# MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA

# MITIGACIÓN DE CADMIO EN EL SUELO **MEDIANTE ENMIENDAS ORGÁNICAS**



"CAIA DE HERRAMIENTAS PARA LA PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DE CADMIO EN LA CADENA DE CACAO-ECUADOR"







# **GUÍA 11**

## MITIGACIÓN DE CADMIO EN EL SUELO MEDIANTE **ENMIENDAS ORGÁNICAS**

Dirigida a: técnicos, investigadores y agricultores.

### **AUTORES**

Wuellins Durango C.1; Manuel Carrillo Z.1; Karina Peña S.1

### **REVISIÓN PARES EXTERNOS**

Juan F. Gallardo<sup>2</sup>; Laurence Maurice<sup>3,4</sup>; Laudine Marchive<sup>4,5</sup>

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, INIAP. Estación Experimental Tropical Pichilingue. Mocache, Ecuador. wuellins.durango@iniap.gob.ec; manuel.carrillo@iniap.gob.ec; karina.pena@iniap.gob.ec

<sup>2</sup>Miembro de varias asociaciones científicas españolas e internacionales (I.S.E.B., I.H.S.S., I.U.S.S., S.L.A.C.S., S.E.C.S.,

A.A.C.T.E., S.i.F. y Q.A., A.P.I.). Salamanca, España. juanf.gallardo@gmail.com <sup>3</sup>Instituto francés de Investigación para el Desarrollo, IRD. laurence.maurice@ird.fr

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup>Laboratorio GET "Géosciences Environnement Toulouse". France.

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup>Universidad de Toulouse y SCOP ETHIQUABLE. Francia. laudinemarchive@gmail.com

### Coordinación general

República del Ecuador Ministerio de Agricultura y Ganadería Programa Nacional de Reactivación de Café y Cacao

#### Coordinación editorial

Magdalena López, Consultor Programas Cadena de Valor, GIZ Pedro Ramírez, GIZ José Luis Cueva Cango, MOCCA-Rikolto

#### **Revisores internos**

Andrés Proaño, MAG; Luis Herrera, MAG; Luis Orozco, MOCCA-LWR; Verónica Proaño, AVSF; Ana Gabriela Velasteguí, CESA; Natalia Palomino, MOCCA-Rikolto; Luis Gualotuña, MAG

#### **Fotografías**

Pedro Ramírez, GIZ; Andrés Proaño, MAG

#### Corrección de estilo y diagramación editorial

Carla Bohórquez; Ricardo Bravo; Martín Quirola

#### Cita del documento

#### Versión digital:

Durango, W., Carrillo, M. & Peña, K. (2021). Guía 11: Mitigación de cadmio en el suelo mediante enmiendas orgánicas. *Caja de herramientas para la prevención y mitigación de la contaminación de cadmio en la cadena de cacao-Ecuador* (1.ª ed., pp. 1-30). Quito, Ecuador. https://balcon.mag.gob.ec/mag01/magapaldia/Caja%20de%20Herramientas\_Cadmio\_Cacao/

"La presente publicación ha sido elaborada con el apoyo financiero de la Unión Europea y el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA). Su contenido es responsabilidad exclusiva de los autores y no necesariamente refleja los puntos de vista de los donantes".

Copyright © 2021. Todos los derechos reservados. Este documento puede reproducirse para fines no comerciales citando la fuente.

ISBN: 978-9942-22-524-5









# ÍNDICE

1. Introducción	1
2. Tipos de abonos o enmiendas orgánicas	3
3. Mecanismos de inmovilización del cadmio en el suelo por	
enmiendas orgánicas	5
4. Características físicas, químicas y biológicas de algunas	
enmiendas orgánicas	8
4.1 Características físicas	8
4.2 Características químicas	8
4.3 Características biológicas	10
5. Estudios de factibilidad de uso de diferentes enmiendas	
orgánicas y su influencia en la biodisponibilidad del cadmio	
en el suelo	12
5.1 Estudios de uso de diferentes enmiendas orgánicas	12
5.2 Estudios de uso de diferentes enmiendas orgánicas en cacao	14
6. Consideraciones generales para la aplicación de enmiendas	
orgánicas	20
7. Conclusiones	23
8. Recomendaciones	24
9. Referencias	25

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	disponible mediante enmiendas orgánicas.	6
Figura 2.	Mecanismos de adsorción de cadmio por el biochar.	6
Figura 3.	Concentración de cadmio en el cotiledón del cacao por efecto de la aplicación de enmiendas orgánicas en dosis de 1,0 t ha <sup>-1</sup> en el suelo. Canuto, Manabí.	14
Figura 4.	Concentración de cadmio en el cotiledón del cacao por efecto de la aplicación de enmiendas orgánicas en dosis de 1,0 t ha <sup>-1</sup> en el suelo. Santa Rosa, El Oro.	15
Figura 5.	Concentración de cadmio en el cotiledón del cacao por efecto de la aplicación de enmiendas orgánicas en dosis de 1,0 t ha <sup>-1</sup> en el suelo. Cerecita, Santa Elena.	16
Figura 6.	Contenidos de cadmio en el suelo y en el grano de cacao.	17
Figura 7.	Disminución de cadmio disponible en el suelo por efecto de la aplicación de enmiendas orgánicas en tres dosis.	18
Figura 8.	Disminución de cadmio en las semillas de cacao por efecto de la aplicación de enmiendas orgánicas en tres dosis.	19
Figura 9.	Aplicación de carbón vegetal en una plantación joven de cacao para disminuir la disponibilidad de cadmio en suelos.	21
Figura 10.	Aplicación de enmiendas orgánicas en plantación adulta de cacao para disminuir la disponibilidad de cadmio en suelos.	22
Figura 11.	Secuencia de la preparación y aplicación de vinaza en plantación de cacao para disminuir la disponibilidad de cadmio en suelos.	22

# 1. Introducción

La Materia Orgánica del Suelo (MOS) desempeña un importante papel en la biodisponibilidad del cadmio (Cd), debido a la alta Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) que posee y que puede adsorber; por otra parte, la fracción lábil de la MOS permite el incremento de la actividad microbiológica, que puede absorber y/o quelatar metales pesados (He et al., 2015). Por ello, para minimizar la absorción del cadmio en cultivos como el cacao, se está utilizando enmiendas orgánicas aplicadas a los suelos para elevar el contenido de la MOS, mejorar el estado nutricional de las plantas y aumentar la población microbiana con el fin de mitigar el efecto de este metal pesado sobre el cultivo y su concentración en los granos destinados al consumo humano.

Esta guía dirigida a técnicos, investigadores y agricultores, introduce y describe los tipos y las características de enmiendas orgánicas, los mecanismos generales de inmovilización del cadmio por materiales orgánicos, estudios de aplicación y recomendaciones generales, considerando que numerosas investigaciones y estudios están en curso sobre el tema.



# 2. Tipos de abonos o enmiendas orgánicas

Los abonos o enmiendas orgánicas son materiales de origen animal y/o vegetal, elaborados técnicamente y transformados biológicamente a través de la biota y agentes atmosféricos, quedando posteriormente estabilizados, si el proceso ha transcurrido correctamente; en este caso, sus propiedades garantizan suficiente calidad para que se puedan usar principalmente para mejorar las características físicoquímicas y biológicas de los suelos (Soto y Meléndez, 2004; Correa y López, 2007).

Entre los principales materiales utilizados como enmiendas orgánicas para mitigación del cadmio en los suelos se tiene:

- El estiércol: es un abono orgánico proveniente de la descomposición biológica (aerobia y exotérmica) de una mezcla de residuos de origen animal, bajo condiciones de aireación, humedad y temperatura controladas, hasta llegar a un estado lo suficientemente estable para su almacenamiento y uso (Gallardo, 2015).
- El compost o composta: es un abono orgánico proveniente de la descomposición biológica (aerobia y exotérmica) de una mezcla de residuos generalmente vegetales de origen urbano, bajo condiciones de aireación, humedad y temperatura controladas, hasta llegar a un estado lo suficientemente estable para su almacenamiento y uso (Suquilanda, 2006; Smith y Collins, 2007).
- Residuos orgánicos (RROO) sometidos a lombricultura: son el resultado de la digestión de los mismos por la lombriz roja californiana (Eisenia foetida) y dan como resultado un RROO más estabilizado (Chaoui, 2003; Nogales, 2010).
- El vermicompost, llamado también lombricomposta: son los

anteriores RROO de lombricultura sometidos a un posterior proceso térmico de compostaje similar a los descritos.

- El biochar, es simplemente carbonilla: es un producto de la descomposición térmica de materiales orgánicos (biomasa), con escaso o limitado suministro de oxígeno (pirólisis, popularmente llamado carboneo), a temperaturas inferiores a los 700 °C, que es destinado para uso agrícola y para mejorar las propiedades fisicoquímicas de los suelos (Escalante et al., 2016).
- Las vinazas: provienen del proceso de la fermentación y destilación de la caña de azúcar, siendo RROO subproductos de la obtención de alcohol. Es un líquido de color café con bajo pH, alto contenido de RROO disueltos y en suspensión (Boletín SEP, 2016); promueve el crecimiento de hongos formadores de micorrizas en las raíces, lo cual incrementa la eficiencia de la planta en la absorción de fósforo.
- La cachaza: también llamada torta de filtro por su apariencia esponjosa, es un subproducto orgánico consecuencia de la clarificación del jugo de caña. Se caracteriza por tener un pH ligeramente alcalino, alto contenido de azúcares, además de celulosa, hemicelulosa y ligninas (Soto, 2003; CINCAE, 2013).
- El bokashi: palabra japonesa que significa materia orgánica fermentada, es un abono orgánico proveniente de la fermentación aerobia de la materia orgánica en medio sólido. Esta enmienda provee nutrientes para las plantas, microorganismos nativos (extraídos de la primera capa de suelos de bosques con poca intervención), estructura y porosidad para el suelo. En general se elabora con una fuente de residuos animales (estiércol, gallinaza, etc.), polvillo de arroz, melaza, microorganismos nativos, tierra y harina de roca (FAO, 2011).
- Adsorbentes orgánicos: como sustancias húmicas (extraídas de leonardita o lignitos) o también la carbonilla (llamada black carbon, biocarbón o biochar).

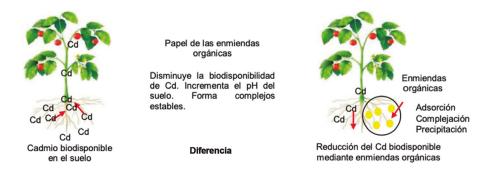
# Mecanismos de inmovilización del cadmio en el suelo por enmiendas orgánicas

Una representación esquemática del cadmio en las plantas y el efecto de como las enmiendas orgánicas pueden reducir su absorción se presenta en la Figura 1, donde se destaca que, al incrementarse los sitios de intercambio y la formación de complejos estables, decrece la biodisponibilidad del metal para ser absorbido por la planta. Si tales RROO contienen bases, el pH del suelo puede incrementar y de esa manera el cadmio puede estar menos biodisponible en la solución del suelo.

Otra de las formas en que las enmiendas orgánicas ayudan a la inmovilización del cadmio en el suelo es mediante reacciones de adsorción (Guía 3), debido a que la retención del metal se incrementa por el aumento de la capacidad de intercambio catiónico; sin embargo, se debe considerar que la concentración total de ese metal en el suelo no disminuye por efecto de la adsorción, sino lo que se reduce es su biodisponibilidad, siendo importante considerar que algunas enmiendas orgánicas pueden contener altos niveles de ese u otros metales pesados (MP); por lo tanto, antes de su aplicación, deben realizase los análisis de los RROO para determinar el contenido de nutrientes y metales pesados (Khan et al., 2017).

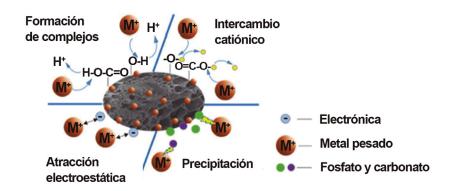
Huaraca et al. (2020), señalan que el uso de enmiendas orgánicas en suelos agrícolas con cadmio es factible, de rápida implementación, rentable y amigable con el medio ambiente (Figura 1), porque puede inmovilizar o reducir la solubilidad del cadmio al aumentar los sitios de unión por adsorción debido a la atracción electrostática entre el metal (catión) con la fase sólida del suelo, también puede incrementar el pH, que para suelos de

carga variable favorece a la capacidad de intercambio catiónico, la formación de precipitados del cadmio con carbonatos y fosfatos, y la formación de complejos estables con las sustancias orgánicas (Figura 2).



**Figura 1.** Posibles mecanismos de reducción de cadmio disponibles mediante enmiendas orgánicas.

Fuente: Huaraca et al. (2020).



**Figura 2.** Mecanismos de adsorción de cadmio por el biochar. Fuente: Traducido de Tan et al. (2020).

6

El enriquecimiento de la microbiología del suelo mediante el aporte de enmiendas como el bokashi, también puede contribuir a la inmovilización del cadmio y por lo tanto, reducir su biodisponibilidad para el cultivo. En efecto, dentro de la comunidad microbiológica del suelo se pueden encontrar bacterias u hongos capaces de favorecer la precipitación del metal (Bravo et al., 2018) o inclusive adsorber el cadmio sobre las paredes celulares (Li et al., 2020). Sin embargo, estos procesos biológicos son hasta ahora poco conocidos y se necesita de más estudios para entender mejor los mecanismos de inmovilización del cadmio por agentes microbiológicos, que en forma general se explican en la Guía 12.

Además, los nutrientes suministrados al suelo mediante las enmiendas orgánicas pueden entrar en competición con el catión Cd²+ a nivel de las raíces de las plantas y por lo tanto, disminuir la absorción del metal. En la literatura, son mencionados el Zn, Mg, Cu, Mn y Fe en particular como elementos importantes para la mitigación del cadmio en los cultivos, debido a que el cadmio penetra en las raíces por los mismos canales catiónicos presentes en las membranas de las células radiculares (Guía 3).



# Características físicas, químicas y biológicas de algunas enmiendas orgánicas

### 4.1 Características físicas

Un buen compost orgánico debe considerar entre sus propiedades físicas un tamaño de partícula que puede variar entre 2,0 a 4,0 mm, una densidad aparente < 0,4 g cm<sup>-3</sup> y un espacio poroso total > 85% (López et al., 2015).

El biochar o carbonilla tiene propiedades de ser carbón amorfo, de color negro, superficie intrincada y desordenada, cuyas características estructurales varían por el tipo del material del cual procede y por la temperatura, velocidad y tiempo de la pirólisis (Pariyar et al., 2020). Posee alta porosidad con micro, meso y macroporos (< 2,0; 2,0–50 y > 50 nm). Presenta muy baja densidad aparente, entre 0,30 a 0,43 g cm<sup>-3</sup>; su pH varía de ácido a alcalino, con una media de 8,1 y un intervalo entre 6,2 y 13,0 (Escalante et al., 2016).

### 4.2 Características químicas

Como propiedades fisicoquímicas, el compost tiene valores de pH con tendencia a neutra, ligeramente alcalina con valores reportados de 6,7 por Rivas y Silva (2020); 7,9 por Pérez et al. (2008); alcalina de 8,8 por Colín et al. (2019) o fuertemente alcalina de 9,9 por Durango et al. (2017). Rivas y Silva (2020), mencionan que los rangos recomendados de pH van de 5,0 a 8,5. La conductividad eléctrica (CE) debe ser menor a 8 dS m<sup>-1</sup>.

En los vermicompost, los valores de pH pueden variar de ácido a ligeramente alcalino, encontrándose valores de 5,5 (Pérez et al., 2008); 7,3 (Durango et al., 2017) y 7,9 (Durán y Henríquez, 2007).

El contenido de materia orgánica de las compostas y los vermicompost debe ser > 50%, lo que representa un 29% de carbono (C); el punto óptimo de humedad puede variar de forma general entre el 30% y el 35% en base seca y gravimétrica, y con base en el peso del Material Secado (MS) en la estufa durante 36 a 48 horas a 65 °C (Gallardo, 2015; Suquilanda, 2017).

Los contenidos de nutrientes en las compostas suelen ser bajos, con valores para N, P, Ca, Mg y K < 2,0, < 1,0, < 2,0, < 1,0 y < 3,0% respectivamente (Ruiz et al., 2007; Durango et al., 2017; Pérez et al., 2008). Mientras que para los vermicompost, se ha reportado contenidos < 3,0; < 2,0; < 4,0; < 2,0; < 1,0% para N, P, Ca, Mg y K, respectivamente (Alvarado y Briceño, 2002; Cerrato et al., 2007; Durango et al., 2017; Pérez et al., 2008).

El biochar o carbonilla presenta una composición química muy variable, dependiendo del material que proviene; así, una carbonilla proveniente de árboles de quercíneas (encinas y robles) posee 91%; 7,2% y 1,7% de C, O e H, respectivamente (Cheng et al., 2008), mientras que una carbonilla de arroz presentó 81%, 9,1% y 2,8% de C, O e H, respectivamente, lo cual indica su amplia variabilidad y dependencia del material de origen. Tiene una CIC muy variable, que puede llegar hasta 40 cmol kg<sup>-1</sup> (Escalante et al., 2016). En su superficie, el biochar presenta grupos oxigenados que pueden formar complejos con el cadmio y asi inmovilizarlo. Esta última característica depende en parte de la temperatura de pirólisis y según Ahmad et al. (2014), las bajas temperaturas (300–400 °C) favorecen la presencia de aquellos grupos oxigenados al comparar con biochars producidos a temperaturas más altas (alrededor de 600 °C).

Con respecto al *bokashi*, se reportan en la literatura, valores de nutrientes variables dependiendo de los insumos empleados para su elaboración. La mayor fuente de información acerca de la composición de abonos fermentados sigue siendo: tesis, informes y pocas revistas

científicas. Distintos estudios (Dávila, 2019; Marchive, 2020; Saavedra, 2016; Muñoz, 2008 y Agüero et al., 2014) han reportado los siguientes niveles de nutrientes: valores entre 0,86 y 3,19% para N; entre 0,29 y 0,58% P; entre 1,31 y 4,22% K; 14 y 281 mg kg $^{-1}$  Cu; entre 1720 y 7871 mg kg $^{-1}$  Fe; entre 200 y 1050 mg kg $^{-1}$  Mn; entre 572 y 5620 mg kg $^{-1}$  Mg y entre 63 y 481 mg kg $^{-1}$  Zn.

La *vinaza* tiene una composición química variable, dependiendo de factores como el origen de los materiales, el tipo y la operación del proceso de destilación. Su pH puede estar entre 4,5 y 5,4 (Aristizábal, 2015; Boletín SEP, 2016). El K inorgánico es su componente más abundante, la mayoría del N orgánico está en forma coloidal y es lentamente mineralizado. El K, Ca y Mg se encuentran en forma soluble; contienen también Py microelementos (como Mn, Cu o Zn), y el C orgánico fluctúa entre el 19 y el 45% (Pérez et al., 2015).

### 4.3 Características biológicas

Las compostas pueden presentar poblaciones de microorganismos aerobios mesofílicos de 6,5 log UFC g $^{-1}$  (Unidades Formadoras de Colonias), de hongos y levaduras de 3,7 log UFC g $^{-1}$ y de actinomicetos de 3,8 log UFC g $^{-1}$  (Pérez et al., 2008). De la misma manera, estos autores determinaron en el vermicompost, poblaciones de microrganismos aerobios mesofílicos de 6,7 log UFC g $^{-1}$ , de hongos y levaduras de 4,3 log UFC g $^{-1}$ y de actinomicetos 3,0 log UFC g $^{-1}$ . Sin embargo, estas poblaciones pueden incrementar o disminuir, dependiendo de los materiales que se utilizaron para su elaboración.

El biochar o carbonilla puede ser portador de microorganismos como los hongos micorrízicos o *Rhizobium*, por lo que su adición al suelo permite incrementar sus poblaciones y niveles de infección (Escalante et al., 2016).

En el estudio de Agüero et al. (2014) evaluaron los microorganismos presentes en un *bokashi* proveniente de residuos de plátano en Panamá; ellos encontraron las siguientes poblaciones a los 21 días de la fabricación de la enmienda: 9,7x10<sup>7</sup> UFC g<sup>-1</sup> de bacterias, 5,4x10<sup>3</sup> UFC g<sup>-1</sup> de actinomicetos, 2,7x10<sup>3</sup> UFC g<sup>-1</sup> de hongos, < 10<sup>3</sup> UFC g<sup>-1</sup> de levaduras y 2,2x10<sup>7</sup> UFC g<sup>-1</sup> de

### lactobacillus.

Las vinazas, por su contenido de melanoidinas (que son polímeros de estructura compleja y resistente a la degradación), pueden resultar tóxicos para muchos organismos. Sin embargo, debido a su composición química se les considera dentro del grupo de las substancias prehúmicas (compuestos que ennegrecen en el suelo y pueden transformarse en substancias húmicas a corto plazo), por lo que una vez englobadas en el suelo permiten incrementar la población y la actividad microbiana a medio plazo (Chafón y Lorenzo, 2014).

5. Estudios de factibilidad de uso de diferentes enmiendas orgánicas y su influencia en la biodisponibilidad del cadmio en el suelo

### 5.1 Estudios de uso de diferentes enmiendas orgánicas

Varios estudios relacionados con la aplicación de las enmiendas orgánicas han reportado una reducción del cadmio disponible y del absorbido por las plantas; así, Han–Song et al. (2010), utilizando un compost a dosis de 30, 60, 90 y 120 g por kg de suelo, verificaron una transformación del 47,8% al 69,8% de cadmio soluble de la fase intercambiable a la fracción orgánica, lo cual consecuentemente disminuyó la absorción de este metal en la col china (*Brassica chinensis* L.) del 56,2% al 62,5% comparado con el suelo sin enmendar, atribuyendo el efecto a la disminución de la biodisponibilidad del cadmio por la aplicación de la composta, principalmente al incrementar el pH del suelo y por la formación de complejos de la materia orgánica del suelo con el metal; además, mencionaron que este método de remediación resultó de bajo costo y que parece ser muy efectivo en la restauración de suelos contaminados con cadmio.

En el cultivo de arroz Juang et al. (2012), sugieren que la efectividad del compost (al 5%) para estabilizar el cadmio en el suelo y reducir su fitodisponibilidad es más rápida en suelos ácidos que en suelos alcalinos, debido a que en estos últimos, las fracciones de cadmio fuertemente ligadas (cadmio enlazado con carbonato y óxido de Fe y Mn) están en mayor cantidad que las débilmente ligadas, por lo tanto, se necesita un

período más largo para redistribuir las fracciones de cadmio y disminuir la disponibilidad y la absorción de las plantas.

Evaluando varias enmiendas orgánicas, después de 28 días de crecimiento de arroz, do Pinto et al. (2016), cuantificaron el cadmio remanente en diferentes sustratos, observando que el sustrato tratado con vermicompost tuvo altas cantidades de cadmio disponible e intercambiable; sin embargo, el arroz sembrado en este mismo sustrato tuvo bajos contenidos de cadmio acumulado en sus tejidos, lo que sugiere que el cadmio presente en el sustrato (1 kg de suelo) tratado con vermicompost (200 g) no se liberaba fácilmente y por lo tanto, presentó una fuerte capacidad de retención del metal.

Usando una dosis de 33,3% de carbonilla (biochar) de madera como enmienda en suelos contaminados con metales pesados, tras una incubación de 60 días, Beesley et al. (2010), lograron reducir significativamente las concentraciones de cadmio, disminuyendo de 1,1 a 0,38 mg kg<sup>-1</sup> de cadmio. Por su parte, Zhang et al. (2013), reportaron que después de tres semanas de incubación de carbonilla al 5% en un suelo contaminado con cadmio, disminuyó la disponibilidad del metal, así mismo se determinó que la eficiencia de inmovilización del metal fue mayor al 80%; también observaron menor concentración de cadmio en los tejidos de juncos (Juncus subsecundus) sembrados en estos suelos tratados con este biochar.

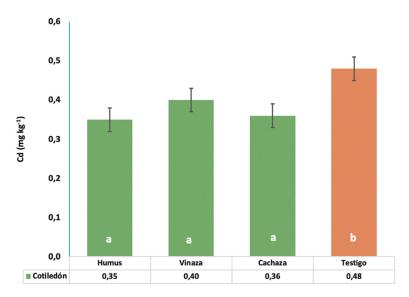
Yang et al. (2015), mencionaron que la concentración de los metales pesados (Cd, Cu, Pb, y Zn) extraídos con  $CaCl_2$  decreció significativamente con el incremento de la adición de las dosis de 1 al 5% de biocarbón de bambú y biocarbón de paja de arroz. En comparación con el control, solo la dosis del 5% de biocarbón de paja de arroz grueso y fino redujo significativamente (P < 0,05) la concentración de cadmio extraíble en 17,7 y 25,8%, respectivamente.



# 5.2 Estudios de uso de diferentes enmiendas orgánicas en cacao

Se realizó un trabajo de investigación en campo para evaluar el efecto de varias enmiendas orgánicas aplicadas al suelo, en dosis de 1,0 t ha<sup>-1</sup>, sobre las variaciones de la concentración de cadmio total en el cotiledón de cacao en tres fincas de productores en las provincias de Manabí, El Oro y Santa Elena (INIAP, 2015).

En Manabí (Figura 3), se evaluaron las siguientes enmiendas orgánicas: humus, vinaza y cachaza. Donde a los 24 meses de la aplicación de las tres enmiendas disminuyó la concentración de cadmio en el cotiledón, comparado con el testigo. El humus presentó la menor concentración de cadmio con un valor 0,35 mg kg<sup>-1</sup> comparado con el testigo (0,48 mg kg<sup>-1</sup>), que representa alrededor de 27% de reducción de cadmio en el cotiledón.



**Figura 3.** Concentración de cadmio en el cotiledón del cacao por efecto de la aplicación de enmiendas orgánicas en dosis de 1,0 t ha<sup>-1</sup> en el suelo. Canuto, Manabí. Fuente: INIAP (2015).

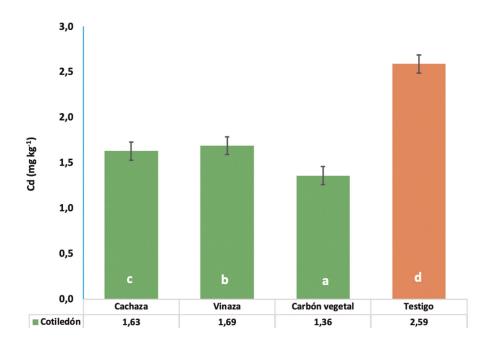








En la provincia de El Oro, se evaluaron tres enmiendas orgánicas: cachaza, vinaza y carbón vegetal, encontrando que todas redujeron los contenidos de cadmio en el cotiledón con respecto al testigo a los 24 meses después de las aplicaciones (Figura 4). Las enmiendas fueron estadísticamente diferentes entre sí (P  $\leq$  0,05). La enmienda que presentó una mayor eficiencia fue el carbón vegetal, que disminuyó la concentración de cadmio en el cotiledón de 2,59 mg kg $^{-1}$  del testigo a 1,36 mg kg $^{-1}$ , lo que significa una disminución de alrededor del 48%.

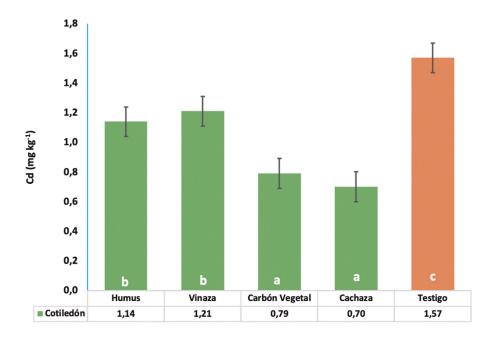


**Figura 4.** Concentración de cadmio en el cotiledón del cacao por efecto de la aplicación de enmiendas orgánicas en dosis de 1,0 t ha<sup>-1</sup> en el suelo. Santa Rosa, El Oro.

Fuente: INIAP (2015).



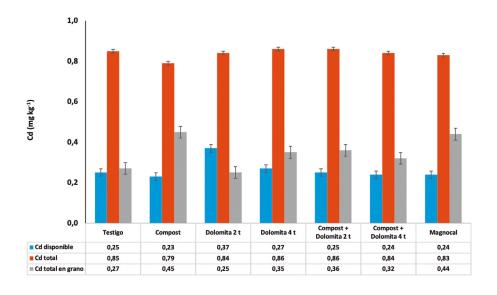
Para el caso de la finca de Santa Elena (Figura 5), se aplicaron las enmiendas orgánicas: humus, vinaza, carbón vegetal y cachaza, las cuales redujeron significativamente la concentración del cadmio en el cotiledón, encontrándose el mayor efecto con la cachaza y el carbón vegetal (0,70 y 0,79 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente), lo que significó el 55% y 50% menos de cadmio en el cotiledón al compararse con el testigo (1,57 mg kg<sup>-1</sup>).



**Figura 5.** Concentración de cadmio en el cotiledón del cacao por efecto de la aplicación de enmiendas orgánicas en dosis de 1,0 t ha<sup>-1</sup> en el suelo. Cerecita, Santa Elena.

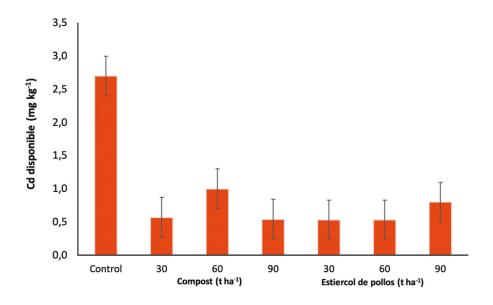
Fuente: INIAP (2015).

En la región de Huánuco (Perú) en una plantación de cacao sembrada con el clon CCN-51 de 14 años de edad, se evaluó la adición de dolomita (20,58% MgO; 30,04% CaO) en las dosis de 2,0 y 4,0 t ha<sup>-1</sup>; magnocal (2,25% MgO; 11,70% CaO; 1,17% P2O5; 7,80% S) en la dosis de 3,0 t ha<sup>-1</sup> y una enmienda orgánica (compost), en dosis de 30 t ha<sup>-1</sup> (solas y combinadas); se encontró que con la adición del compost (Figura 6), se consiguió disminuir muy poco el contenido de cadmio total (0,79 mg kg<sup>-1</sup>) y disponible (0,23 mg kg<sup>-1</sup>); sin embargo, este tratamiento no tuvo respuesta de reducción del cadmio en el grano (cotiledón más cáscara) de cacao, ya que presentó el mayor contenido (0,45 mg kg<sup>-1</sup>) respecto a los demás tratamientos y el testigo (Dávila, 2019).



**Figura 6.** Contenidos de cadmio en el suelo y en el grano de cacao. Fuente: Adaptado de Dávila (2019).

En la investigación en campo realizada por Dávila et al. (2020), donde se aplicaron altas dosis de compost con 98% MS (30, 60 y 90 t ha-1) y estiércol de aves de corral con 42% MS (30, 60 y 90 t ha-1), observaron una disminución del cadmio disponible en el suelo, cuando se aplicaron estas enmiendas (Figura 7). Los contenidos de cadmio disponibles en el suelo disminuyeron significativamente (alrededor del 75%) con las enmiendas orgánicas en todas las dosis en relación con el tratamiento control.

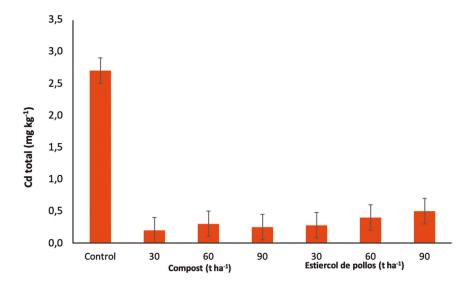


**Figura 7.** Disminución de cadmio disponible en el suelo por efecto de la aplicación de enmiendas orgánicas en tres dosis.

Fuente: Adaptado de Dávila et al. (2020).



En la Figura 8 se muestra el efecto de las enmiendas orgánicas aplicadas al suelo sobre el contenido total de cadmio en el cotiledón; se consiguió disminuir significativamente cerca de un 95% de la concentración inicial de cadmio determinada en el grano de cacao.



**Figura 8.** Disminución de cadmio en los granos de cacao por efecto de la aplicación de enmiendas orgánicas en tres dosis.

Fuente: Adaptado de Dávila et al. (2020).

De los estudios realizados por Dávila et al. (2019 y 2020), a los 24 meses de aplicación de compost en dosis de 30 t ha-1 (Figura 7), la diferencia de cadmio disponible entre el control y esta aplicación es muy débil (0,23 mg kg-1) en comparación con el testigo (0,25 mg kg-1), del orden del error analítico. Mientras que en el estudio de 2020, la aplicación de la misma dosis de compost, la diferencia de cadmio disponible entre el control y la enmienda es muy alta (0,55 mg kg-1) en comparación con el testigo (2,7 mg kg-1). Esto nos lleva a observar que cuando el contenido de cadmio en los suelos es alto (cadmio total > 1 mg kg-1), la aplicación de enmiendas orgánicas es eficiente, mientras que si la concentración del cadmio es baja la aplicación de la enmienda no es efectiva.

19

# 6. Consideraciones generales para la aplicación de enmiendas orgánicas

Para el uso adecuado de las enmiendas orgánicas aplicadas en campo para reducir las concentraciones de cadmio en las almendras de cacao se debe considerar que:

- Para determinar la presencia de cadmio en una plantación de cacao, es necesario realizar un análisis de suelos y de almendras (guías 4, 5 y 6), y en caso de presentarse este metal, será necesario establecer trabajos de mitigación como la aplicación de las enmiendas orgánicas.
- Considerar que previo al uso de las enmiendas orgánicas, estas deben ser analizadas en un laboratorio, para determinar parámetros como la materia orgánica > 50% (alrededor de un 29% de C), contenido de humedad menor al 30% y ausencia o contenido mínimo de metales pesados, incluyendo el cadmio. Por ejemplo, los resultados obtenidos por Marchive (2020) de análisis de cadmio de biochar realizado con mazorcas de cacao Nacional elaborados por productores de cacao en la provincia de Guayas (Ecuador) mostraron niveles altos de cadmio: 4,7 mg Cd kg<sup>-1</sup> en mazorcas sanas y 13,6 mg Cd kg<sup>-1</sup> en mazorcas enfermas. Por lo tanto, no es recomendable aplicar biochar proveniente de residuos de cacao para mitigar cadmio en suelos cacaoteros, pero de otras plantas si (como por ejemplo de banano o de guabo).
- Aunque las enmiendas orgánicas del suelo no se volatilizan, en las fincas que no tengan un sistema de riego, es preferible realizar una aplicación al inicio de la época lluviosa y otra al finalizar; mientras que en las fincas con sistema de riego, es indiferente la época de aplicación, aunque se puede fraccionar en cuatro dosis cada tres

meses. La aplicación de estas enmiendas puede ser realizada a una profundidad de 20 cm dentro del suelo alrededor de cada árbol, para evitar este riesgo, o sino tapar con la hojarasca para proteger las enmiendas.

- En plantaciones menores a tres años (Figura 9), la aplicación de enmiendas orgánicas deberá ser realizada en la zona de mayor concentración de raíces absorbentes (área de la corona o gotera de las ramas).
- En plantaciones mayores a tres años, las enmiendas orgánicas se las podrá aplicar al voleo en la calle a lo largo de la hilera, tratando de cubrir toda el área (Figura 10). Es importante cubrir las enmiendas con la hojarasca para evitar la exposición directa al sol que puede alterar la calidad química y biológica de las enmiendas.
- En caso de las enmiendas líquidas (como la vinaza), al ser muy espesas se hace difícil aplicarlas directamente al campo, por lo que se sugiere pesar el volumen para estimar su peso en t ha-1, luego diluir en agua y aplicar con bomba de mochila (Figura 11).



**Figura 9.** Aplicación de carbón vegetal en una plantación joven de cacao para disminuir la disponibilidad de cadmio en suelos.



**Figura 10.** Aplicación de enmiendas orgánicas en plantación adulta de cacao para disminuir la disponibilidad de cadmio en suelos.



**Figura 11.** Secuencia de la preparación y aplicación de vinaza en plantación de cacao para disminuir la disponibilidad de cadmio en suelos.

### 7. Conclusiones

- El uso de enmiendas orgánicas aplicadas al suelo, ha reportado resultados significativos en la disminución de la biodisponibilidad de cadmio en varios cultivos, incluido el cacao.
- La eficiencia del biochar o carbonilla en reducir la biodisponibilidad del cadmio depende del material de origen y de las condiciones de fabricación como la temperatura de pirólisis y el tiempo de residencia.
- La aplicación de enmiendas orgánicas puede ser considerada como una estrategia para la mitigación de cadmio en suelos con altos contenidos de este metal pesado.
- La aplicación de enmiendas orgánicas y/o combinada con inorgánicas, no garantiza por sí sola la disminución de la concentración de cadmio en el cotiledón del cacao si estas no han sido previamente estudiadas y validadas por la autoridad competente, ya que podrían constituir una fuente de contaminación en ciertos casos.
- El análisis de suelos y enmiendas es, por lo tanto, fuertemente recomendado para ajustar las dosis de enmiendas al grado de remediación necesaria en el caso de contaminación de los suelos por metales pesados. También son importantes para evitar reintroducir los contaminantes en el suelo por elaboración de enmiendas conteniendo dichos elementos.
- Las investigaciones para disminuir los contenidos de cadmio en los granos de cacao, deben continuar evaluando diversas enmiendas orgánicas en las diferentes zonas cacaoteras del país para aportar soluciones viables en los diferentes contextos productivos (clima, suelo, sistemas productivos), porque la mayoría de los estudios se han realizado a nivel de laboratorio e invernadero.

### 8. Recomendaciones:

- Considerar la aplicación de 1 t ha<sup>-1</sup> de enmiendas orgánicas al suelo para disminuir la disponibilidad de cadmio en suelos.
- Verificar mediante el análisis en el laboratorio que la enmienda orgánica a aplicar no contenga cadmio en su composición y de preferencia su pH sea alcalino.
- Comprobar que el producto comercial esté registrado y autorizado por la autoridad competente.
- Si bien aún, no se cuenta con una solución específica para enmendar suelos con presencia de cadmio y mitigar su absorción al 100%, las siguientes fuentes orgánicas y sus consideraciones generales pueden disminuir su absorción parcialmente:

Fuente	Consideraciones para su uso	Duración de la enmienda
Humus, cachaza, carbón vegetal	Los suelos deben estar húmedos para que las enmiendas actúen en la inmovilización del cadmio. Pueden aplicarse en suelos con diferente rango de pH. Sin embargo, se debe limitar en condiciones alcalinas.	Debido a su naturaleza orgánica y a las condiciones ambientales puede variar su efectividad en los suelos, por lo que deben fraccionarse al menos en dos aplicaciones al año.
Vinaza	Recomendada especialmente para suelos pobres, livianos (elevado contenido de arena), baja capacidad de intercambio catiónico o porcentaje de materia orgánica.	Por ser una enmienda orgánica líquida y según las condiciones ambientales su aplicación debe ser bimensual.

### 9. Referencias

- Agüero D.R., Alfonso E.T., Carreño F.S., Rodríguez J.A.C. (2014). Bocashi: abono orgánico elaborado a partir de residuos de la producción de platanos en Bocas del Toro, Panama. Cultivos Tropicales. 35 (2), 90–97.
- Ahmad, M., Rajapaksha, A.U.; Lin, J.E., Zhang, M.; Bolan, N., Mohan, D., Vithanage, M., Lee, S.S.,Ok, Y.S (2014). Biochar as a sorbente for contaminant managment in soil and water A review. Chemosphere volume 99. Pp19–33.
- Alvarado, G., y Briceño, J. (2002). Análisis químico de materiales orgánicos de uso agrícola. En: Materia orgánica: Características y uso de insumos orgánicos en suelos de Costa Rica. J. Briceño., J. Chaverri., G. Alvarado., A. Gadea. (eds.). EUNA, Heredia, Costa Rica.
- Beesley, L., Moreno-Jiménez, E., & Gómez-Eyles, J.L. (2010). Effects of biochar and green-waste compost amendments on mobility, bioavailability and toxicity of inorganic and organic contaminants in a multi-element polluted soil. Environmental Pollution 158 (6): 2282–2287.
- Boletín SEP. (2016). Vinazas: Alternativas de uso. Nota informativa sobre innovaciones en materia de productividad del sector. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/171932/Nota\_Informativa\_Septiembre\_Vinazas.pdf Consultado el 25/06/2020. 12 pp.
- Bravo D., Pardo-Diaz S., Benavides-Erazo J., Rengifo-Estrada G., Braissant O. y Leon-Moreno C. (2018). Cadmium and cadmium-tolerant bacteria in cacao crops from northeastern Colombia. Journal of Applied Microbiology.
- Cerrato, M., Leblanc, H., y Kameko, C. (2007). Potencial de mineralización de nitrógeno de bokashi, compost y lombricompost producidos en la Universidad EARTH. Tierra Tropical 3(2): 183–197.

- Chaoui, H., Zibilske, L., & Ohno, T. (2003). Effects of earthworm cast and compost on soil microbial activity and plant nutrient availability Soil Biology and Biochemistry, 35(2): 295–302.
- Cheng, C.H., Lehmann, J., & Engelhard, M.H. (2008). Natural oxidation of black carbon in soils: Changes in molecular form and surface charge along a climosequence. Geochimica et Cosmochimica Acta. 72 (6): 1598–1610.
- CINCAE, Centro de Investigación de la Caña de Azúcar del Ecuador (2013), Utilización de subproductos de la caña de azúcary de la industria alcoholera ecuatoriana para uso en la fertilización en los cultivos de caña. Disponible en: https://cincae.org/wp-content/uploads/2013/05/utilizacion-de-subproductos-de-la-cana-de-azucar-y-de-la-in-dustria-alcoholera-ecuatoriana-para-uso-en-la-fertiliza-cion-en-los-cultivos-de-cana1.pdf
- Colín, V., Domínguez, I., Olivares, J., Castelán, O., García, A., y Avilés, F. (2019). Propiedades químicas y microbiológicas del estiércol caprino durante el compostaje y vermicompostaje. Agrociencia 53 (2): 161–173.
- Correa, F., y López, G. (2007). Abonos orgánicos sólidos, maduración y eficiencia. Revista Teoría y Praxis investigativa 2(2): 61–65.
- Dávila, C. (2019). Uso de enmiendas en la reducción del contenido de cadmio en el suelo y en los granos del cacao (*Theobroma cacao* L.) clon ccn–51. Tesis de Maestro en Ciencias Agrícolas, Universidad de Tingo María, Perú. 127 p.
- Dávila, C., Reyes, L., Aldoradin, E., Londoño P., & Alemán J. (2020). Cd and Pb reduction in cocoa (*Theobroma cacao*) nib using two organic amendments. Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales 7(1): 20–29.
- do Pinto, T., Garcia, A.C., do N Guedes, J., do A Sobrinho, N.M., Tavares, O.C.,

- & Berbara, R.L. (2016). Assessment of the Use of Natural Materials for the Remediation of Cadmium Soil Contamination. PLoS ONE 11(6): 1–14.
- Durán, L., y Henríquez (2000). Caracterización química, física y microbiológica de cinco vermicompostes producidos a partir de cinco sustratos orgánicos. Agronomía Costarricense, 31(1):41–51.
- Durango W., Uribe L., Henríquez C., y Mata, R. (2017). Efecto residual de la adición de dos abonos orgánicos en un Andisol y un Ultisol sobre la concentración de macronutrientes en sorgo (Sorghum bicolor), bajo invernadero. Alfa, Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinarias. 1 (1): 29–38.
- Escalante, A.M., Pérez, G., Hidalgo, C., López, J., Campo, J; Valtierra, E., y Etchevers, J.D. (2016). Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. México. Terra Latinoamericana, 34(3): 367–382.
- Gallardo, J.F. (2015). La materia orgánica del suelo. Ed. SiFyQA, Salamanca (España). 392 pp.
- Han-Song, CHEN., Huang, Q.Y., Li-Na, LIU., Peng, CAI., Liang, W., & Ming, LI. (2010). Poultry manure compost alleviates the phytotoxicity of soil cadmium: influence on growth of pakchoi (Brassica chinensis L.). Pedosphere 20 (1): 63–70.
- He, S., He, Z., Yang, X., Stoffella, P.J., &Baligar, V.C. (2015). Chapter Four: Soil biogeochemistry, Plant Physiology, and Phytoremediation of Cadmium–Contaminated Soils. In: Advances in Agronomy, D.L. Sparks (edt.), 134: 135–225.
- Huaraca, J., Pérez, L., Bustinza, L., y Pampa, N. (2020). Enmiendas orgánicas en la inmovilización de cadmio en suelos agrícolas contaminados: una revisión. Información tecnológica, 31(4), 139–152.

- INIAP. (2015). Informe técnico anual del Departamento de Manejo de Suelos y Aguas de la Estación Experimental Tropical Pichilingue (EETP), Quevedo, Ecuador INIAP, Quito (Ecuador). pp. 29–60.
- Juang, K.W., Ho, P.C., & Yu, C.H. (2012). Short-term effects of compost amendment on the fractionation of cadmium in soil and cadmium accumulation in rice plants. Environ. Sci. Pollut. Res., 19 (5): 1696–1708.
- Khan, M. A., Khan, S., Khan, A., & Alam, M. (2017). Soil contamination with cadmium, consequences and remediation using organic amendments. Science of The Total Environment, 601–602: 1591–1605.
- Li Q., Zhang P., Zhou H., Peng P., Zhang K., Mei J-X., Li J. y Liao B-H. (2020). Effects of Cd-resistant bacteria and calcium carbonate + sepiolite on Cd availability in contaminated paddy soils and on Cd accumulation by brown rice grains. Ecotoxicology and Environmental Safety. 195.
- López, X., Robles, C., Velasco, V., Ruiz, J., Enríquez, J., y Rodríguez, G. (2015). Propiedades físicas, químicas y biológicas de tres residuos agrícolas compostados. Ciencia Ergo Sum 22(2): 145–152.
- Marchive L. (2020). Propriétés des sols et amendemens organiques dans le contrôle du transfert sol-plante du Cd. Tesis de titulacion de Ingenieria en Agronomia, Laboratorio GET, Toulouse, Francia. 58 pp.
- Muñoz L.P.R. (2008). Evaluacion de dos sustratos en la técnica de landfarming para el tratamiento de suelos contaminados por hidrocarburos. Tesis de grado previo a la obtención del titulo de Ingeniera en Biotecnología Ambiental, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- Nogales, R. (2010). Indicadores biológicos para la evaluación de la calidad de los suelos, En: Memorias XII Congreso Ecuatoriano de la ciencia del suelo. Noviembre 2010. Santo Domingo de los Tsáchilas, EC. pp.: 17–19. 14 pp.

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentacion y la Agricultura, FAO (2011). Elaboración y uso del Bokashi. Programa especial para la seguridad alimentaria PESA en El Salvador.
- Pariyar P., Kumari K., Jain M. K., Jadhao P. S. (2020). Evaluation of change in biochar properties derived from different feedstock and pyrolisis temperature for environmental and agricultural application. Science of the Total Environment. 713.
- Pérez, A., Céspedes, C., y Núñez, P. (2008). Caracterización fisicoquímica y biológica de enmiendas orgánicas aplicadas en la producción de cultivos en República Dominicana. J. Soil Sc. Plant Nutr. 8 (4): 10–29.
- Pérez, H., Rodríguez, I., y Arzola, N. (2015). Aprovechamiento sostenible de los residuos de origen orgánico y la zeolita en la agricultura. Ediciones UTMACH. Machala, Ecuador. 248 pp.
- Rivas, M., y Silva, R. (2020). Calidad física y química de tres compost, elaborada con residuos de jardinería, pergamino de café y bora (Eichhornia Crassipes). CIENCIA UNEMI, 13(32), 87–100.
- Ruiz C., Russián T., y Tua D. (2007). Efecto de la fertilización orgánica en el cultivo de la cebolla. Agronomía Tropical 57(1): 7–14.
- Saavedra A. (2016). Efecto del compost de residuos solidos municipales biodegradables y del bokashi en el crecimiento de plantones de cacao (*Theobroma cacao* L.), en Tingo Maria. Tesis para optar el titulo de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo Maria, Perú.
- Smith, J., & Collins H. (2007). Management of organisms and their processes in soils. En: E. Paul. (Ed). Soil Microbiology and Biochemistry 2007. Academic Press. Pp.: 471–502.
- Soto, G. (2003). Abonos orgánicos, Principios, aplicaciones e impacto en la agricultura. En: G. Meléndez (ed.), Abonos orgánicos: Definiciones y

- procesos. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), San José, C.R. Pp.: 20–49.
- Soto, G., y Meléndez G. (2004). Cómo medir la calidad de los abonos orgánicos. Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica), 72: 91–97.
- Suquilanda, M. (2006). Serie Agricultura orgánica. 3ª edición. Fundación para el desarrollo agropecuario, Quito, EC. Pp.: 121–128 y 172–203.
- Suquilanda, M. (2017). Manejo agroecológico de suelos, impreso en Empresa Publica Medios Públicos del Ecuador Quito, Ecuador. Quito, EC. 298 p.
- Tan Z., Yuan S., Hong M., Zhang L. y Huan Q. (2020). Mechanism of negative surface charge formation on biochar and its effect on the fixation of soil Cd. Journal of Hazardous Materials. 384.
- Yang, X., Liu, J., McGrouther, K., Huang, H., Lu, K., Guo, X., He, L., Lin, X., Che, L., Ye, Z., &Wang H. (2015). Effect of biochar on the extractability of heavy metals (Cd, Cu, Pb, and Zn) and enzyme activity in soil. Environmental Science and Pollution Research. 23: 974–984.
- Zhang, Z., Solaiman, Z.M., Meney, K., Murphy, D.V., & Rengel, Z. (2013). Biochars immobilize soil cadmium, but do not improve growth of emergent wetland species Juncus subsecundus in cadmium-contaminated soil. I. Soil Sediment, 13: 140–151.

La "colección de guías sobre recomendaciones y buenas prácticas para la prevención y mitigación de la contaminación de cadmio" es el resultado del esfuerzo de diferentes actores que, bajo la coordinación del Ministerio de Agricultura y Ganadería, han rescatado y sistematizado conocimientos y buenas prácticas, generadas por investigadores y técnicos nacionales e internacionales, útiles para prevenir y mitigar la contaminación por cadmio en la cadena del cacao. Las publicaciones que componen esta colección han sido elaboradas, publicadas y difundidas gracias al apoyo de las siguientes instituciones y organizaciones:







agricultura.ec

✓ AgriculturaEcuador

**Dirección:** Av. Eloy Alfaro N30-350 y Av. Amazonas

Código postal: 170516 / Quito-Ecuador, Teléfono: 593-2 396-0100

