisicoquímicas del compost y el biochar inmovilizan los metales pesados en los suelos agrícolas	Las características fisicoquímicas del compost y el biochar ayudarán positivamente a la inmovilización de los	Inmovilización de metales pesados en suelos agrícolas	Características fisicoquímicas que posee el biochar y compost para inmovilizar metales pesados	% Biochar	

		metales pesados en suelos agrícolas			recolección de datos.
¿Cómo influirá la variación de la dosis de Biochar y Compost en la inmovilización de metales pesados en suelos agrícolas?	Identificar si la variación de la dosis de Biochar y Compost influyen en la inmovilización de metales pesados en suelos agrícolas	La variación de la dosis de biochar con respecto al compost influyen en la inmovilización de metales pesados en suelos agrícolas	En cuánto varía la dosis del biochar y compost para la inmovilización de metales pesados	% Compost	
¿De qué manera las condiciones del pH influyen en el proceso de inmovilización de metales pesados en suelos agrícolas tratados por biochar y compost?	Determinar las condiciones del pH en el proceso de inmovilización de metales pesados en suelos agrícolas tratados por biochar y compost	Las condiciones del pH influyen en el proceso de inmovilización de metales pesados en suelos agrícolas tratados por biochar y compost	En cuanto influye el pH en el proceso para la inmovilización de metales pesados		

TABLA DE RESULTADOS

ENMIENDAS ORGANICAS	METALES PESADOS	AUTOR	PAIS	METODOLOGÍA	RESULTADOS	AÑO
BIOCHAR	Plomo y Atrazina (herbicida)	Carranxa Gallardo y Rejano Garcia.	Perú - Lima	Se aplicó la biomasa para el Pb una cantidad de 1000.00 mg/g; Atrazina se observó a nivel de laboratorio	El biochar mostró una capacidad de adsorción de Plomo y Atrazina (herbicida), de una solución acuosa, con una eliminación de hasta 100% y 77% respectivamente, asimismo, señala que el biochar puede lograr reducir la biodisponibilidad de metal plomo, alcanzando una eficiencia máxima de inmovilización de 81.89% en el suelo.	2020
	Cobre, Níquel, Plomo y zing	Navarro,Violeta; Meddeb, Salma; et al.	España - Sevilla	El biochar que se utilizó fue a base de madera bajo una pirolisis de 500°C durante 20min. Donde se utilizaron dosis al 5% y 10% donde se dejó durante 25 días de encubamiento.	Los resultados mostraron los siguientes porcentajes: F1 5%= (Cu 43%, Ni 55%, Pb 61% y Zn 58%) F2 10%= (No se encontraron diferencias significativas)	2018
	Plomo	Puquino, Mayra y Villegas Elvito	Perú - Lima	Realizaron la obtención del biochar a partir de residuos orgánicos agrícolas, forestales y municipales. la pirolisis se dio a una temperatura >800°C durante 30 a 40 minutos. En el cual se utilizó una mezcla al 10% de la muestra contaminada por Pb.	Los resultados mostraron una eficiencia del 50.29% de remoción de dicho contaminante en los suelos, lo cual da a conocer que la aplicación de biochar tiene una eficiencia significativa.	2019
	Cianuro	Ramos Helein	Cartagena	Se utilizaron 3 muestras de biochar a 200, 400 y 600°C a partir de Gliricidia sepium.	Las pruebas mostradas fueron: A 200°C = 41.88%; a 400°C = 27.56%; a 600°C = 17.75% Se observa que a medida que la temperatura la eficiencia disminuye.	2019

	Cadmio	Panez, Lizeth	Perú - Lima	Se utilizo el biochar a una temperatura de 700°C con muestras que se aplicaron con 10 y 20% durante 26 días para la remisión de cadmio.	Los resultados mostraron que al 20% la remoción era de 92.3% y al 10% la remoción era de 84.6%.	2017
COMPOST	Plomo, Cadmio y Cromo	Carranza Gallardo y Regano García.	Perú - Lima	Para lograr la absorción máxima de dichos contaminantes se utilizaron las siguientes cantidades respectivamente: Cd (833.33 mg/g), Pb (1000.00mg/g), Cr (44.44mg/g).	El uso de compost como biosorbente de metales pesados como Plomo, Cadmio y Cromo tiene una elevada capacidad de sorción en soluciones acuosas con un pH en condiciones ácidas, entre 4,8 y 7. Los autores atribuyeron la capacidad de sorción de esta enmienda a la capacidad de formar enlaces y su electronegatividad.	2020
	Cobre, Níquel, Plomo y Zing	Navarro; Meddeb; et al.	España - Sevilla	El compost que se utilizó a base de mezclas de lodo de depuradora y restos de poda. Donde se utilizaron dosis al 5% y 10% donde se dejó durante 25 días de encubamiento.	Los resultados mostrados fueron los siguientes: Cu de 47% a 74%, Ni de 58% a 94%, Pb de 62% a 95%, Zn de 59% a 91%.	2018
	Cobre, Plomo y Zing	Según Meddeb, Hassine, et al	España – Sevilla	Se tomo como muestra el suelo de un huerto urbano con presencia de metales, donde el compost fue de lodos de depura urbana. Se agrego el respectivo compost a una muestra con planta de lechuga y a los 52 días de la siembra se analizo la cantidad de metales.	Los resultados dieron a conocer que el crecimiento de las raíces de la lechuga eran menores en las muestras que no se utilizó enmiendas lo cual representa un 33% de significancia de remoción de metales pesados.	2018

	Cadmio	Angelova; et al.	Bulgaria	Se utilizaron 3 macetas una con el compost respectivo y el resto sin enmiendas, el proceso duro 56 días en el cual se administraron dosis de 5% (0.08ml/kl) y 10% (0.016ml/kl).	Los resultados a la que llegaron es que la remisión se dio de la siguiente manera: 5%= 33% de remoción 10%= 58% de remoción Por lo cual se concluye que el uso de las enmiendas es más efectivo después de un 10% de aplicación.	2017
	Plomo	Contreras, Cuba y Rojas	Lima - Callao	Se realizaron tres diferentes muestras en las cuales los niveles de Pb fueron T1(6,072.68mg/kg),T2(7,771.67mg/kg) Y T3(9,399.31mg/kg), en recipientes de 30X30X40 y una cantidad de 3.750 Kg de compost, las cuales se realizaron analisis a los 90, 180 y 270 dias despues de la aplicacion.	Los resultados se dieron: A los 90 dias: T1(45.47%),T2(37.87%),T3(34.98%) A los 180 dias: T1(-),T2(37.95%),T3(40.78%) A los 270 dias: T1(-),T2(-),T3(52.77%)	2021