



Enmiendas líquidas orgánicas en la reducción de cadmio en suelo, hojas y almendras de cacao

Organic liquid amendments in the reduction of cadmium in soil, leaves and cocoa beans

José Wilfredo Zavala-Solorzano¹; Daniela Nicole Repoma-Rodríguez¹; Ceila Paquita Lao-Olivares^{1,*}; Jhon Kenet Aguilar-Guizado²

¹ Facultad de Agronomía, Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, Perú.

² Facultad de Economía, Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, Perú.

ORCID de los autores

J. W. Zavala-Solorzano: <https://orcid.org/0000-0002-2990-6290>

D. N. Repoma-Rodríguez: <https://orcid.org/0000-0001-9844-6171>

C. P. Lao-Olivares: <https://orcid.org/0000-0002-0125-2133>

J. K. Aguilar-Guizado: <https://orcid.org/0000-0002-2988-2348>

RESUMEN

El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de la aplicación de dos enmiendas orgánicas (biol y carbón líquido) en el cadmio del suelo, hojas y almendras del cultivo de cacao, plantación CCN-51 (*Theobroma cacao* L.), de cinco años de producción, en la provincia de Huamálies, región Huánuco, Perú. La investigación utilizó un diseño de bloque completamente randomizado (DBCR) con arreglo factorial de 3 x 3 + 1 testigo adicional. Se evaluó el cadmio total en el suelo, hojas y almendras del cacao. Se determinó el menor contenido de cadmio total en el suelo al aplicar 50 L/ha de biol (0,13 ppm de cadmio) y al aplicar 4 L/ha de carbón líquido (0,12 ppm de cadmio); mientras que, sin la aplicación de enmiendas líquidas orgánicas el valor promedio fue 0,36 ppm de cadmio. Asimismo, el T5 (80 L/ha de biol + 4 L/ha de carbón líquido) disminuye el contenido de cadmio disponible del suelo en 73,58%; mientras el T4 disminuye en 43,83% y 62,96% el contenido de cadmio en las hojas y almendras respectivamente.

Palabras clave: Enmiendas; mitigación; cadmio en almendras; cacao; carbón líquido.

ABSTRACT

The objective of the study was to evaluate the effect of the application of two organic amendments (biol and liquid carbon) on the cadmium of the soil, leaves and almonds of the cocoa crop, plantation CCN-51 (*Theobroma cacao* L.), five years of production, in the province of Huamálies, Huánuco region, Peru. The research used a completely randomized block design (RCDB) with a factorial arrangement of 3 x 3 + 1 additional control. Total cadmium in the soil, leaves and cocoa beans was evaluated. The lowest content of total cadmium in the soil was determined when applying 50 L/ha of biol (0.13 ppm of cadmium) and when applying 4 L/ha of liquid carbon (0.12 ppm of cadmium); while, without the application of organic liquid amendments, the average value was 0.36 ppm of cadmium. Likewise, T5 (80 L/ha of biol + 4 L/ha of liquid carbon) reduces the available cadmium content of the soil by 73.58%; while T4 decreases the cadmium content in leaves and almonds by 43.83% and 62.96%, respectively.

Keywords: Keywords: Amendments; mitigation; cadmium in almonds; cocoa; liquid carbon.

1. Introducción

El cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el Perú es de gran importancia económica (Florida et al., 2018) y según el MINAGRI (2019) el cacao de la región Huánuco se encuentra entre los siete (7) mejores productos del Perú, luego de haber sido analizados por panelistas nacionales e internaciones; asimismo, Huánuco exportó 2000 t de cacao orgánico a Europa (SENASA, 2018). Sin embargo, la producción orgánica de cacao, en el Perú, atraviesa problemas por el uso indiscriminado de fertilizantes sintéticos que incrementan el nivel de metales pesados en los granos de cacao (Rosales et al., 2021); Huamani (2016) reportó para la zona de Tingo María 1,53 y 0,53 ppm de cadmio en los granos de cacao y en el suelo respectivamente, cantidad superior a los límites máximos permitidos de cadmio en cacao en polvo (0,6 ppm) y cacao seco en grano (0,5 ppm), según el Reglamento UE (Unión Europea) No. 488 / 2014, vigente a partir del 1 de enero del 2019 (Jiménez, 2015), poniendo en riesgo las exportaciones a la UE.

Investigaciones recientes dan a conocer el elevado nivel de cadmio en el suelo y en las plantas en determinados lugares del Perú. En Leoncio Prado, Huánuco, Perú, el contenido de cadmio en el suelo y almendra es superior al límite permitido por la UE (Florida et al., 2018); igualmente, en las regiones de Amazonas y Piura (Arévalo-Gardini et al., 2017) lo que podría generar problemas para el consumo y a la exportación de los productos. Los metales pesados en los suelos agrícolas generalmente se encuentran en bajas concentraciones, presentan gran variabilidad debido a la composición del material parental, a los procesos de formación y evolución del suelo; la modificación de su contenido se debe a diversas prácticas agronómicas (Rueda et al., 2011). El cadmio del suelo puede ser retenido, disuelto, fijado por procesos de adsorción, complejación o precipitación; y, los disponibles pueden ser absorbidos por la planta de cacao (Arévalo-Gardini et al., 2016), pero su distribución y acumulación en las distintas partes de la planta es variable (Rascio & Navari-Izzo, 2011), el mayor contenido del cadmio se encuentra en el tallo, seguido de las hojas, raíces, almendras y cáscaras (Tantalean & Huauya, 2017).

En Tingo María, la producción orgánica de cacao se ve afectada por la presencia de cadmio en el suelo debido a la fertilización con abonos o fertilizantes fosforados, nitrogenados, carbonatos, sulfatos, entre otras fuentes que ocasionan el deterioro del suelo y la contaminan de las plantas.

Siendo necesario generar tecnologías que reduzcan la disponibilidad del cadmio del suelo. En este contexto, el objetivo del estudio fue, evaluar el efecto de la aplicación de dos enmiendas (biol y carbón líquido) en el cadmio del suelo, hojas y almendras del cultivo de cacao, variedad CCN-51 (*Theobroma cacao* L.) en el Caserío Río Espino, distrito de Monzón, Provincia de Huamalíes, región Huánuco, Perú.

2. Material y métodos

Campo experimental

El estudio se realizó en el Caserío Río Espino, distrito de Monzón, Provincia de Huamalíes, región Huánuco, en las coordenadas en UTM 369424 E – 8980062 N y 807 msnm. La plantación de cacao, clon CCN- 51, de cinco (5) años de producción, tiene certificación orgánica y una producción aproximada de 500 kg/ha/año. El contenido de cadmio en las almendras (3,55 ppm) fue superior al nivel máximo permitido (0,50 ppm), según el Reglamento UE No. 488/ 2014 sobre el límite de cadmio en cacao y chocolate (0,10 a 0,80 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) que entra en vigencia a partir del 1 de enero del 2019 (Jiménez, 2015).

Tratamientos

En la Tabla 1 se presentan los tratamientos, con dos enmiendas orgánicas. El carbón líquido (carbón orgánico, 1%; ácidos húmicos, 2%; derivado de lignito ingrediente inerte (agua) 97%) y Biol (Macroelementos, 1,66%; Microelementos 0,07%; materia orgánica 1,72%; Metales pesados como cromo (0,54 ppm) y plomo (0,13 ppm); el porcentaje restante es agua), con aplicado en tres dosis cada uno.

Tabla 1

Descripción de los tratamientos

N°	Clave	Biol (L/ha)	Carbón líquido (L/ha)
T ₁	a ₁ b ₁	50	2
T ₂	a ₁ b ₂	50	4
T ₃	a ₁ b ₃	50	6
T ₄	a ₂ b ₁	80	2
T ₅	a ₂ b ₂	80	4
T ₆	a ₂ b ₃	80	6
T ₇	a ₃ b ₁	100	2
T ₈	a ₃ b ₂	100	4
T ₉	a ₃ b ₃	100	6
T ₁₀	Testigo	----	----

Análisis estadístico

El diseño experimental utilizado fue diseño de bloque completamente randomizado (DBCR) con

arreglo factorial de 3 x 3 + 1 testigo. Las características evaluadas de cada tratamiento se sometieron al análisis de variancia y la significación estadística se determinó por la prueba de Duncan con un nivel de $\alpha=0,05$ de significancia.

Evaluaciones

El muestreo del suelo se realizó, con un tubo muestreador estándar, en cada parcela (tratamiento y control), seis (6) meses después de la aplicación de las enmiendas orgánicas, en un recorrido de zigzag, siguiendo la guía técnica para muestreo de suelos de Mendoza & Espinoza (2017). De cada parcela, se colectaron ocho (8) submuestras, obtenidas de 0 a 20 cm de profundidad, cada una de 800 g que se colocaron en bolsas de plástico.

El secado de las muestras se efectuó bajo sombra, se rotularon y enviaron al Laboratorio de Análisis de Suelos de la Facultad de Agronomía (UNAS), ubicado en Tingo María, Perú, para la determinación de cadmio total en el suelo como en las hojas y almendras del cultivo de cacao.

El cadmio total del suelo se obtuvo al colocar 2 g de muestra molida en el crisol que es colocado en la estufa a 105 °C por 24 h, luego se pesa, coloca en la mufla a 450 °C por ocho (8) horas y se deja enfriar. La remoción de la muestra calcinada del crisol se realizó después de humedecer con agua destilada, agregar lentamente 2 ml de HCl y colocar en plancha eléctrica hasta secar (se repite el proceso tres veces), luego el contenido del crisol es transferido con la ayuda del agua caliente

a una fiola de 100 ml donde es filtrada, finalmente la lectura se realiza con un Espectrofotómetro de Absorción Atómica. Mientras que, la determinación de cadmio disponible en el suelo fue por el método descrito por Weterman (1990). El análisis de hojas y cacao se realizaron al cosechar las mazorcas maduras de seis (6) plantas centrales (parcela neta) de cada unidad experimental; la extracción de almendras se realizó utilizando un arma blanca pequeña y sin filo; luego se mezclan homogéneamente las almendras y se colocaron al sol directo por cuatro (4) días. De las mismas plantas se extrajeron cuatro (4) hojas de maduración media, las cuales fueron lavadas con agua destilada y se colocaron a estufa a 70 °C por 72 h. El análisis del cadmio total se hizo por el método de la vía húmeda, siguiendo las indicaciones de Bazán (1996).

3. Resultados y discusión

Cadmio total del suelo

La Figura 1 muestra los resultados de la aplicación de las enmiendas orgánicas líquidas (Biol y Carbón líquido), en tres dosis cada uno, los resultados presentaron diferencias estadísticas los factoriales principales y factoriales vs testigo por ser el valor de probabilidad menor al planteado ($p > 0,05$). Ello se debe al potencial de las enmiendas para reducir la captación del cadmio por las plantas e incrementar su inmovilización por procesos de adsorción, intercambio iónico, complejación y precipitación (Huaraca-Fernandez et al., 2020).

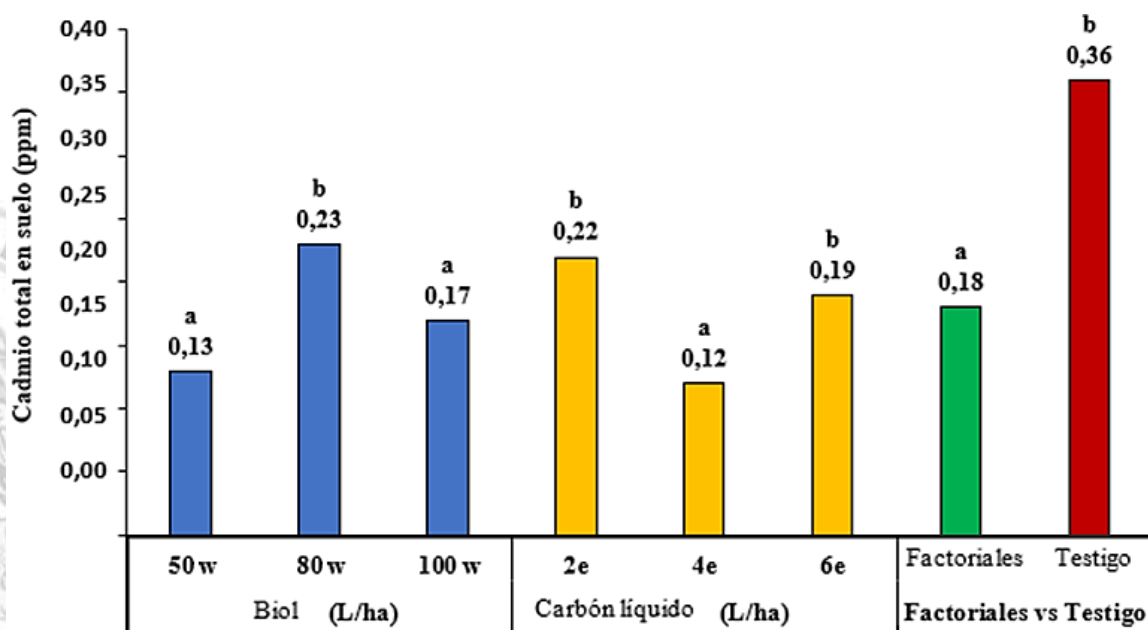


Figura 1. Contenido de cadmio total en suelo en las factoriales Avibiol y Monty's, además factoriales vs testigo.

Reducir la disponibilidad del cadmio es de gran importancia, porque es un metal pesado, sin funciones biológicas esenciales, contamina el suelo, tiene alta movilidad, poder bioacumulativo (Hernández-Baranda et al., 2019), es biodisponible (Gramlich et al., 2017; Gramlich et al., 2018; Lewis et al., 2018), causa preocupación en el medio ambiente por ser tóxico al ser consumido por los animales y seres humanos.

El menor contenido de cadmio total disponible en suelo se obtuvo al aplicar la enmienda orgánica en dosis de 4 L/ha de carbón líquido (0,12 ppm) seguido de las dosis 50 L/ha biol y 100 L/ha biol (0,17 ppm) en comparación con el resto de dosis. Al comparar el menor contenido de cadmio con el testigo se determinó que las enmiendas con biol y carbón líquido disminuyen el contenido de cadmio en 63,89% y 66,67% respectivamente. Asimismo, la comparación de las factoriales (biol y carbón líquido) vs el testigo presentan en promedio de 0,18 ppm y el testigo 0,36 ppm de cadmio, estadísticamente son diferentes. Los resultados determinan que la aplicación de biol y carbón líquido disminuye el cadmio total de suelo en 50%. Hu et al. (2016), Sun et al. (2016) y Khan et al. (2017) refieren que las enmiendas inmovilizan metales a través de diversas reacciones biológicas y químicas, por ende, disminuyen el contenido de Cadmio (Huaraca-Fernandez et al., 2020), a similar conclusión llegaron Tajudin et al. (2016) al reportar que las enmiendas son técnicas que consisten en atrapar o inmovilizar el cadmio del suelo; es decir, las formas solubles e intercambiables las precipita y/o los restos son fuertemente absorbidos. Las enmiendas orgánicas tienen la capacidad de retener los metales en el suelo, al disminuir los factores de movilidad mediante el incremento de los sitios de intercambio, forman complejos estables, precipitan los minerales, hay intercambio iónico y disminuye su absorción por las plantas (Tantalean & Huauya, 2017; Cortes et al., 2016). Por lo tanto, la aplicación de enmiendas orgánicas es favorable para efecto en pH, MO (materia orgánica), CIC (Capacidad de Intercambio Catiónico) y en la retención e inmovilización del Cd^{2+} disponible del suelo.

Al comparar factoriales vs testigo se obtiene una disminución de cadmio total en el suelo, ello se puede deber a la aplicación de enmiendas orgánicas porque el cadmio en el suelo se asocia a los carbonatos, materia orgánica, óxidos de Fe y Mg. Asimismo, existen microorganismos y plantas que pueden inmovilizar o transformar el metal *in situ*, lo cual permite reducir su

biodisponibilidad (Rajendran et al., 2003). Al respecto Huaraca-Fernández et al. (2020) determinaron que las enmiendas orgánicas tienen el potencial de reducir la captación de cadmio por las plantas y mejorar la inmovilización por procesos de adsorción, intercambio iónico, complejación y precipitación. Es decir, con la aplicación de enmiendas orgánicas el contenido de cadmio total disminuye por complejación también se le denomina cadmio residual y en parte el cadmio se precipita por intercambios iónicos. Motivo por el cual en el presente estudio los resultados muestran disminución de cadmio total en el suelo.

Cadmio disponible en suelo

La aplicación de enmiendas orgánicas biol y carbón líquido, en tres dosis cada uno, mostraron diferencias estadísticas entre la interacción de las factoriales (A en b y B en a), asimismo factoriales vs testigo, el valor de probabilidad es menor al planteado ($p < 0,05$). En la interacción A en b (biol en carbón líquido) el T5 presentó el menor contenido de cadmio disponible en suelo (0,024 ppm), estadísticamente es diferente a las demás combinaciones; seguido del T2 (0,033 ppm), T6 (0,044 ppm), T1 (0,047 ppm), T9(0,050 ppm), T7(0,053 ppm), T8(0,059 ppm), T4(0,073 ppm) y finalmente T3 (0,082 ppm). Asimismo, el T6 (0,044 ppm) es estadísticamente diferente al T4(0,073 ppm); mientras que entre los T7(0,053 ppm), T8(0,059 ppm) y T9(0,050 ppm) no existe diferencias estadísticas. Los resultados obtenidos muestran que la aplicación de enmiendas orgánicas líquidas disminuye el nivel de cadmio disponible del suelo (Niu & Sun, 2017); facilitando algunas combinaciones el incremento de cadmio disponible en el suelo, debido a la complejidad del mismo. La disponibilidad del cadmio en el suelo puede variar debido a la interacción con otros metales (Cameselle & Gouveia, 2019). Asimismo, Huaraca-Fernandez et al. (2020) refiere que el cadmio en el suelo está asociado a iones; por ello, la aplicación de enmiendas orgánicas líquidas puede alterar la disponibilidad de cadmio en el suelo (aumentar o disminuir).

El T10 presentó 0,193 ppm de cadmio disponible en el suelo, disminuyendo a 0,142 ppm de cadmio (73,58%) con la aplicación de enmiendas orgánicas. Siendo las enmiendas una técnica de inmovilización de metales a través de diversas reacciones biológicas, químicas (Madejón et al., 2018; Martínez & Marrugo, 2021), reducen el valor potencial de captación de cadmio disponible para las plantas y mejoran la inmovilización por

procesos de adsorción, intercambio iónico, complicación y precipitación (Huaraca-Fernandez et al., 2020). También forman un recubrimiento sobre una materia particulada, especialmente en las capas superficiales y sub superficiales del suelo y podrían actuar como aglomerantes metálicos, asociados a carbonatos específicamente (Huaraca-Fernandez et al., 2020).

Cadmio en hojas del cultivo de cacao

Los resultados indican diferencias estadísticas en la interacción de los factoriales y factoriales vs testigo ($p < 0,05$). La interacción entre los factores de estudio A en b (Biol en Carbón líquido) se obtuvo que los T1(0,502 ppm), T2 (0,425 ppm) y T3(0,380 ppm) son estadísticamente iguales; al igual que entre los T7 (0,503 ppm), T8 (0,460 ppm) y T9 (0,503 ppm). El T4 presentó el menor contenido de cadmio disponible en la hoja de cacao (0,377 ppm), seguido del T3 (0,380 ppm), T5 (0,420 ppm), T2 (0,425 ppm), T9(0,460 ppm), T1(0,502 ppm), T8(0,503 ppm), T6(0,588 ppm) y finalmente el Testigo (T10) con 0,810 ppm de cadmio. Los resultados indican que la aplicación de enmiendas al suelo disminuye el nivel de cadmio en las plantas (Yu et al., 2018; Li et al., 2021; Rehman et al., 2019); sin embargo, los resultados entre enmiendas orgánicas líquidas no se diferencian en contenido de cadmio en las hojas, ello se puede deber al lugar de acumulación de cadmio en la planta (Tantalean & Huauya, 2017). Resultado que concuerda con el reporte de Correa (2018) donde manifiesta que todas las enmiendas orgánicas reducen el contenido de cadmio en hojas y lo acumulación es mayor en las raíces que en la parte aérea.

Los resultados muestran que el contenido de cadmio total de hojas de cacao se encuentra en un rango de 0,377 y 0,588 ppm; Según Yang et al. (2018) el cadmio se absorbe fácilmente por las raíces, en comparación con otros elementos pesados, y se transporta hacia los brotes de las plantas; en las hojas el cadmio se puede bioacumular y transportar a otras partes de la planta debido al flujo de masas y a la adhesión por líquidos y grasas. Sin embargo, Huaraca-Fernandez et al. (2020) señala que, a mayor tasa de aplicación de enmiendas orgánicas, mayor será mitigación de la movilidad de cadmio y la bioacumulación del cadmio en plantas. Asimismo, Mendoza-López et al. (2021) refieren que en algunos casos las elevadas concentraciones del contaminante cadmio en hojas llegan a superar el límite máximo permisible de 0,5 ppm, debido al constante movimiento del metal.

En las factoriales vs testigo se observa menor contenido de cadmio total en hojas del cultivo de cacao con la aplicación de enmiendas líquidas (biol + carbón líquido) con valor promedio de 0,455 ppm y error estándar de $\pm 0,020$, comparado con el tratamiento testigo 0,810 ppm de cadmio. La aplicación de estas enmiendas disminuye en 0,355 ppm que representa al 43,83%. Mendoza-López et al. (2021) hacen referencia a la aplicación de enmiendas orgánicas para reducir y/o limitar la entrada y transporte del cadmio en la planta del cultivo de cacao. El T10 (testigo) presentó mayor contenido de cadmio al permisible (0,5 ppm). Lo que es confirmado por Mendoza-López et al. (2021) al concluir que la concentración de cadmio en plantaciones de "cacao", cultivadas entre los 600 y 800 msnm., en San Martín, Perú, superan los límites máximos permisibles indicados por la OMS. Asimismo, recientes investigaciones han encontrado que el *T. cacao L.* es una de las especies con mayor concentración de cadmio en sus estructuras vegetales (Oc et al., 2018), esto debido a la exposición directa y continua con cadmio.

Cadmio en almendras de cacao

Se determinaron diferencias estadísticas en el factorial biol, así como factoriales vs testigo, debido al valor de probabilidad menor al planteado ($p < 0,05$), asimismo se observa que las dosis de 80 L/ha de biol muestran menor contenido de cadmio en almendras de cacao (0,168 ppm), seguida de la dosis de 50 L/ha (0,254 ppm), son estadísticamente son iguales pero diferente cuando se aplicó 100 L/ha de biol (0,394 ppm). Los niveles medios en almendras se encuentran por debajo de los límites permitidos por la UE (Reglamento No. 488 / 2014), que establece un contenido máximo de Cd^{2+} en almendras de 0,80 $\mu g g^{-1}$ (Jiménez, 2015). Asimismo, los niveles de cadmio en almendras son menores a lo reportado por Florida et al. (2018) con 0,98 $\mu g g^{-1}$; Tantalean & Huauya (2017) almendras cultivadas en suelo residual (0,84 $\mu g g^{-1}$) y en suelo aluvial (1,08 $\mu g g^{-1}$) para áreas ubicadas entre la Región Huánuco y San Martín.

La aplicación de enmiendas orgánicas al suelo no elimina al cadmio, lo inmoviliza (Huaraca-Fernandez et al., 2020), pero no es una inmovilización drástica, motivo por el cual hay cadmio disponible es absorbido por las raíces de la planta. A pesar de aplicarse altas concentraciones de enmiendas orgánicas líquidas, el cadmio entra a la planta principalmente en forma de Cd^{2+} , porque sus iones quelatos, generalmente, no

están disponibles para la absorción por las raíces (Hernández-Baranda, 2019). La capa de células epidérmicas es el primer tejido para la captación de iones y dentro de ella, los pelos radicales son la zona más activa para absorber iones del suelo y es la estructura que facilita la absorción de cadmio.

Las factoriales muestran menor contenido de cadmio total en almendras de cacao (0,272 ppm) vs el testigo (0,729 ppm), con las enmiendas disminuye el contenido de cadmio en las almendras de cacao (0,457 ppm), que representa el 62,69%. El contenido de cadmio encontrado en las almendras de cacao es superior al límite permisible según el reglamento de la UE 488/2014 que entró en vigencia en enero del 2019 donde se especifica el contenido máximo de cadmio en productos alimenticios, específicamente en el chocolate (0,3 ppm) y otros derivados del cacao (0,6 ppm). El 2019 un estudio realizado por Dávila determino que el contenido de cadmio en las almendras disminuye hasta en 0,25 ppm por efecto de la aplicación de las enmiendas orgánicas. Durango et al. (2021) determinaron que la aplicación de enmiendas orgánicas al suelo, el contenido total de cadmio en el cotiledón disminuye hasta en un 95% comparado con el análisis inicial de cadmio en almendras de cacao. La aplicación de enmiendas orgánicas se considera una técnica de remediación que consiste en aportar nutrientes al suelo, con la finalidad de mejorar las características físicas y químicas, principalmente por el aporte de materia orgánica por sus propiedades quelatantes que inmovilizan al cadmio disminuyendo su absorción por las plantas (Delgado, 2017).

4. Conclusiones

El suelo contiene metales pesados, como el cadmio, que son absorbidos por las raíces de la planta y acumulados en distintas partes de la planta, pero la aplicación de enmiendas orgánicas líquidas disminuye la absorción del cadmio del suelo, en consecuencia, el contenido de Cadmio disminuye tanto en las hojas como en las almendras del cacao, que es la variedad en estudio. Se recomienda aplicar el T5 (80 L/ha Enmienda líquida orgánica + 4 L/ha de Enmienda carbón líquido) por disminuir el contenido total de Cadmio disponible del suelo en un 73,58%; el T4 (80 L/ha Enmienda líquida orgánica + 2 L/ha de Enmienda carbón líquido) porque disminuye en el contenido de Cadmio en las hojas (43,83%) y almendras (62,96%). Sin embargo, se recomienda

realizar estudios en otras variedades de cultivos y diferentes tipos de suelos.

Referencias bibliográficas

- Arévalo-Gardini, E., Arévalo-Hernández, C. O., Baligar, V. C., & He, Z. L. (2017). Heavy metal accumulation in leaves and beans of cacao (*Theobroma cacao* L.) in major cacao growing regions in Peru. *Science of The Total Environment*, 605–606, 792-800.
- Arévalo-Gardini, E., Obando-Cerpa, M., Zúñiga-Cernades, L., Arévalo-Hernández, C., Baligar, V., & He, Z. (2016). Metales Pesados en suelos de plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en tres Regiones del Perú. *Ecología Aplicada*, 15(2), 81-89.
- Bazán, R. (1996). *Manual para el análisis químico de suelos, aguas y plantas*. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Cameselle, C., & Gouveia, S. (2019). Phytoremediation of mixed contaminated soil enhanced with electric current. *Journal of Hazardous Materials*, 361, 95-102.
- Correa, J. (2018). *Efecto de enmiendas cálcicas y orgánicas en la absorción de cadmio en plántulas de cacao (Theobroma cacao L.) en la Región San Martín*. Universidad Nacional de San Martín. Tarapoto: Universidad Nacional de San Martín. Obtenido de <http://tesis.unsm.edu.pe/bitstream/>
- Cortes, P., Bravo, R., Martin, P., & Menjivar, F. (2016). Extracción secuencial de metales pesados en dos suelos contaminados (Andisol y Vertisol) enmendados con ácidos húmicos. *Acta Agronómica*, 65(3), 232-238.
- Delgado-Londoño, D. (2017). Aplicación de enmiendas orgánicas para la recuperación de propiedades físicas del suelo asociadas a la erosión hídrica. *Lámpsakos*, 17(1), 77-83.
- Durango, W., Carrillo, M., & Peña, K. (2021). Mitigación de cadmio en el suelo mediante enmiendas orgánicas. Ministerio de Agricultura y Ganadería Programa Nacional de Reactivación de Café y Cacao. Quito, Ecuador.
- Florida, R. N., Claudio, M. S., & Gómez, B. R. (2018). El pH y la absorción de cadmio en almendras de cacao orgánico (*Theobroma cacao* L.) en Leoncio Prado, Huánuco, Perú. 27(1), 1-8.
- Gramlich, A., Tandy, S., Andres, C., Chincheros Paniagua, J., Armengot, L., Schneider, M., & Schulin, R. (2017). Cadmium uptake by cocoa trees in agroforestry and monoculture systems under conventional and organic management. *Science of The Total Environment*, 580, 677-686.
- Gramlich, A., Tandy, S., Gauggel, C., López, M., Perla, D., Gonzalez, V., & Schulin, R. (2018). Soil cadmium uptake by cocoa in Honduras. *Science of The Total Environment*, 612, 370-378.
- Hernández-Baranda, Y., Rodríguez-Hernández, P., Peña-Icart, M., Meriño-Hernández, Y., & Cartaya-Rubio, O. (2019). Toxicidad del Cadmio en las plantas y estrategias para disminuir sus efectos. Estudio de caso: El tomate. *Cultivos Tropicales*, 40(3), e10.
- Hu, Y., Cheng, H., & Tao, S. (2016). The Challenges and Solutions for Cadmium-contaminated Rice in China: A Critical Review. *Environment International*, 92-93, 515-532.
- Huamani, H. (2016). *Contenido de metales pesados en cacaotales de Tingo María*. Tingo María.
- Huaraca-Fernandez, J., Pérez-Sosa, L., Bustinza-Cabala, L., & Pampa-Quispe, N. (2020). Enmiendas orgánicas en la inmovilización de cadmio en suelos agrícolas contaminados: una revisión. *Información tecnológica*, 31(4), 139-152.
- Jiménez, C. (2015). Estado legal mundial del cadmio en cacao (*Theobroma cacao*): fantasía o realidad. *Producción + Limpia*, 10(1), 89-104.
- Khan, A., Ding, X., Khan, S., Brusseau, M., Khan, A., & Nawab, J. (2017). The influence of various organic amendments on the bioavailability and plant uptake of cadmium present in mine-degraded soil. *Science of The Total Environment*, 636, 810-817.
- Lewis, C., Lennon, A., Eudoxie, G., & Umaharan, P. (2018). Genetic variation in bioaccumulation and partitioning of cadmium in *Theobroma cacao* L. *Science of The Total Environment*, 640–641(1), 696-703.

- Li, Z., Liang, Y., Hu, H., Shaheen, M., Zhong, H., Tack, F., Zhao, J. (2021). Speciation, transportation, and pathways of cadmium in soil-rice systems: A. *Environment International*, 156, 106749.
- Madejón, P., Domínguez, M., Madejón, E., Cabrera, F., Marañón, T., & Murillo, J. (2018). Soil-plant relationships and contamination by trace elements: A review of twenty years of experimentation and monitoring after the Aznalcóllar (SW Spain) mine accident. *Science of The Total Environment*, 625(1), 50-63.
- Martínez, D., & Marrugo-Negrete, J. (2021). Efecto de la adición de enmiendas en la inmovilización de metales pesados en suelos mineros del sur de Bolívar, Colombia. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 22(2), e2272.
- Mendoza, R., & Espinoza, A. (Agosto de 2017). *Guía Técnica para Muestreo de Suelos*. Universidad Nacional Agraria. Managua: Universidad Nacional Agraria.
- Mendoza-López, K., Mostacero-León, J., López-Medina, S., Gil-Rivero, A., De La Cruz-Castillo, A., & Villena-Zapata, L. (2021). Cadmio en plantaciones de *Theobroma cacao* L. "cacao" en. *Manglar*, 18(2), 169-173.
- MINAGRI. (2019). *Cacao de Huánuco quedó entre los siete mejores del país según el Programa Cacao de Excelencia*. Lima: AGROIDEAS.
- Niu, Z., & Sun, L. (2017). Evaluation of the cadmium and lead phytoextraction by castor bean (*Ricinus communis* L.) in hydroponics. *Earth and Environmental Science*, 69, 1-6.
- Oc., W., Gonza, C., Guzmán, W., & Pariente, E. (2018). Bioacumulación de cadmio en el cacao (*Theobroma cacao*) en la Comunidad Nativa de Pakun, Perú. *Revista Forestal del Perú*, 33(1), 63-75.
- Rajendran, P., Muthukrishnan, J., & Gunasekaran, P. (2003). Microbes in heavy metal remediation. *Microbes in heavy metal remediation*, 41(9), 935-944.
- Rascio, N., & Navari-Izzo, F. (2011). Heavy metal hyperaccumulating plants: how and why do they do it? And what makes them so interesting? *Plant science*, 182(2), 169-181.
- Rehman, M., Zafar, M., Waris, A., Rizwan, M., Ali, S., Sabir, M., . . . Ahmad, Z. (2019). Residual Effects of Frequently Available Organic Amendments on Cadmium Bioavailability and Accumulation in Wheat. *Chemosphere*, 244, 125548.
- Rosales Huamani, J. A., Centeno Rojas, L., Cajacuri Perez, J. R., Breña Ore, J., & Chávez Chapana, C. (2021). Identificación de Cadmio y Plomo en los cultivos de Cacao ubicados en la zona de Satipo - Junín. *Tecnia*, 31(2), 83-89.
- Rueda, G., Rodríguez, J., & Madriñán, R. (2011). Metodologías para establecer valores de referencia de metales pesados en suelos agrícolas: Perspectivas para Colombia. *Acta Agronómica*, 60(3), 203-218.
- SENASA. (7 de Marzo de 2018). *Productores de Huánuco exportaron 2 mil toneladas de cacao orgánico a Europa*. Obtenido de SENASA Contigo #SomosNoticia: <https://www.senasa.gob.pe/senasacontigo/minagri-productores-de-huanuco-exportaron-2-mil-toneladas-de-cacao-orgánico-europa/>
- Sun, Y., Xu, Y., Xu, Y., Wang, L., Liang, X., & Li, Y. (2016). Reliability and stability of immobilization remediation of Cd polluted soils using sepiolite under pot and field trials. *Environmental Pollution*, 208, 739-746.
- Tajudin, S., Azmi, M., & Nabila, A. (2016). Stabilization/Solidification Remediation Method for Contaminated Soil: A Review. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 136, 1-6.
- Tantalean, E., & Huauya, A. (2017). Distribución del contenido de cadmio en los diferentes órganos del cacao CCN-51 en suelo aluvial y. *Revista de investigación agroproducción sustentable*, 1(2), 69-78. doi:10.25127/aps.20172.365
- Weternan, R. (1990). *Soil testing and plant analysis*. Soil Science Society of America. EEUU: Madison (EEUU): Soil Science Society of America.
- Yang, Y., Chen, J., Huang, Q., Tang, S., Wang, J., Hu, P., & Shao, G. (2018). Can liming reduce cadmium (Cd) accumulation in rice (*Oryza sativa*) in slightly acidic soils? A contradictory dynamic equilibrium between Cd uptake capacity of roots and Cd immobilisation in soils. *Chemosphere*, 193, 547-556.
- Yu, Y., Wan, Y., Camara, Y., & Li, H. (2018). Effects of the Addition and Aging of Humic Acid-based Amendments on the Solubility of Cd in Soil Solution and its Accumulation in Rice. *Chemosphere*, 196, 303-310.

