

## Comparación de los niveles de cadmio en hojas, testa y almendra en cultivares de *Theobroma cacao L*

Salomon Barrezueta-Unda<sup>1\*</sup>; Ivana Alexandra Armijos Galarza<sup>2</sup>;  
Erick Adrián Vega Mora<sup>3</sup>

### Resumen

La concentración elevada de cadmio (Cd) en los granos de cacao por encima del nivel máximo permitido (0.5 mg/kg) ha ocasionado preocupaciones a los productores del cacao ecuatoriano que exportan a los mercados internacionales. En este marco, el objetivo del trabajo fue: determinar los niveles de cadmio presente en hojas, testa y almendra de cacao en los genotipos Nacional y CCN51. Las parcelas seleccionadas están ubicadas en Río Bonito provincia de El Oro y Shumiral de la provincia de Azuay, región litoral sur de Ecuador. En este trabajo se tomaron muestras de suelo para determinar sus propiedades químicas y de de las hojas, testa y almendra de árboles de cacao seleccionados al azar de las tres fincas que se identificaron como F1, F2 y F3. El análisis para la determinación de Cd se realizó mediante una digestión ácida de los tejidos vegetales, y mediante absorción atómica se determinó los contenidos de Cd por triplicado. El análisis estadístico se realizó mediante análisis descriptivos. En general los suelos fueron ácidos a moderadamente ácidos, en las tres fincas. Los valores de Cd variaron entre 0.36 mg/kg (F3) a 2.59 mg/Kg (F2) en hojas, 1.15 mg/kg a 2.36 mg/kg en testa y 1.15 mg/kg a 1.93 mg/kg en almendra. Los niveles obtenidos guardan relación con otros resultados obtenidos por diferentes métodos de extracción de Cd, siendo el principal factor que pudo incidir en los valores sería: pH del suelo ácido y nivel de medio de P presumiblemente adicionado en la fertilización en la finca dos.

**Palabras clave:** cacao, bioadsorción de metales, metal pesado, nivel máximo permitido

## Comparison of cadmium levels in leaves, shell and almond of *Theobroma cacao L*

### Abstract

The elevated concentration of cadmium (Cd) in cocoa beans above the maximum allowed level (0.5 mg/kg) has caused concern among Ecuadorian cocoa producers exporting to international markets. In this context, the aim of the study was to determine the levels of cadmium present in the leaves, shell and almond of cocoa beans of the genotypes Nacional and CCN51. The selected plots are located in Río Bonito, province of El Oro and Shumiral, province of Azuay, southern coastal region of Ecuador. In this work, soil samples were taken to determine their chemical properties and from the leaves, shell and almond of cocoa trees selected at random from the three farms identified as F1, F2 and F3. The analysis for the determination of Cd was carried out by acid digestion of plant tissues, and Cd contents were determined in triplicate by atomic absorption. Statistical analysis was performed by descriptive analysis. In general, the soils were acidic to moderately acidic on all three farms. Cd values ranged from 0.36 mg/kg (F3) to 2.59 mg/kg (F2) in leaves, 1.15 mg/kg to 2.36 mg/kg in shell and 1.15 mg/kg to 1.93 mg/kg in almond. The levels obtained are related to other results obtained by different methods of Cd extraction, being the main factor that could influence the values: acid soil pH and the level of P medium presumably added in the fertilization in farm two.

**Keywords:** cocoa, bioadsorption of metals, heavy metal, maximum permissible level

**Recibido:** 25 de abril de 2021

**Aceptado:** 10 de agosto de 2021

<sup>1</sup> Universidad Técnica de Machala, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Machala-Ecuador. <https://0000-0003-4147-9284>

<sup>2</sup> Universidad Técnica de Machala, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Machala-Ecuador. <https://0000-0002-7319-6038>

<sup>3</sup> Universidad Técnica de Machala, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Machala-Ecuador. <https://0000-0002-2400-7720>

\*Autor para la correspondencia: [sabarrezueta@utmachala.edu.ec](mailto:sabarrezueta@utmachala.edu.ec)

## I. INTRODUCCIÓN

El cadmio (Cd<sup>2+</sup>), es un metal pesado presente en el suelo, por causas naturales como las erupciones volcánicas o por el material parental de partida; pero también, por acción antropogénicas como los residuos de pesticidas vertidos en el suelo para controlar plagas (Argüello *et al.*, 2019; Ramtahal *et al.*, 2019). Estudios realizados desde el 2015, han demostrado que los metales pesados se pueden acumular en diversas partes de plantas leñosas como el árbol de cacao (Fiorella Barraza *et al.*, 2019; Chavez *et al.*, 2016). Esto constituye un riesgos potenciales para la salud en altas cantidades.

En este marco, el 16 de septiembre de 2013, la Unión Europea notificó al Comité de Medidas Sanitarias y Fitosanitarias de la Organización Mundial del Comercio (OMC) la enmienda al reglamento Europeo No. 1881/2006, donde establecen niveles máximos de metales pesados como el Cd para el cacao en sus productos derivados como chocolate y el licor menor a 0.6 mg/kg; reglamento que entró en vigencia el 1 de enero del 2019 (Meter *et al.*, 2019). Por este motivo, las exportaciones del cacao hacia los mercados europeos, en especial de los países latinoamericano se ven amenazados por indicios de Cd en niveles mayores a los permitidos por la normativas de la Comunidad Europea (Llatance *et al.*, 2018).

Por otro lado, el Ecuador es el primer productor mundial de cacao fino y de aroma, su principal mercado desde la década de los 90 son los Estados Unidos y los países de la Comunidad Europea como: Francia, Alemania, Bélgica y España. En conjunto estos países representaron el 87% del total exportado para el año 2019 (Fiorella Barraza *et al.*, 2019). En este contexto, estudios realizados por diversos autores (Argüello *et al.*, 2019; F. Barraza *et al.*, 2017; Chavez *et al.*, 2016), han demostrado que los suelos con uso agrícola en especial en zonas de montaña posee niveles de Cd que superan los 0.5

mg/kg, mientras que (Mite *et al.*, 2010) encontró un promedio que fluctúa entre 0.2-1.1 mg/kg

Diversas investigaciones alertan de diversos niveles de Cd en varios órganos y tejido de del árbol de cacao (F. Barraza *et al.*, 2017; Chavez *et al.*, 2016; Mounicou *et al.*, 2003). En Ecuador se reporta, a través de estudios, un nivel crítico en la almendra de cacao seco y fermentado de 1 mg/kg (Mite *et al.*, 2010), superior al límite permitido en alimentos por el Codex Alimentarius y la Comunidad Europea (Maddela *et al.*, 2020). Aunque los resultados de (Araujo *et al.*, 2020) en la provincia de Manabí (Ecuador) los valores máximo de Cd variaron de 0.15 a 0.55 mg/kg, mientras que (Mounicou *et al.*, 2003) en la provincia El Oro (Ecuador) determinaron niveles muy por debajo del límite permitido en almendras secas (0.0071), y en polvo de cacao (0.0082 mg/kg); resultados apto para el mercado europeo, pero realizados con menor número de repeticiones, y por eso el contraste con los otros resultados previos. Siendo necesario delimitar qué genotipo y en qué condiciones de manejo de los cultivares se deben de realizar las determinaciones de Cd.

Con lo expuesto el objetivo general de la investigación fue: determinar los niveles de cadmio presente en hojas y almendra de cacao en los genotipos Nacional y de la Colección Castro Naranjal árbol 51 (CCN51), ubicados en la parroquia Río Bonito provincia de El Oro y en el sitio Shumiral de la provincia de Azuay.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación de los cultivares de cacao

El estudio se realizó en cuatro fincas cacaoteras (Tabla 1) entre junio a diciembre de 2019. El clima en la zona es tropical, temperatura media anual de 25.5 °C, precipitación promedio de 838 mm/añual. La clase textural franco-arcillosa predominante en los primero 30 cm, producto de una formación aluvial (Salomon Barrezueta-Unda y Paz-González, 2017).

Tabla 1. Ubicación de las fincas en estudio

Identificación finca	Provincia	Ubicación geográficas	Tipos de cacao	Años de manejo agrícola
F1	Azuay (Shumiral)	2° 58' 41" S; 79° 43' 28.8"	El Nacional	20
F2	El Oro (Río Zapotal)	3°08'46" S; 79°46'46"	CCN51	8
F3	El Oro (Paraiso)	3°09'55" S; 79°45'46" O	El Nacional	30

### Recolección, secado y almacenamiento de muestras

Se tomaron 30 submuestras de manera aleatoria por toda el área de las fincas a los primeros 30 cm utilizando un patrón de muestreo (zig- zag) para obtener una sola muestra representativa de 2 kg por cada finca, las cuales fueron divididas en dos para realizar diversos análisis. Un 1 kg fue por finca fue etiquetada, secas y trituradas para realizar los análisis de: Materia Orgánica por el método de Dicromato de potasio, conductividad eléctrica y pH en pasta de saturación con agua relación 1:2.5 y lectura en un

potenciómetro (Hanna, serie HI 4521, Rumania), determinaciones realizadas en el laboratorio de suelos de la Universidad Técnica de Machala. El otro 1 kg de suelo se envió al laboratorio del INIAP para la determinación de nitrógeno en su forma amoniacal (NH<sub>4</sub>), potasio (K), fósforo (P), azufre (S), calcio (Ca) y Magnesio (Mg).

En cada finca se tomaron al azar tres árboles de cacao para recolectar dos mazorcas completamente maduras que se partieron para extraer las almendras, y con cuidado se extrajo la testa (tejido que recubre la almendra). Luego se procedió al secado al aire por varios días de las almendras y la testa (Foto 1).



Foto 1. Tejido vegetal de cacao a los que se determinó niveles de cadmio. A) hojas, B) testa, C) almendra sin testa

La selección de las hojas se realizó en los árboles donde se tomó las mazorcas. La cantidad varió entre 15 a 20 hojas de la sección mediana del árbol, considerando las hojas 3, 4, 5 de cada rama. Las hojas recolectadas se lavaron con agua desionizada por triplicado.

Los materiales vegetales, se procedieron a triturar con un mortero de madera de forma individual los tejidos de hojas, testas y almendras, para su posterior tamizada con malla de 2 mm, etiquetadas

y almacenadas en fundas herméticas; se obtuvieron 9 muestras por finca, considerando en los análisis de laboratorio realizar tres repeticiones por cada una, dando un total de 27 submuestras de estudio por finca.

### Análisis de tejidos vegetales

Para el análisis de cadmio en laboratorio, se realiza una digestión ácida de la hoja, mazorca y testa siguiendo la metodología de Chavez *et al.*, (2016).

Previo a la digestión se pesó 0.4 g de cada una de las muestras y se colocaron en probetas de 100 ml de capacidad, luego se agregó 8 ml de ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) y se le adicione una pastilla antiespumante de sulfato de sodio (0.97 g) + silicona (0.03g) marca Velp Scientific (Italia) a cada muestra con el propósito de que no se evapore por completo la digestión de las muestras. La digestión ácida se programa a 80°C y 140°C cada uno durante 180 minutos en un digestor Kjeldhal (Velp Scientific, serie DKL automatic, Italia). Los digestores se diluyeron a 25 ml con agua destilada nano pura en balones de 25 ml. Se filtraron 2 veces, una a través de un filtro de membrana de 8-12µm celulosa estéril al momento colocarlos en los balones y otra a través de un filtro con soporte de policarbonato de 25 mm accionado con la presión de una jeringa, utilizando papel de membrana celulosa en su interior del filtro para obtener una muestra sin impurezas al momento de determinar el nivel de Cd.

Estos volúmenes se almacenaron en recipientes de plástico de capacidad de 30ml para luego tomar la lectura del nivel de Cd en cada muestra, este análisis se lo realizó de acuerdo al Espectrofotómetro de Absorción Atómica donde su límite de detección de metales pesados del equipo es hasta 4 mg/L de cadmio. Sin embargo, para conocer la concentración real de los niveles del metal pesado de cada muestra analizada se efectuó el siguiente procedimiento:

Determinación del nivel de cadmio presente en los 25 ml de cada muestra se utilizó la ecuación 1.

$$Cd = \frac{C * (VD)}{FV} \quad (1)$$

Donde Cd = Nivel de cadmio en volumen de muestra, C= Concentración de Cd (mg/L), obtenido de Espectrofotómetro de Absorción Atómica (Shimadzu, serie AA-6300, Japón), VD= Volumen de dilución de la muestra (ml) y FV = Factor volumen (ml).

Se relaciono el valor obtenido de la ecuación 1 con el peso de muestra inicial (0.4 g) dando la ecuación 2.

$$Cd_f = \frac{C_1 * (FP)}{Pm} \quad (2)$$

Donde: Cd<sub>f</sub> = Nivel final de cadmio (ppm), C<sub>1</sub> = Concentración de cadmio obtenido de la primera ecuación (mg/L), FP = Factor de relación en (g) y Pm = Peso de muestra inicial (g).

Obteniendo como resultado final los niveles del metal pesado Cd expresados en mg/kg de ppm presentes en cada uno de los tejidos analizados.

### Análisis estadístico

En el proceso estadístico se utilizó el programa SPSS versión 22, donde se realizarán análisis descriptivos (media, desviación estándar, valores máximos y mínimos). También se realizó un análisis de varianza para los tejidos en estudio (hoja, almendra, testa), y luego la prueba de Duncan al 5% de significancia.

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las propiedades químicas de los suelos donde se tomó las muestras de tejido vegetal se indican en la tabla 2. El pH fluctuó de menor a mayor de: 4.84-5.56 (F3), 4.37-4.64 (F2) y 5.82-6.66 (F1) rangos que clasifican a los suelos en ácidos a moderadamente ácidos; valores similares a los encontrados por (Salomón Barrezueta-Unda *et al.*, 2017). Por otra parte, la CE en general fue baja con rangos máximos de 0.42 dS/m (F1), 0.20 dS/m (F2) y 0.11 dS/m (F3), mientras que los valores de MO variaron de 4.30% en F1 a 2.75% en F2, niveles que fueron los adecuados para el cultivo de cacao; debido a que el principal factor para estos niveles es la acumulación de hojarasca en el suelo (Salomón Barrezueta-Unda *et al.*, 2017).

Varios investigadores concluyen que los suelos cacaoteros los valores de pH son muy variables pero con tendencia a la acidez en zonas tropicales y en especial las de montaña, donde los niveles de CE generalmente son menores a 0.55 dS/m (Hartemink, 2005). Por otro lado, los valores más altos de MO corresponde a las fincas cultivadas con el tipo Nacional, que tiene más de 20 años en producción, por tanto el almacenamiento de biomasa es mayor e incidiendo en la regulación del pH hacia un rango de acidez moderada y baja CE (Fontes *et al.*, 2014).

**Tabla 2.** Estadísticos descriptivos de varias propiedades químicas de suelos por finca

Finca	Propiedades del suelo	Mínimo	Media	Desviación estándar	Máximo
F1	pH	5.82	6,19	0.35	6.66
	CE (dS/m)	0.25	0.33	0.07	0.42
	MO (%)	4.20	4.30	0.10	4.40
F2	pH	4.37	4.46	0.12	4.64
	CE (dS/m)	0.12	0.16	0.03	0.20
	MO (%)	2.60	2.75	0.16	2.90
F3	pH	4.84	5.25	0.31	5.56
	CE (dS/m)	0.10	0.11	0.01	0.11
	MO (%)	2.90	3.35	0.64	3.80

Los suelos mostraron una baja fertilidad en las fincas cultivadas con el tipo Nacional (F1y F3), y moderado nivel nitrógeno en forma disponible de amonio (NH<sub>4</sub>) y de fósforo (P) con valores de 43.00 mg/L y 9.10 meq/100, respectivamente; particular que puede obedecer a enmiendas edificas con fosfato de amonio, fertilizante de uso común en la zona en estudio. Por otra lado, los niveles de Ca y Mg oscilaron

de 2.80 meq/100 (F2) a 13.95 (F1) y de 1.01 meq/100 (F2) a 5.55 meq/100 (F1), respectivamente; valores que se relacionan con la edad de la plantación, en razón de mayor aportación de hojarasca por la edad del cultivar, que tiene relación directa con los incrementos de Ca y Mg (Salomon Barrezueta-Unda y Paz-González, 2017; Fontes et al., 2014; Hartemink, 2005).

**Tabla 3.** Estadísticos descriptivos de Macronutrientes de los suelos por finca

Fincas	Estadísticos	NH <sub>4</sub> (mg/L)	P (mg/L)	K (meq/100)	S (mg/L)	Ca (meq/100)	Mg (meq/100)
F1	Media	20.50 B	7.50 B	0.23B	4.10 B	13.95 M	5.55 A
	DS	3.53	0.14	0.01	0.70	0.35	0.07
F2	Media	43.00 M	9.10 M	0.12 B	12.50 M	2.80 B	1.01 M
	DS	2.83	0.14	0.01	0.71	0.00	0.03
F3	Media	28.50 B	2.90 B	0.19 B	5.35 B	5.00 M	3.10 A
	DS	4.95	0.71	0.01	0.07	0.85	0.00

La tabla 4 indica los valores estadísticos descriptivos de Cd por tejido vegetal de varias plantas analizadas en cada finca.

Los valores en las muestras de hoja tuvieron una desviación estándar mayor a la media en las fincas cultivadas con el tipo de cacao Nacional (F1 0.79 mg/kg ± 1.19; F3 0.36 mg/kg ± 0.44), mientras que F2 mostró el mayor (2.59 mg/L). Variabilidad que también obtuvo (Furcal-Beriguete & Torres-Morales, 2020), pero realizando las lectura de Cd en un plasma de acoplamiento inductivo (ICP) acoplado a un espectrofotómetro óptico.

En el caso de las muestras de almendra los valores aumentaron con respecto a los resultados del Cd en hojas. Las medias y rangos máximos obtenidos variaron de la siguiente forma: 1.15 mg/kg

a 1.67 mg/kg( F1), 1.21 mg/kg a 1.86 mg/kg (F2) y 1.93 mg/kg a 3.27 mg/kg (F3). Los valores de testa también mostraron un incremento de Cd en el orden de F1 (rango 1.35-2.53 mg/L) a F3 (1.15-6.33 mg/kg). Resultados que indican que el mayor incremento de Cd se muestra en la finca más antigua (F3), 30 años de cultivo), hecho que se corrobora con el trabajo de Llatance *et al* (2018) en la selva del Perú, donde obtuvo un promedio de 0.509 mg/k, que varió de acuerdo a la edad de las hojas ya que las más viejas acumularan mayor contenido de Cd en comparación a las nuevas, esto es por los péptidos presentes en el área foliar.

Los valores determinados son inferiores a los obtenidos por (Furcal-Beriguete & Torres-Morales, 2020), el cual expresa que la disponibilidad del Cd

hacia la planta es por el pH ácido de los suelos. De este modo, Rodríguez & Trigozo (2017) y Gramlich et al., (2018) señalan que una vía de entrada de Cd son los fertilizantes fosforados provenientes de la roca fosfórica. En la descripción de los suelos en estudio los niveles de P fueron altos medios en F2 y los niveles de Cd fueron los más altos en hojas y almendra.

Resultados obtenidos por varios investigadores en raíces de cacao tipo Nacional obtuvieron valores

de: 2.81 mg/kg (Arévalo-Gardini et al., 2016), 1.50 mg/kg (Astolfi et al., 2012), 1.26 mg/kg (Pedraza & Rojas, 2017) y 0.22 mg/kg (Llatance et al., 2018). Esta variación indica que los valores tienen relación no solo con el tipo de suelo o el manejo, sino con el método de extracción del Cd y de la disponibilidad de otros nutrientes como el Zn el cual en su ausencia las plantas absorben el Cd o por el exceso de fertilización con roca fosfórica (Chavez et al., 2016).

Tabla 4. Análisis descriptivo general de los niveles de cadmio por finca.

		Mínimo	Media (mg/kg)	Desviación estándar	Máximo
Hoja	F1 (Shumiral/Nacional)	0.00	0.79	1.19	2.58
	F2 (Rio Zapote/CCN51)	0.00	2.59	1.48	3.61
	F3 (Paraiso/Nacional)	0.00	0.36	0.44	1.08
Almendra	F1 (Shumiral/Nacional)	0.73	1.15	0.32	1.67
	F2 (Rio Zapote/CCN51)	0.38	1.21	0.46	1.86
	F3 (Paraiso/Nacional)	0.00	1.93	0.96	3.27
Testa	F1 (Shumiral/Nacional)	1.35	1.97	0.48	2.53
	F2 (Rio Zapote/CCN51)	2.36	3.30	0.81	5.03
	F3 (Paraiso/Nacional)	1.15	4.00	2.16	6.33

La prueba de Duncan al 5% de significancia por tipo de cacao y tejido vegetal indican diferencias significativas (Figura 2). Los valores de Cd fueron mayores en el clon CCN51 tanto en hoja y testa, siendo la diferencia más significativa en las hojas (0.58 mg/kg Nacional; 2.59 mg/kg); mientras en almendra se muestra una media a favor del tipo de cacao Nacional (1.54 mg/kg) frente a tipo de cacao CCN51 (1.21). En general todos los valores acumulados sobrepasan el nivel máximo permisible (> 0.5 mg/kg) del Codex Alimentarius (Maddela et al., 2020).

Estudios previos realizados por Chavez et al., (2016) y Romero-Estévez et al., (2019) en la zona de estudio indican valores superiores a los determinados en la almendra (1.73 mg/kg ± 0.089). Por otro lado, (Argüello et al., 2019), mencionan que la mayor concentración de Cd se encontró en la almendra siendo mayor a los contenidos de hoja y testa. Variación que puede estar relacionada a las técnica de extracción de Cd, pero Ramtahal et al., (2019) sugiere que una forma de diagnosticar contenidos de cadmio en las almendras es a partir de las hojas.

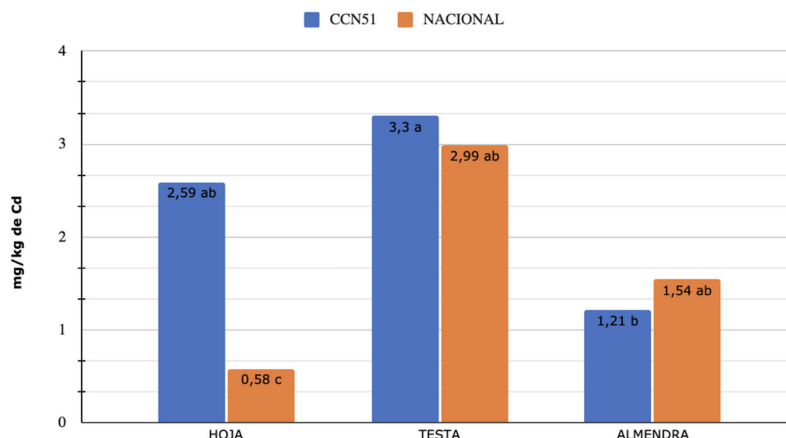


Figura 2. Prueba de Duncan (5% de significancia) entre los niveles de Cadmio obtenidos por genotipo de cacao.

#### IV. CONCLUSIÓN

Los niveles de Cd variaron entre los tejidos en estudio de las plantas de cacao seleccionadas y entre las fincas en estudio, mostrando una mayor acumulación en hoja y testa en F1, la cual está cultivada con el tipo de cacao CCN51; aunque todos los promedios de las muestras en almendra sobrepasaron el nivel máximo permisible para Cd. De esta manera, los niveles obtenidos guardan relación con otros resultados obtenidos por diferentes métodos de extracción de Cd, siendo el principal factor que pudo incidir en los valores encontrados sería: pH del suelo ácido y nivel de medio de P presumiblemente adicionado en la fertilización en la F2. Se recomienda aumentar el muestreo de los tejidos de la testa y almendra de cacao en relación con el tipo de suelo y nivel de pH donde se encuentran los cultivares de cacao.

#### V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Araujo, L. S., Tapia, W., & Villamarín Ortiz, A. (2020). Verificación del método analítico de espectroscopía de absorción atómica con horno de grafito para la cuantificación de cadmio en almendra de cacao (*Theobroma cacao*). *La Granja*, 31(1), 56–60.
- Arévalo-Gardini, E., Obando-Cerpa, M. E., Zúñiga-Cernades, L. B., Arévalo-Hernández, C. O., 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.
- Argüello, D., Chavez, E., Lauryssen, F., Vanderschueren, R., Smolders, E., & Montalvo, D. (2019). Soil properties and agronomic factors affecting cadmium concentrations in cacao beans: A nationwide survey in Ecuador. *The Science of the Total Environment*, 649, 120–127.
- Astolfi, S., Zuchi, S., Neumann, G., Cesco, S., Sanità di Toppi, L., & Pinton, R. (2012). Response of barley plants to Fe deficiency and Cd contamination as affected by S starvation. *Journal of Experimental Botany*, 63(3), 1241–1250.
- Barraza, F., Moore, R. E. T., Rehkämper, M., Schreck, E., Lefeuvre, G., Kreissig, K., Coles, B. J., & Maurice, L. (2019). Cadmium isotope fractionation in the soil – cacao systems of Ecuador: a pilot field study. *Advances*, 9(58), 34011–34022.
- Barraza, F., Schreck, E., Lévêque, T., Uzu, G., López, F., Ruales, J., Prunier, J., Marquet, A., & Maurice, L. (2017). Cadmium bioaccumulation and gastric bioaccessibility in cacao: A field study in areas impacted by oil activities in Ecuador. *Environmental Pollution*, 229, 950–963.
- Barrezueta-Unda, S., & Paz-González, A. (2017). Estudio comparativo de la estructura elemental de materia orgánica de suelo y mantillo cultivados de cacao en El Oro, Ecuador. *Revista Científica Agroecosistemas*, 5(1), 2–9.
- Barrezueta-Unda, S., Paz-Gonzalez, A., & Chabla-Carrillo, J. (2017). Determinación de indicadores para calidad de suelos cultivados con cacao en provincia de El Oro. *Revista Cumbres*.
- Chavez, E., He, Z. L., Stoffella, P. J., Mylavarapu, R. S., Li, Y. C., & Baligar, V. C. (2016). Chemical speciation of cadmium: An approach to evaluate plant-available cadmium in Ecuadorian soils under cacao production. *Chemosphere*, 150, 57–62.
- Fontes, A. G., Gama-Rodrigues, A. C., Gama-Rodrigues, E. F., Sales, M. V. S., Costa, M. G., & Machado, R. C. R. (2014). Nutrient stocks in litterfall and litter in cocoa agroforests in Brazil. *Plant and Soil*, 383(1-2), 313–335.
- Furcal-Beriguete, P., & Torres-Morales, J. L. (2020). Determinación de concentraciones de cadmio en plantaciones de *Theobroma cacao* L. en Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, ág. 122–137.
- Gramlich, A., Tandy, S., Gauggel, C., López, M., Perla, D., Gonzalez, V., & Schulín, R. (2018). Soil cadmium uptake by cocoa in Honduras. *The Science of the Total Environment*, 612, 370–378.
- Hartemink, A. E. (2005). Nutrient stocks, nutrient cycling, and soil changes in cocoa ecosystems: A review. In *World Soil Information* (pp. 227–253).

*Advances in Agronomy.*

Llatance, W. O., Saavedra, C. J. G., Castillo, W. G., & Mondragón, E. P. (2018). Bioacumulación de cadmio en el cacao (*Theobroma cacao*) en la Comunidad Nativa de Pakun, Perú. *Revista Forestal del Perú*, 33(1), 63–75.

Maddela, N. R., Kakarla, D., García, L. C., Chakraborty, S., Venkateswarlu, K., & Megharaj, M. (2020). Cocoa-laden cadmium threatens human health and cacao economy: A critical view. *The Science of the Total Environment*, 720, 2–11.

Meter, A., Atkinson, R., & LABiberte, B. (2019). Cadmio en el cacao de América Latina y el Caribe. <https://core.ac.uk/download/pdf/224976826.pdf>

Mite, F., Carrillo, M., & Durando, W. (2010). Avances del monitoreo de presencia de cadmio en almendras de cacao, suelos y aguas de Ecuador. XII Congreso Ecuatoriano de La Ciencia del Suelo, 17–19.

Mounicou, S., Szpunar, J., Andrey, D., Blake, C., & Lobinski, R. (2003). Concentrations and bioavailability of cadmium and lead in cocoa powder and related products. *In Food Additives and Contaminants*, 20, 4, 343–352. <https://doi.org/10.1080/0265203031000077888>

Pedraza, E. T., & Rojas, M. Á. H. (2017). Distribución del contenido de cadmio en los diferentes órganos del cacao CCN-51 en suelo aluvial y residual en las localidades de Jacintillo y Ramal de Aspuzana. *In Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable*, 1, 2, 69-79. <https://doi.org/10.25127/aps.20172.365>

Ramtahal, G., Umaharan, P., Hanuman, A., Davis, C., & Ali, L. (2019). The effectiveness of soil amendments, biochar and lime, in mitigating cadmium bioaccumulation in *Theobroma cacao* L. *The Science of the Total Environment*, 693, 133563.

Rodríguez, M. S., & Trigozo, J. P. R. (2017). Evaluación del contenido de metales pesados (Cd y Pb) en diferentes edades y etapas fenológicas del cultivo de cacao en dos zonas del Alto Huallaga, Huánuco (Perú). *Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable*, 1 (1)87-95. <https://doi.org/10.25127/aps.20171.356>

Romero-Estévez, D., Yáñez-Jácome, G. S., Simbaña-Farinango, K., & Navarrete, H. (2019). Distribution, contents, and health risk assessment of cadmium, lead, and nickel in bananas produced in Ecuador. *Foods*, 8(8), 1–11.