

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Una Institución Adventista

**Interacción del biocarbón como inhibidor de plomo en los
suelos agrícolas: Revisión**

Trabajo de Investigación para obtener el Grado Académico de Bachiller en
Ingeniería Ambiental.

Por:

Riter Jean's Esnaider Sanchez Vasquez
Brenda Marlen Zurita Valenzuela

Asesor:

Lic. Gina Marita Tito Tolentino

Lima, diciembre de 2020

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

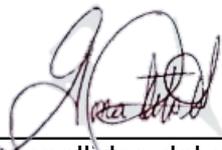
Lic. Gina Marita Tito Tolentino, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“Interacción del biocarbón como inhibidor de plomo en los suelos agrícolas: Revisión”** constituye la memoria que presenta los estudiantes Riter Jean’s Esnaider Sanchez Vasquez y Brenda Marlen Zurita Valenzuela para obtener el Grado Académico de Bachiller en Ingeniería Ambiental, cuyo trabajo de investigación ha sido realizado en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en la ciudad de Lima a los 23 días del mes de diciembre del año 2020



Nombres y apellidos del asesor

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a..... 23..... día(s) del mes de..... diciembre.....del año 2020.... siendo las.... 08:30.....horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Lima, bajo la dirección del (de la) presidente(a):

..... Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga....., el (la) secretario(a): ... Ing. Orlando Alan Poma Porras.....

..... y los demás miembros:

..... y el (la) asesor(a). Lic. Gina Marita Tito Tolentino.....

..... con el propósito de administrar el acto académico de sustentación del trabajo de investigación titulada: Interacción del biocarbón como inhibidor de plomo en los suelos agrícolas: Revisión.....

..... de los (las) candidato (as): a) Brenda Marlen Zurita Valenzuela.....

..... b) Riter Jean's Esnaider Sanchez Vasquez.....

..... conducente a la obtención del grado académico de Bachiller en:

..... Ingeniería Ambiental.....
(Denominación del Grado Académico de Bachiller)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato/a (a): Brenda Marlen Zurita Valenzuela

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	19	A	EXCELENTE	EXCELENCIA

Candidato/a (b): Riter Jean's Esnaider Sanchez Vasquez.....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	19	A	EXCELENTE	EXCELENCIA

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.


/Presidente/a


Secretario/a


Asesor/a

Miembro

Miembro


Candidato/a (a)


Candidato/a (b)

Interacción del biocarbón como inhibidor de plomo en los suelos agrícolas: Revisión

INTERACTION OF BIOCHAR AS A LEAD INHIBITOR IN AGRICULTURAL SOILS: REVIEW

Riter Jean's Esnaider Sanchez Vasquez^a, Brenda Marlen Zurita Valenzuela^a

^aUniversidad Peruana Unión (UPeU) Ingeniería Ambiental Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Carretera Central Km.19.5 Ñaña-Chosica

Resumen:

La presencia de plomo en los suelos agrícolas impacta directamente en las plantas, lo cual causa la fitotoxicidad en sus membranas celulares. Frente a ello, existen diferentes alternativas para remover este metal de los suelos, entre las cuales el biocarbón es una técnica económicamente factible. El objetivo de este artículo de revisión es recopilar información sobre la interacción del biocarbón para la inhibición del plomo en suelos agrícolas. Para ello, se consideró 40 artículos científicos y de revisión de fuentes confiables, incluidas revistas, artículos y libros internacionales. Los resultados fueron clasificados en 4 segmentos referidos a la contaminación de suelos, plomo en la salud, plomo en las plantas y por último biocarbón y los mecanismos de interacción. Se encontró que el biocarbón es un tratamiento in situ, obtenido de materiales orgánicos a través del proceso de pirólisis; Este proceso contribuye a la formación de microporos que inmovilizan el plomo mediante la alta capacidad de adhesión, atracción electrostática y la encapsulación del metal dentro de la estructura granulométrica del biocarbón. De esta manera se interrumpe significativamente la vía de exposición entre el metal y la biota, lo cual reduce el impacto negativo en la planta y su posterior ingreso a la cadena trófica.

Palabras clave: biocarbón, inhibición, plantas, plomo, suelos agrícolas.

Abstract:

The presence of lead in agricultural soils has a direct impact on plants, which causes phytotoxicity in their cell membranes. Faced with this, there are different alternatives to remove this metal from soils, among which biochar is an economically feasible technique. The objective of this review article is to collect information on the interaction of biochar for lead inhibition in agricultural soils. For this, 40 scientific and review articles from reliable sources were considered, including international journals, articles and books. The results were classified into 4 segments referring to soil contamination, lead in health, lead in plants and finally, biochar and interaction mechanisms. Biochar was found to be an in situ treatment, obtained from organic materials through the pyrolysis process; This process contributes to the formation of micropores that immobilize lead through the high adhesion capacity, electrostatic attraction and the encapsulation of the metal within the granulometric structure of the biochar. In this way it will be possible to interrupt the route of exposure and reduce the negative impact on the plant and its subsequent entry into the trophic chain.

Key words: biochar, inhibition, plants, lead, agricultural soils.

1. Introducción

Las actividades antropogénicas como el uso de fertilizantes fosfatados, minería y otros, están provocando el incremento de suelos agrícolas contaminados por metales pesados (MP) (Martí et al., 2002), para conocer el comportamiento y el impacto que provocan estos metales en la salud humana y las plantas, es necesario conocer las propiedades fisicoquímicas del suelo y su interacción con dichos metales (Ortiz et al. 2007); La absorción y la acumulación de los metales pesados como plomo, cadmio, arsénico y otros, en las plantas, dependen en primer lugar del movimiento e interacción del metal dispuesto en el suelo, la cual puede interactuar y ser absorbida por la raíz de la planta, considerando dicha absorción como la primera intervención en la cadena alimenticia (Méndez et al., 2008). Los MP presentes en los alimentos es un peligro latente y su consumo impacta gravemente a la salud de las personas (Prevensystem, 2020).

Según estudios el plomo en grandes cantidades es altamente peligroso, ya que tiende a bioacumularse en diferentes partes de la planta generando fitotoxicidad puesto que estas no realizan funciones fisiológicas y bioquímicas (Amari, 2017), ocasionando una concentración significativa del producto químico en un organismo vivo a corto o largo plazo y en el ambiente (Mejía, 2011).

Ante la problemática expuesta, se han realizado diversos estudios para disminuir la disponibilidad de los metales en los suelos agrícolas, como los tratamientos físico-químicos, la biorremediación y remediación integrada (Zhang et al., 2013); Los tratamientos fisicoquímicos utilizan las propiedades físicas y/o químicas de los contaminantes o del suelo contaminado para transformar, separar e inmovilizar el metal, además son económicamente factible respecto a otros tratamientos (Volke et al., 2005).

La técnica fisicoquímica del biocarbón es un tratamiento in situ y de bajo costo, elaborado de biomasa a partir de los subproductos de actividades agroforestales, excretas de animales, residuos orgánicos urbanos carbonatados o conocidos también como enmiendas orgánicas, lo cual contribuye a la reducción de la inadecuada gestión de residuos orgánicos (Paco, 2012 y Herrera et al., 2018). La biomasa es sometida al proceso de pirólisis (sin oxígeno), el cual influye de manera positiva en las propiedades fisicoquímicas del biocarbón con el fin de inhibir el efecto contaminante del metal pesado que es inmovilizado mediante la interacción del biocarbón (Trujillo et al., 2019; Chen et al., 2008)

La interacción del biocarbón como inhibidor de plomo en los suelos agrícolas consiste en la atracción electrostática y la encapsulación del metal dentro de la estructura granulométrica (poros) del biocarbón lo cual disminuye drásticamente su disponibilidad para la absorción por las plantas (Romero, 2017).

El objetivo de este artículo de revisión es recopilar información sobre la interacción del biocarbón para la inhibición del plomo en suelos agrícolas, esta revisión se realizó mediante la selección de fuentes confiables, incluidas revistas, artículos y libros internacionales. Los 40 artículos científicos y de revisión fueron clasificados en 4

segmentos referidos a la contaminación de suelos, plomo en la salud, plomo en las plantas y por último biocarbón y los mecanismos de interacción.

2. Contaminación de suelos agrícolas por metales pesados

Los suelos agrícolas son un medio para el crecimiento y desarrollo de plantas de alta calidad, por lo que es aprovechada mediante la incorporación de sistemas agrarios, esto con la finalidad de brindar un soporte alimenticio a la población (Acosta,2006; Charles & Velthof, 2007).

Contreras, Henríquez, Jaurixje, Mendoza y Torres Contreras et al. (2013) afirman que los suelos agrícolas mundialmente están caracterizados por el uso intensivo que se les da en su época productiva; en general, la aplicación de fertilizantes fosfatados con residuos de metales pesados (Rodríguez et al., 2012) y el uso de aguas contaminadas para el riego, son las principales causas de contaminación de los suelos agrícolas (García y Dorronsoro, 2005).

Estos metales en contacto con el suelo interactúan a través de cuatro diferentes fases, primero la retención y disolución del metal en estado líquido dispuesto en el suelo, segundo la adsorción de los componentes inorgánicos del suelo, tercero la asociación del metal en la materia orgánica del suelo y por último la precipitación de sólidos puros o mixtos, que se dispone en los suelos (García et al.,2005).

Puga et al. (2006) mencionan que los suelos agrícolas contaminados por metales altamente tóxicos traen graves problemas e impactos que se ven reflejados en la degradación, deterioro de la cobertura vegetal, disminución o desequilibrio en el contenido de nutrientes y la estructura edáfica, el metal pesado puede ser absorbido por las raíces de las plantas, biocumularse dentro de ellas y de esa forma incorporarse al ambiente y a la cadena trófica.

3. El Plomo en la salud y las plantas.

El plomo causa efectos tóxicos en la salud de las personas cuando está presente en la sangre a concentraciones mayores de 10 µg/dL en adultos y 5 µg/dL en niños, por lo que, al estar presente en la sangre, una gran parte es transportada a la hemoglobina y la otra se deposita en los tejidos blandos como el hígado, riñón y cerebro (Rodríguez et al., 2016). Así, la acumulación de este metal causa alteraciones del sistema circulatorio, reproductor, nervioso, inmunológico, hematopoyético, renal, sanguíneo y el aparato gastrointestinal (Clara,2014). Aproximadamente el 70 - 95 % de este metal permanece en el sistema óseo por más de 25 años (Marcial et al., 2019). La única forma de expulsión es mediante tratamientos con agentes quelantes que se unen al plomo en la sangre, facilitando su eliminación por la bilis y orina, lo que reduce la cantidad total de plomo en el cuerpo y sus efectos tóxicos (Poma, 2008). La exposición al plomo por consumo indirecto (alimentos) en las embarazadas presenta el riesgo de abortos espontáneos peligrando la

vida del bebe y de la madre, además en los recién nacidos y niños de corta edad llega a acumularse en la sangre, alterando su sistema neurológico (Poma, 2008; OMS, 2019).

En las plantas la bioacumulación significa el aumento de la concentración de un químico en un organismo vivo durante un determinado tiempo, comparada a la concentración de dicho químico en el ambiente durante el mismo periodo de tiempo. (Méndez et al., 2008) Por ello el plomo presente en los suelos a concentraciones significativas, tiende a ser absorbido por la planta, lo que ocasiona fitotoxicidad en la membrana celular y genera deficiencias en las funciones fisiológicas y bioquímicas a corto o largo plazo (Amari, 2017; Mejía, 2011). Estas deficiencias se presentan como efectos adversos en las etapas de imbibición, germinación y crecimiento, lo que causa alteraciones en la producción de las flores, frutos, y hojas a través de un cambio histológico que provoca la disminución laminar de la planta y reduce el diámetro de los vasos vasculares de la xilema y el floema (Figura 1), todo esto en su mayoría por el uso de suelos y aguas contaminadas con metales pesados (Ali & Nas, 2018; Guala et al., 2010).

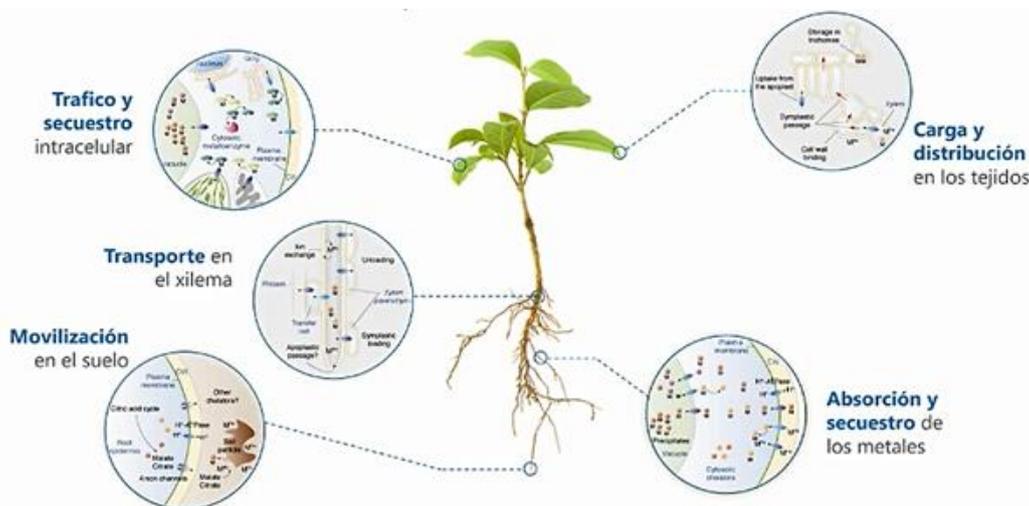


Figura 1: Dinámica de los metales pesados en las plantas (Meléndez, 2017).

En un estudio realizado en la planta *Centella asiática* se demostró que los metales pesados como el plomo (Pb), tuvieron una mayor acumulación en tallos, hojas y raíces, en esta última, el plomo se bioacumula a través de los pelos radiculares que aumentan el área de superficie expuesta (Ongy & Belonias, 2018). Por ende, las plantas más expuestas son las que poseen raíces extensas y aquellas de tallo corto, como es el caso de las hortalizas, las cuales no alcanzan ni el metro de altura lo que las hace más susceptibles a la absorción de estos elementos presentes en el suelo.

4. Biocarbón

El biocarbón es usado como enmienda orgánica en los suelos agrícolas debido a que mejora las propiedades físico-químicas como la textura, distribución del tamaño de poro, capacidad de retención de humedad, densidad aparente, intercambio catiónico (CIC) y el crecimiento de las plantas (Downie et al., 2009), además aporta en la captura de gases de

efecto invernadero como el CO₂ en su proceso de elaboración y la inmovilización de metales pesados en los suelos (Bian et al., 2019).

El biocarbón es obtenido por el proceso térmico de pirolización (Figura 2) a partir de diferentes residuos orgánicos en una atmósfera con carencia de oxígeno, transformándose en una combinación líquida de hidrocarburos, gases combustibles de baja densidad conocido como syngas (CO y H₂) y residuos secos como el biocarbón, dicho proceso es muy complejo dado que intervienen las características de la biomasa y la condición del reactor usado (Escalante et al., 2016).

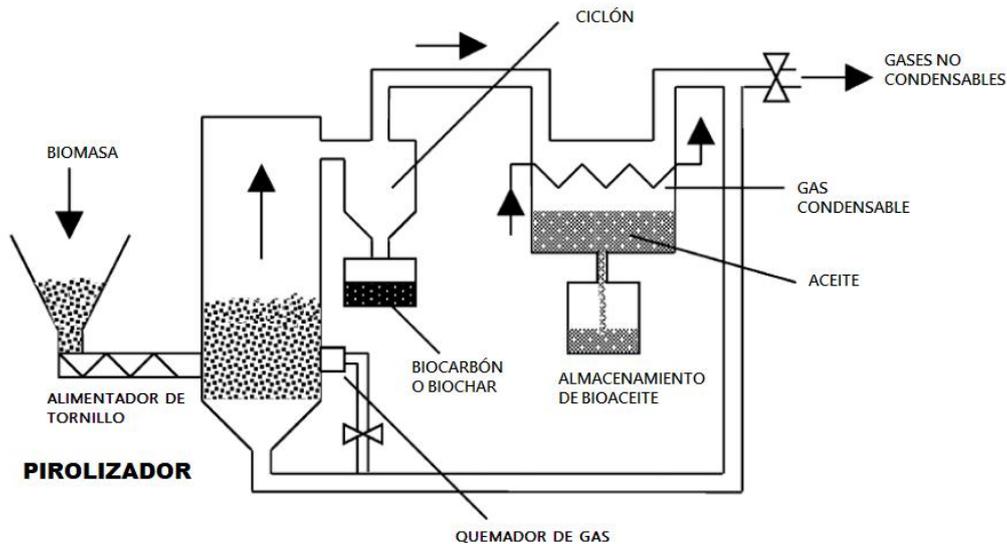


Figura 2: Proceso de pirolización para la obtención de biocarbón y derivados (Basu, 2010).

El proceso de pirólisis se divide en 3 métodos: lenta, intermedia y rápida (Tabla1), las cuales depende de 2 factores: el tiempo de residencia y la temperatura; El tiempo puede ser segundos o minutos y la temperatura generalmente es por encima de los 300 °C (Lehmann et al., 2009).

Tabla 1 Métodos de pirolización en función del tiempo de residencia, la velocidad de calentamiento y temperatura y los productos obtenido en cada una de ellos.

Métodos**	Temperatura*	Tiempo De Residencia**	Velocidad de calentamiento*	Rendimiento de los productos**		
				Líquido bioaceite (%)	sólido biocarbón(%)	Gaseosos syngas (%)
Pirólisis lento o carbonización	300-500	largo (>30 min)	Muy lenta -Lenta	30	35	35
Pirólisis intermedio o convencional	500-650	moderado (10-20s)	Lenta Intermedio	50	25	25
Pirólisis rápido	650-1000	corto(<2s)	muy rápida	75	12	13

Fuente: (Balat et al., 2009*y Cueto, 2016**)

Los residuos orgánicos o biomasa que se emplean en el proceso de pirólisis (Tabla 2), se obtienen mediante el aprovechamiento de lodos residuales, madera, restos de cocina, residuos agrícolas, estiércol, residuos de la producción de biogás, entre otros (CIN CIA, 2018).

Tabla 2: Biocarbón derivado de diferentes biomásas o residuos orgánicos con mejor efecto inhibidor y adsorbente en el plomo y otros metales pesados.

Materia Prima/ Biomasa	T° de Pirólisis	Contaminante objetivo	Efecto	Referencias
Bambú				
Bagazo				
Madera	600 °C	Pb+2, Cd+2, Cu+2	Adsorción de metales pesados	Zhou et al. (2013)*
Nogal				
Cáscara de Maní				
Lodos de depuradora	500-550°C	Pb+2, Cd+2, Cu+2, Ni, Co, As	Inmovilización de arsénico, cromo, cobalto, níquel y plomo debido al aumento del pH del suelo	Khan et al.(2013)**
Estiércol de pollo	550°C	Pb+2, Cd+2, Cu+2	Inmovilización debido a la partición de metales de la fase intercambiable a una fracción ligada orgánica menos biodisponible	Park et al. (2011)**
Desechos verdes				
Madera de roble	400°C	Pb	Inmovilización del Pb por aumento del pH del suelo y adsorción en biocarbón	Ahmad et al. (2012)**
	-	Pb y Cu	Complejación con fósforo y materia orgánica	Karami et al. (2011)**
Estiércol de vacas(lecheras)	450°C	Pb	Inmovilización simultánea de plomo y atrazina en suelos	Cao et al. (2011)**

Paja de arroz	-	Pb	Adsorción no electrostática del Plomo	Jiang et al. (2012)**
Cama para pollos de engorde	350-600°C	Pb, Cu,	Estabilización de Pb y Cu	Uchimiya et al. (2012)**
Cascos de semillas de algodón	200-800°C	Pb, Cd, Ni, Cu	Secuestro de metales por los grupos funcionales superficiales del biocarbón	Uchimiya et al. (2011)**

Fuente: citados por Wang et al., 2020* y Ahmad, 2014**

En la tabla 2 se muestra los estudios sobre la aplicación del biocarbón a partir de diferentes residuos orgánicos y temperaturas, los cuales mostraron el efecto en la inhibición del plomo y otros metales pesados. En uno de estos estudios, se evaluó el efecto de la temperatura de pirólisis sobre la inmovilización del Pb empleando el biocarbón a base de la cama de pollos de engorde, producidos a 350 y 600° C (Uchimiya et al., 2012), por lo que este tipo de biocarbón producido a baja temperatura de pirólisis es favorable para inmovilizar y estabilizar el Pb, así mismo, el biocarbon de residuos de algodón a 350°C, contiene alto contenido de oxígeno (O) que resulta favorable para una alta absorción de Cu, Ni, Cd y sobretodo el Pb (Uchimiya, 2011).

Demirbas et al., (2000) comenta que son 3 etapas de formación que existe dentro del proceso de pirólisis, en la primera se elimina la humedad de la biomasa, en la segunda se produce el biocarbón primario (BCP) a través de una rápida volatilización de compuestos orgánicos y en la tercera el BCP se descompone lentamente formando los sólidos con alta fijación de carbono, por lo que las moléculas de hidrocarburos (C-H) se reordenan formando el biocarbón secundario que es el encargado de inhibir los metales pesados(Figura 3).

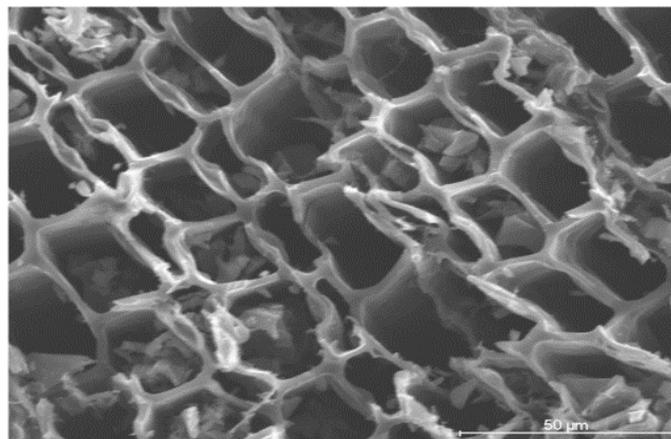


Figura 3: Morfología del biocarbón de madera con grandes cavidades microscópicas que constituyen la estructura porosa del material formado a una temperatura elevada (Urien, 2013).

La figura 3 muestra que la biomasa pirolizada a alta temperatura es más efectiva en relación a pirólisis de temperaturas bajas, debido a la mejor formación de un mayor área

superficial y las estructuras de poro de tamaño nanométrico que generan carga reactiva, estos nanoporos favorecen a la adsorción de compuestos líquidos, sólidos y gaseosos, haciendo posible la inmovilización del plomo; Además presentan baja densidad aparente de 0.30 g cm⁻³ a 0.43 g cm⁻³, lo cual indica buen drenaje y aireación del material (Escalante et al. 2016).

La adsorción del Plomo se realiza mediante la alta capacidad de adhesión e intercambio catiónico del biocarbón que interactúan con el metal aniónico mediante fuerzas electrostáticas, esto dependerá de las propiedades físico químicas del metal para el CIC, precipitación y adsorción en los poros del biocarbón (Figura 4), (Wang et al., 2010).

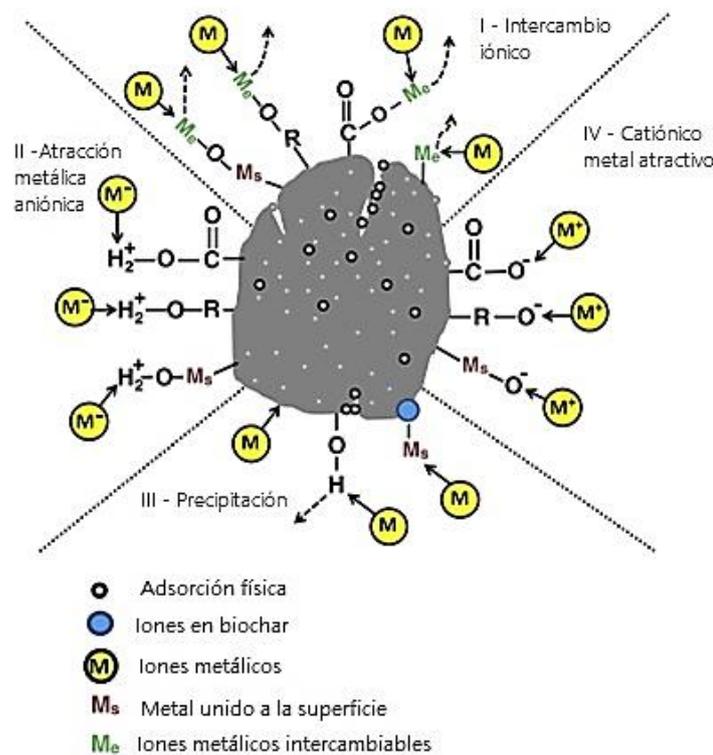


Figura 4: Mecanismos postulados de interacciones de biocarbón con contaminantes inorgánicos (Ahmad et al. 2014).

En la figura 4 se observa que los círculos en las partículas de biocarbón muestran el proceso de adsorción física, la cual está dividida en cuatro fases, **I**- intercambio iónico entre el metal pesado y el biocarbón, **II** – atracción electrostática del metal aniónico con el biocarbón, **III** - precipitación del metal pesado y **IV** – atracción electrostática del metal catiónico.

La polaridad superficial y la aromaticidad son características importantes del biocarbón, ya que influyen en la adsorción de contaminantes; La superficie del biocarbón presenta separación de las cargas eléctricas (dipolaridad), sin embargo, normalmente es más común la presencia de carga negativa, lo que podría facilitar la atracción electrostática de los compuestos inorgánicos catiónicos con carga positiva (Chen et al., 2008).

Ahmad et al (2014), en un estudio realizado en Corea demostró una mayor eficiencia de adsorción con el biocarbón de acuerdo a su pH y una base como el Ca +2, lo que está ligado a cationes intercambiables de metales alcalinotérreos que son sustancias alcalinas divalentes y solubles, la adsorción aumentó a medida que aumentaba la solución de pH, de esta manera se descubrió más uniones en los enlaces con los metales con cargas negativas, lo que en adelante provocó la atracción de iones con cargas positivas y la adsorción que se produce en la superficie de los micro poros.

El biocarbón tiene fuerte resistencia a la descomposición química, física y biológica, estas condiciones le permiten poder extender su vida útil en el suelo en condiciones naturales (Leng et al., 2019; Dom et al, 2018); Sin embargo, Zhu et al, (2017), menciona que la degradación u oxidación microbiana puede interferir en las propiedades del biocarbón como la capacidad de absorción, grupos funcionales de la superficie y otras más, lo que provoca el envejecimiento prematuro del biocarbón.

5. Conclusiones

- Las principales causas de contaminación de los suelos agrícolas se dan mediante la aplicación de fertilizantes fosfatados que contienen elementos trazas y aguas con presencia de metales pesados.
- La bioacumulación del plomo en las plantas trae como consecuencia su ingreso a la cadena trófica, transformándolo en un peligro para las personas.
- El plomo afecta significativamente a la salud de las personas dañando los sistemas circulatorio, nervioso, reproductor y otros, tiene la capacidad de permanecer en el sistema óseo por más de 25 años y su eliminación involucra agentes quelantes.
- El proceso de pirólisis y sus factores como el pH, temperatura y la biomasa empleada, modifica las propiedades físico químicas del biocarbón, las cuales influyen en el mecanismo de interacción con el metal para reducir su biodisponibilidad en el suelo, la bioacumulación en las plantas y su ingreso a la cadena trófica.
- El mecanismo de interacción del biocarbón para la inhibición del metal pesado (Pb) consta de cuatro fases.
- La capa superficial del biocarbón presenta dipolaridad que facilita la atracción electrostática de los compuestos inorgánicos catiónicos con carga positiva como el plomo, sin embargo, las propiedades fisicoquímicas del biocarbón pueden ser afectadas por la degradación u oxidación microbiana.

Referencias

- Ahmad, M., Lee, S., Yang, E., Ro, M., Lee, H., Ok, S., (2012). Effects of soil dilution and amendments (mussel shell, cow bone, and biochar) on Pb availability and phytotoxicity in military shooting range soil. *Environ. Saf.* 79, 225–230. *Ecotoxicol*
- Ahmad, M., A.U. Rajapaksha, J.E. Lim, M. Zhang, N. Bolan, D. Mohan, M. Vithanage, S. S. Lee, Y.S. Ok. (2014). Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: A review. *Chemosphere.* 99, 19-30.

- Acosta, C. (2006). El suelo agrícola, un ser vivo. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Recuperado de <https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag79266/EI%20suelo%20vivo.pdf>
- Ali, M., & Nas, F. S. (2018). The effect of lead on plants in terms of growing and biochemical parameters: a review. *Ecology & Environmental Sciences*, 3(4), 265-268.
- Amari T., Ghnaya T. & Abdelly C. 2017. Nickel, cadmium and lead phytotoxicity and potential of halophytic plants in heavy metal extraction. *South African Journal of Botany*. July 2017, vol. 111, 99-110. Doi 10.1016/sajb.2017.03.011.
- Basu, P. (2010). *Biomass Gasification and Pyrolysis*. Kindlington, Oxford: Elsevier.
- Bian, R., Joseph, S., Shi, W., Li, L., Taherymoosavi, S., & Pan, G. (2019). Biochar DOM for plant promotion but not residual biochar for metal immobilization depended on pyrolysis temperature. *Science of the Total Environment*, 662, 571–580.
- Balat, M., Kirtay, E. & Balat, H. (2009). Main routes for the thermo-conversion of biomass into fuels and chemicals. *Pyrolysis systems. Energy Part: I. Conversion and Management* 50(12): 3147-3157.
- Cao, X., Ma, L., Liang, Y., Gao, B., Harris, W. (2011). Simultaneous immobilization of lead and atrazine in contaminated soils using dairy-manure biochar. *Environ. Sci. Technol.* 45, 4884–4889
- Charles J., Munch, G. L., Velthof., (2007) *Desnitrificación y Agricultura*. Libro: *Biología del ciclo del nitrógeno*. Disponible: <https://www.sciencedirect.com/book/9780444528575/biology-of-the-nitrogen-cycle>
- Chen, B., D. Zhou, L. Zhu. 2008. Transitional adsorption and partition on nonpolar and polar aromatic contaminants by biochars of pine needles with different pyrolytic temperatures. *Environ. Sci. Technol.* 42, 5137–5143.
- CINCIA, Centro De Innovación Científica Amazónica (2018). *Producción Y Utilización De Biocarbón*. Madre De Dios. Perú.
- Clara, V. (2014). El plomo y sus efectos en la salud. *Acta Médica del Centro*, 8(3), 141-148. Recuperado de <https://www.medigraphic.com/pdfs/medicadelcentro/mec2014/mec143x.pdf>
- Contreras, J., Henríquez, M., Jaurixje, M., Mendoza, B., & Torres, D. (2013). Propiedades físicas y químicas del suelo y su relación con la actividad biológica bajo diferentes manejos en la zona de Quíbor, estado Lara. *Bioagro*, 25(1), 47–56.A
- Cueto, M. (2016). *Potencial de producción de biochar en España a partir de residuos de la industria papelera, de lodos de E.D.A.R., de residuos sólidos urbanos y de residuos ganaderos: Estudio de la fijación de carbono*. Tesis Doctoral, 1–236.
- Demirbas A. (2000). Mechanisms of liquefaction and pyrolysis reaction of biomass. *Energy Conversion and Management* 42 (11): 1357-1378.

- Dom X, Han X, Silbido F, Zhang L, Zhang K, Chen METRO, Wu W(2018). Efecto del biocarbón de paja de arroz sobre las emisiones de óxido nitroso de los arrozales bajo niveles elevados de CO₂ y temperatura. *Sci Total Environ* 628–629:1009-1016. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.046>
- Downie, A., A. Crosky, & P. Munroe. 2009. Physical properties of biochar. Biochar for environmental management: Science and technology. Earthscan. London, UK.
- Dumroese, R., Heiskanen, J., Englund, K., Tervahauta, A., (2011). Pelleted biochar: chemical and physical properties show potential use as substrate in container nurseries. *Biomass Bioenergy* 35, 2018-2027.
- Escalante, A., Pérez, G., Hidalgo, C., López, J., Campo, J., Valtierra, E., ... Etchevers, J. (2016). Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. *Terra Latinoamericana*, 34, 367–382. Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v34n3/2395-8030-tl-34-03-00367.pdf>
- García, I. & Dorronsoro, C. (2005). Contaminación por Metales Pesados. Tecnología de Suelos. Universidad de Granada. Departamento de Edafología y Química Agrícola. Colombia.
- Guala, SD, Vega FA, Covelo EF (2010) The dynamics of heavy metals in plant-soil interactions. *Ecological Modelling* 221: 1148-115
- Herrera Eber L. ; Feijoo Cesar Y.; Alfaro Rubén; Solís José L.; Gómez Mónica M.; Keiski Riitta L.; Gerardo J. F.; Cruz Riitta L. (2018). Producción de biocarbón a partir de biomasa residual y su uso en la germinación y crecimiento en vivero de *Capparis scabrida* (Sapote). *Scientia Agropecuaria* 9(4): 569 – 577 (2018).
- Jiang, T.-Y., Jiang, J., Xu, R.-K., Li, Z., 2012. Adsorption of Pb(II) on variable charge soils amended with rice-straw derived biochar. *Chemosphere* 89, 249–256.
- Karami, M., Clemente, R., Jimenez, M., Lepp, W., Beesley, L., (2011). Efficiency of green waste compost and biochar soil amendments for reducing lead and copper mobility and uptake to ryegrass.. *Mater.* 191, 41–48.
- Khan, S., Chao, C., Waqas, M., Arp, H.P.H., Zhu, Y., (2013). Sewage sludge biochar influence upon rice (*Oryza sativa* L.) yield, metal bioaccumulation and greenhouse gas emissions from acidic paddy soil. *Environ. Sci. Technol.* 47, 8624–8632.
- Lehmann, J. y Joseph, S. (2009) Biochar para la gestión ambiental: ciencia y tecnología. Earthscan, Londres.
- Leng LJ, Huang HJ, Li H, Li J, Zhou WG. (2019). Métodos de evaluación de la estabilidad del biocarbón: una revisión. *Sci Total Environ* ;647:210-22. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.402>
- Marcial C., Garduño M., Mendiola P., Vences J., Zetina V., Martínez O. y Ramos M. (2019). Fuentes de contaminación por plomo en alimentos, efectos en la salud y estrategias de prevención. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, vol. 20, núm. 1, 2019. Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México

- Marti L, Burba J, Cavagnaro M. 2002. METALES PESADOS EN FERTILIZANTES FOSFATADOS, NITROGENADOS Y MIXTOS. Rev. FCA UNCuyo. Tomo XXXIV. N° 2. Año 2002. Disponible: https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/2829/martiagrarias2-34-02.pdf
- Mejía, D. (2011). Metales Pesados en suelo y plantas: contaminación y fitotoxicidad. Universidad nacional José Faustino Sánchez Carrión. Facultad de Bromatología y nutrición.
- Meléndez L.(2017). Presentación virtual detalla los riesgos de la bioacumulación de metales pesados. Hortalizas. Disponible:<https://www.hortalizas.com/proteccion-de-cultivos/presentacion-virtual-detalla-los-riesgos-de-la-bioacumulacion-de-metales-pesados/>
- Méndez, P., Ramírez, G., César, A., Gutiérrez, R., Alma, D., & García, P. (2008). Plant Contamination and Phytotoxicity Due To Heavy Metals From Soil and Water. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10(1), 19-44.
- OMS, Organización Mundial de la Salud (2019) Intoxicación por plomo y salud. Disponible: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health>, Consultado: 23 de Julio del 2020
- Ongy, H., & Belonias, B. (2018). Lead potential bioaccumulation in two species of commonly used medicinal plants in Leyte. *Annals of Tropical Research*, 40, 1-14. <https://doi.org/10.32945/atr4021.2018>
- Ortiz, I., Sanz,J., Dorado,M., Villar,S. (2007) Técnicas de recuperación de suelos contaminados. Madrid.
- Paco.A (2012). Evaluación de efectos de varios tipos de biochar en suelo y planta. Sección de Ciències Ambientals. Bellaterra.
- Park, J., Choppala, G., Bolan, N., Chung, J., Cuasavathi, T., (2011) Biochar reduces the bioavailability and phytotoxicity of heavy metals. *Plant Soil* 348, 439–451.
- Poma, P. (2013). Intoxicación por plomo en humanos. *Anales de la Facultad de Medicina*, 69(2). University of Illinois. Chicago, EE UU.
- Prevensystem. (08 De 05 De 2020). Prevensystem. Obtenido De Prevensystem: <https://Www.Prevensystem.Com/Internacional/673/Noticia-Como-Nos-Afecta-La-Presencia-De-Metales-Pesados-En-Los-Alimentos.Html>
- Puga, S., Sosa, M., Lebgue, T., Cesar, Q., & Campos, A. (2006). Contaminación por metales pesados en suelo provocada por la industria minera: Heavy metals pollution in soils damaged by mining industry. *Ecología Aplicada*, 5((1-2)), 149–155.
- Rodríguez M, Muñiz O, Calero B, Montero A, Martínez F, Limeres T, Orphee M & Aguilar A. (2012). Contenido De Metales Pesados En Abonos Orgánicos, Sustratos Y Plantas Cultivadas En Organopónicos. Ministerio De Educación Superior. Cuba Instituto Nacional De Ciencias Agrícolas. *Cultivos Tropicales*, 2012, Vol. 33, No. 2, P. 5-12. Disponible: http://Www.Inca.Edu.Cu/Otras_Web/Revista/EDICIONES.Htm

- Rodríguez, A., L. Cuéllar, G. Maldonado y M. Suardiaz.(2016). Efectos nocivos del plomo para la salud del hombre. *Revista Cubana Investigaciones Biomédicas*. 35(3): 251-271.
- Romero Longwell, J. (2017). Eficiencia en la Inmovilización de Plomo en el Suelo mediante la Aplicación de Cantidades de Biocarbón en el Distrito San Mateo, Lima. Universidad César Vallejo, 1–95.
- Trujillo Emmer A.a, Valencia Christian A.a , Alegría María A. , Honorata Sotelo M. , Césare Mary C. M. 2019. PRODUCCIÓN Y CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE BIOCHAR A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS AVÍCOLAS. *Rev Soc Quím Perú*. 85(4) 2019
- Uchimiya, M., Klasson, K., Wartelle, L., Lima, I., (2011). Influence of soil properties on heavy metal sequestration by biochar amendment: 1. Copper sorption isotherms and the release of cations. *Chemosphere* 82, 1431–1437
- Uchimiya, M., Bannon, D., Wartelle, L., Lima, I., Klasson, K., (2012) Lead retention by broiler litter biochars in small arms range soil: impact of pyrolysis temperature. *J. Agric. Food Chem.* 60, 5035–5044
- Urien A. (2013).“Obtención De Biocarbones Y Biocombustibles Mediante Pirolisis De Biomasa Residual. Universidad Nacional de educación a distancia. Facultad De Ciencias. Departamento De Ciencias Analíticas.
- Volke S. T, Velasco T.J & De la Rosa P.D. 2005. Suelos contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales(SEMANART). Instituto Nacional de Ecología (INE). *Periférico sur 5000. Col. Insurgentes Cuicuilco, C.P. 04530*. México, D.F. www.ine.gob.mx.
- Wang, X.S., Chen, L.F., Li, F.Y., Chen, K.L., Wan, W.Y., Tang, Y.J., (2010). Removal of Cr(VI) with wheat-residue derived black carbon: reaction mechanism and adsorption performance. *J. Hazard. Mater.* 175, 816–822.
- Wang, X., Guo, Z., Hu, Z., & Zhang, J. (2020). Recent advances in biochar application for water and wastewater treatment: a review. *PeerJ* 9164.
- Zhang, X., Wang, H., He, L., Lu, K., Sarmah, A., Li, J., Bolan, N. S., Pei, J., & Huang, H. (2013). Using biochar for remediation of soils contaminated with heavy metals and organic pollutants. *Environmental. Science and Pollution Research*, 20(12), 8472–8483.
- Zhu X, Chen B, Zhu L, Xing B. (2017). Effects and mechanisms of biochar-microbe interactions in soil improvement and pollution remediation: a review. *Environ Pollut* 227:98–115.
- Zhou, Y, Gao, B, Zimmerman, A, Fang, J, Sun, Y, Cao, X. (2013). Sorption of heavy metals on chitosan-modified biochars and its biological effects. *Chemical Engineering Journal* 231:512–518