

Determinación de concentración de cadmio (Cd) en suelos y semillas de plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la sierra ecuatoriana

Determination of cadmium (Cd) levels in soils and seeds of cocoa plantations (*Theobroma cacao* L.) in the ecuadorian highlands

Kléber Efraín Medina Rodríguez, Erik Ronaldo Estrada Roldán, Leontes Leonidas Zambrano Barcos, Alba Elizabeth Medina Rodríguez

Universidad Agraria del Ecuador, Ecuador

Autor de correspondencia: kemedina@uagraria.edu.ec

Recibido: 06/08/2025. Aceptado: 23/12/2025.

Publicado el 9 de enero de 2026.

Resumen

El propósito de la investigación fue determinar los niveles de cadmio (Cd) en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en una unidad de producción ubicada en la provincia de Bolívar, Ecuador. Para ello, se recolectaron 10 muestras de suelo a una profundidad de 0 a 20 cm en diferentes puntos de la hacienda; asimismo, se recolectaron mazorcas de cacao de 10 árboles de forma aleatoria en los sitios donde se tomó la muestra de suelo, para la determinación de Cd en semillas mediante absorción atómica. Las muestras fueron georreferenciadas y mapeadas usando el programa ArcGIS 10.3 en función de los niveles de contaminación. El análisis estadístico se realizó aplicando la prueba T-Student unilateral izquierda, para comparar con la norma vigente sobre los niveles de cadmio permitidos en suelos y normativa alimentaria europea referente a los valores de Cd en semillas. Los resultados mostraron una media de 1,39 mg kg⁻¹ en suelos, lo cual en ningún caso supera los niveles máximos permitidos. En el caso de las semillas el Cd osciló entre 0,19 – 1,11 mg kg⁻¹, lo cual está dentro del rango permitido. Aunque los valores encontrados no representan riesgos para la agroexportación del cacao es necesario tomar medidas preventivas, especialmente en lo referente al manejo de la fertilización una de las principales fuentes de Cd en el cultivo, con el objetivo de minimizar los riesgos de acumulación de Cd en suelos y semillas, en especial en las áreas donde se reportaron los mayores niveles de este metal pesado.

Palabras clave: agroexportación, contaminación, inocuidad, toxicidad, salud.

Abstract

The purpose of the research was to determine cadmium (Cd) levels in cocoa crops (*Theobroma cacao* L.) at a production unit located in Bolívar Province, Ecuador. To this end, 10 soil samples were collected at a depth of 0 to 20 cm at different points on the farm. Cocoa pods were also collected from 10 trees at random at the sites where the soil samples were taken to determine the Cd content in the seeds using atomic absorption. The samples were georeferenced and mapped using ArcGIS 10.3 software based on contamination levels. Statistical analysis was performed using the one-tailed Student's t-test to compare with current standards on permissible cadmium levels in soil and European food regulations on Cd values in seeds. The results showed an average of 1.39 mg kg⁻¹ in soils, which in no case exceeds the maximum permitted levels. In the case of seeds, Cd ranged from 0.19 to 1.11 mg kg⁻¹, which is within the permitted range. Although the values found do not pose a risk to cocoa exports, preventive measures need to be taken, especially with regard to fertilization management, one of the main sources of Cd in the crop, in order to minimize the risks of Cd accumulation in soils and seeds, particularly in areas where the highest levels of this metal were reported.

Keywords: agroexport, pollution, safety, toxicity, health.

Introducción

A nivel mundial el comercio de productos agrícolas, entre ellos el cacao en grano, es de significativa importancia, dado que la producción y el comercio de estos bienes es de gran importancia para la economía de la mayoría de los países subdesarrollados (Suh y Molua, 2022). Sin embargo, las mismas son de poca importancia si se comparan con el valor total de exportaciones en países subdesarrollados como: Costa de Marfil, Ghana, Indonesia, Ecuador, y Camerún (Sabas *et al.*, 2020, Amponsah-Doku *et al.*, 2022, Rahim *et al.*, 2020, Kuhn *et al.*, 2023 y Nkouedjo *et al.*, 2020).

Ecuador es el primer productor de cacao fino de aroma a nivel mundial, satisface el 60 % de la demanda internacional de este producto (Borja *et al.*, 2021). En el año 2024, Cedeño y Dilas-Jiménez (2022) reportaron que se exportaron 460 mil toneladas métricas de cacao, generando ventas por 800 millones de dólares. Por su parte, Parada-Gutiérrez y Veloz-Cordero (2021) destacaron que muchos productores trabajan arduamente en pequeñas granjas, las cuales presentan bajos rendimientos que podrían mejorar mediante la tecnificación, ya que las cosechas suelen venderse dentro del mismo recinto.

En la Unión Europea, en enero del 2019 entró en vigencia una normativa que se considera un rango permisible para niveles de cadmio de 0,10 a 0,80 mg kg⁻¹, en productos ya elaborados a base de cacao (Rofner, 2021). Las plantas del cacao no están clasificadas como hiperacumuladora de Cd, generalmente la concentración en los granos va desde 0,02 a 12 mg kg⁻¹ de cadmio, siendo estos valores superiores en América Latina (Vanderschueren *et al.*, 2021).

Las regulaciones impuestas por la Unión Europea sobre los límites máximos permitidos de residuos de cadmio sobre el grano de cacao ecuatoriano puede generar el bloqueo de las exportaciones, afectando la cadena de valor del cultivo, lo cual afectaría directamente a miles de familias que dependen de este rubro (Barraza *et al.* 2021), impactando de los ingresos nacionales, dado que este producto representa uno de los principales rubros económicos no solo en el campo agrícola, sino de la economía nacional, y países de África y sudamericanos como Brasil (De Oliveira *et al.*, 2021).

Existe preocupación en la cadena de negocio del cacao en todo el mundo; productores, exportadores, importadores y clientes; debido a la presencia del cadmio en las semillas y en su transmisión directa al chocolate de consumo humano (Bravo *et al.*, 2022), puesto que este metal pesado se acumula en el organismo y responsable de patologías graves para el ser humano; además de ser tóxico, presenta alta permanencia en hígado y riñones, siendo estos criterios establecidos para los contaminantes más tóxicos (Maddela, *et al.*, 2020).

La cadena de producción de cacao ecuatoriano a nivel mundial se caracteriza por su excelente aroma y sabor (Villacis *et al.* 2022). A pesar de ello, su exportación es limitada, dado que la Unión Europea ha detectado niveles significativos de metales pesados en especial cadmio en productos derivados

de cacao, por lo que propuso una normativa sobre los límites mínimos de cadmio (Marincich *et al.*, 2023). En consecuencia, el cacao en grano debe cumplir con los niveles máximos de Cadmio de acuerdo con el Codex Alimentarius.

En función de lo anteriormente expuesto, el objetivo de esta investigación fue determinar, en la hacienda Roldán ubicada en el cantón Echeandía provincia de Bolívar, lo siguiente:

- Realizar análisis del contenido de cadmio en suelo en el cultivo de cacao mediante la toma de muestras.
- Evaluar los niveles de cadmio de cacao en grano, mediante análisis de laboratorio.
- Representar en forma gráfica los niveles de cadmio en la zona de estudio.

Materiales y métodos

Ubicación y caracterización del sitio de estudio

La investigación se realizó en el sector Barraganete del cantón Echeandía, provincia de Bolívar (1°26'36.01" S, 79°17'13.22" O) entre octubre 2020 y agosto 2021, evaluando la variedad de cacao CCN 51 con 7 años de plantado. El clima predominante es el tropical megatérmico húmedo, que se caracteriza por sus precipitaciones hasta 2.500 mm anual y una temperatura de 24 °C, ideal para el desarrollo de una vegetación arbustiva exuberante (Caiza, 2013). Los suelos en su mayor parte pertenecen al grupo de inceptisoles (84,24 %), que implica una alta concentración de materia orgánica, drenaje deficiente y ocupan las laderas escarpadas características del cantón.

Recolección de muestras de suelo

Se recolectaron 10 muestras de suelo compuesta en las 17,45 hectáreas de la finca de manera aleatoria al azar y en forma de zig – zag dentro de la superficie sembrada del cultivo de cacao establecido, a una profundidad de 0 a 20 cm, para cada muestra compuesta se tomaron 3 submuestras las cuales fueron mezcladas homogéneamente, para obtener una muestra compuesta de 1 kg aproximadamente para el análisis químico.

Recolección de muestras de granos

Se recolectó mazorcas de cacao de 10 árboles de forma aleatoria cercano al sitio donde se tomó la muestra de suelo, previamente los granos deben estar libre de la mazorca, este proceso se realizó con instrumento de acero inoxidable desinfectado cada toma de muestra para evitar contaminación con otros metales.

Concentraciones de cadmio en suelo (mg kg⁻¹)

La determinación de los niveles de cadmio en suelos se realizó mediante extracción de Cd total, usando el procedimiento acreditado de absorción atómica en el Laboratorio de Suelos, Foliares y Aguas de Agrocalidad Tumbaco. El mismo está acreditado por el Servicio de Acreditación Ecuatoriano SAE bajo la norma ISO/IEC 17025.

Tabla 1. Puntos georreferenciados dentro de la unidad de producción, donde se recolectaron muestras de suelo y semillas para la determinación de Cd

Muestra	Muestras de suelo		Muestras de semillas	
	S	O	S	O
M-1	1°27'2.43"	79°16'53.14"	1°27'2.59"	79°16'53.17"
M-2	1°26'55.43"	79°16'52.92"	1°26'50.61"	79°16'54.15"
M-3	1°26'51.00"	79°16'55.51"	1°26'44.59"	79°16'54.48"
M-4	1°26'45.24"	79°16'56.78"	1°26'45.24"	79°16'56.78"
M-5	1°26'44.98"	79°17'2.21"	1°26'44.43"	79°17'1.66"
M-6	1°26'43.78"	79°17'3.12"	1°26'43.45"	79°17'3.12"
M-7	1°26'42.22"	79°17'6.87"	1°26'41.73"	79°17'6.29"
M-8	1°26'40.09"	79°17'27.96"	1°26'40.10"	79°17'8.26"
M-9	1°26'37.63"	79°17'12.57"	1°26'37.47"	79°17'14.02"
M-10	1°26'36.01"	79°17'13.22"	1°26'35.48"	79°17'12.44"

Representación de datos

Mediante el software ArcGIS se realizó la representación gráfica de los datos obtenidos de cadmio en suelos y semillas de cacao, para lo cual se identificaron previamente las coordenadas mediante localización por GPS (Sistema de Posicionamiento Global), las cuales se presentan en formato geográfico sexagesimal (grados, minutos, segundos) en la Tabla 1.

Análisis estadístico

Se aplicó una prueba T-Student unilateral izquierda donde se comparó con la Normativa Ambiental Ecuatoriana 2015 con los niveles de cadmio permitidos en suelo agrícola, y con la Normativa Alimentaria Europea, 2019 para productos elaborados de cacao.

Resultados

Análisis de concentración de cadmio en suelo

Los valores de cadmio en las 10 muestras de suelo obtenidas en la Hacienda Roldán presentan valores en un rango de 1,19 – 2,13 mg kg⁻¹ (Tabla 2) y, de acuerdo con Reglamento al Código Orgánico del Ambiente año 2019, en su anexo 2 Norma Técnica Ambiental del recurso suelo, la mayor parte de estos valores se encuentran menor que 2,00 mg kg⁻¹, que es el límite máximo permitido para remediación en los suelos de uso agrícola según la norma ambiental ecuatoriana a excepción del punto 10, que supera este valor. Solo una muestra presentó concentración más arriba de lo permitido.

Tabla 2. Niveles de cadmio obtenidos en suelos de una unidad de producción del cantón de Echeandía, provincia de Bolívar, Ecuador

Muestra	Valor Cd mg kg ⁻¹
Muestra 1	1,41
Muestra 2	1,57
Muestra 3	1,20
Muestra 4	1,42
Muestra 5	1,20
Muestra 6	1,21
Muestra 7	1,36
Muestra 8	1,23
Muestra 9	1,19
Muestra 10	2,13

Al comparar los valores obtenidos, con lo establecido en la Norma de Calidad Ambiental del Recurso Suelo y Criterios de Remediación para Suelos Contaminados Anexo 2, mediante la T de Student, se observa una media de 1,39 mg kg⁻¹, con un valor *p* de 0,99 (Tabla 3), indicando que solo una de las muestras obtenidas presenta considerablemente altos niveles de cadmio en los resultados del análisis de suelo, tomando como referencia el valor máximo establecido en la norma ecuatoriana.

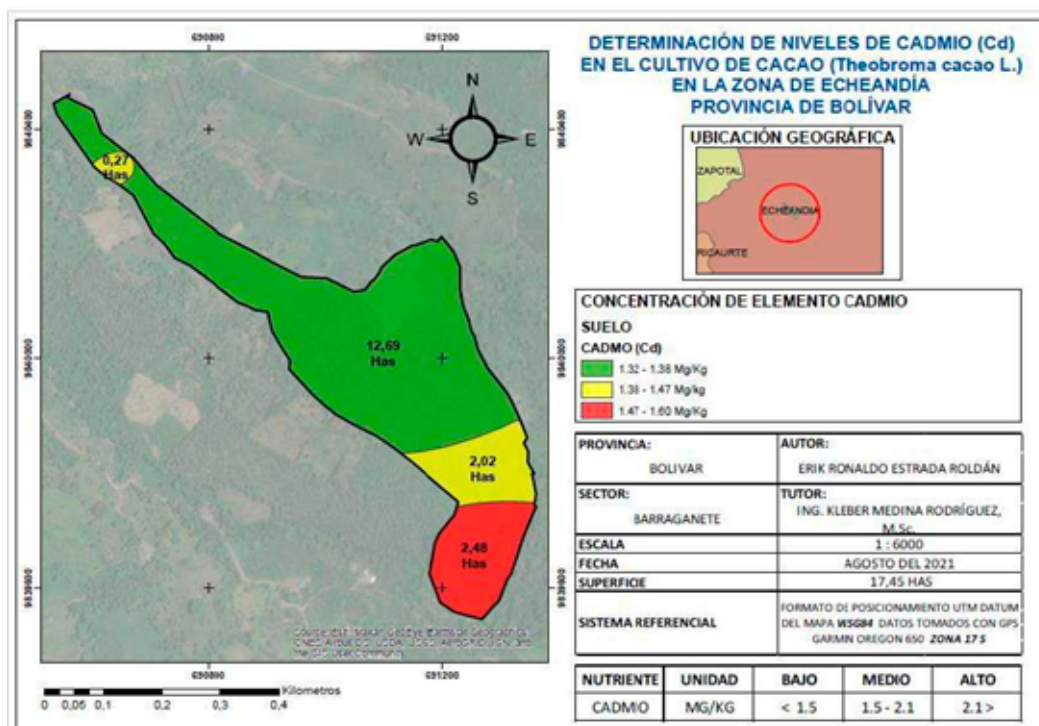


Figura 1. Distribución de Cd de acuerdo a la concentración en suelos de la hacienda Roldán, cantón de Echeandía, provincia de Bolívar, Ecuador.

Tabla 3. Prueba T unilateral izquierda del cadmio en el suelo, para comparar con la Normativa Ambiental Ecuatoriana 2015

Variable	N	Media	T	p valor
Cadmio suelo	10	1,39	15,22	0,99

En la Figura 1 se puede observar la representación gráfica de la concentración de Cd en suelos de la hacienda mediante la herramienta ArcGis, se evidencia que 12,69 hectáreas presentan concentraciones de cadmio en el rango de 1,32 – 1,38 mg kg⁻¹; 2,29 hectáreas se encuentran en el rango de 1,38 – 1,47 mg kg⁻¹ y 2,48 hectáreas muestran niveles de 1,47 – 1,60 mg kg⁻¹, equivalentes a niveles medios de presencia del elemento, en solo uno de los casos por encima del nivel máximo permitido de 2,00 mg kg⁻¹ de Cd, a excepción de la muestra 10 que supera este valor.

Discusión

En la mayoría de las áreas evaluadas dentro de la unidad de producción, las concentraciones de cadmio (Cd) se mantuvieron por debajo de los límites permisibles. Sin embargo, en ciertos sectores se observaron niveles superiores, posiblemente atribuibles a procesos de acumulación asociados a la pendiente del terreno y a zonas bajas donde ocurre deposición de arcillas, lo que favorece la retención del metal

dado que se ha demostrado en diversos estudios una mayor capacidad de adsorción de este elemento en este tipo de suelo (Furcal-Beriguete y Torres-Morales, 2020; Xinxin *et al.*, 2020). No obstante, en el área de estudio, predominan suelos con pendiente, y lluvias intensas, que conducen a la erosión y pérdida de suelo, esto implica la acumulación de Cd en las zonas bajas (Xu *et al.*, 2021; Wei *et al.*, 2023).

Para Blommaert *et al.* (2022), la acumulación de Cd está relacionada a la translocación de este elemento, condicionado por el material genético y el pH del suelo, observándose que la baja concentración de Cd en la semilla se debe a que existe una menor translocación (Carrillo *et al.*, 2024). En diversas regiones agrícolas de Ecuador, la acumulación de cadmio (Cd) en niveles bajos y medios ha sido atribuida al uso frecuente de fertilizantes fosfatados y abonos orgánicos por parte de pequeños productores. Rodríguez-Alfaro *et al.* (2022) señalan que estos insumos, aunque fundamentales para el desarrollo de cultivos como el cacao y el arroz, pueden contener residuos de metales pesados que se incorporan al suelo. Carrillo *et al.* (2023) complementan esta perspectiva al destacar que dicha incorporación genera una interacción compleja entre los componentes edáficos y los insumos agrícolas, lo que influye en la movilidad y retención del cadmio.

Evaluación de los niveles de cadmio de cacao en grano

Los valores de cadmio de las 10 muestras de árboles obtenidas en la Hacienda Roldán (Tabla 4), presentan valores entre 0,19 – 1,11 mg kg⁻¹; que, según la Normativa Alimentaria Europea,

2019 están dentro de los rangos permitidos en los granos de cacao, con el objetivo de que, al ser industrializado y transformado en productos elaborados como bebidas o barras de chocolate, las concentraciones de cadmio no excedan los límites establecidos por el mercado europeo (Tabla 4).

Tabla 4. Concentración de cadmio en almendra en la zona de estudio del Echeandía, provincia de Bolívar, Ecuador

Muestra	Cd (mg kg ⁻¹)
Muestra 1	0,39
Muestra 2	0,56
Muestra 3	0,19
Muestra 4	0,41
Muestra 5	0,20
Muestra 6	0,20
Muestra 7	0,34
Muestra 8	0,21
Muestra 9	0,20
Muestra 10	1,11

Al comparar los valores de Cd obtenidos en semillas de cacao con la Normativa Alimentaria Europea mediante la T de Student, se observa una media de 0,38 mg kg⁻¹ con un valor de P 0,9984 (Tabla 5). Esto indica que ninguna de las muestras obtenidas presenta altos niveles de cadmio en las semillas, considerando el valor máximo establecido en la norma europea que es de 0,90 mg kg⁻¹.

Tabla 5. Prueba T unilateral izquierda del cadmio en las semillas, para comparar con la Normativa Alimentaria Europea, 2019

Variable	n	Media	T	p valor
Cadmio semillas	10	0,38	4,23	0,99

El mapa de concentración del elemento cadmio en semillas Figura 2, se observa que 11,41 hectáreas poseen un rango de concentración de cadmio de 0,19 – 0,42 mg kg⁻¹; 3,05 hectáreas obtuvieron un rango de 0,42 – 0,71 mg kg⁻¹ y 2,99 hectáreas obtuvieron niveles de 0,71 – 1,10 mg kg⁻¹, en todos los casos por debajo del límite máximo permitido en productos elaborados, el cual es de 0,90 mg kg⁻¹, de acuerdo Normativa Alimentaria Europea, 2019.

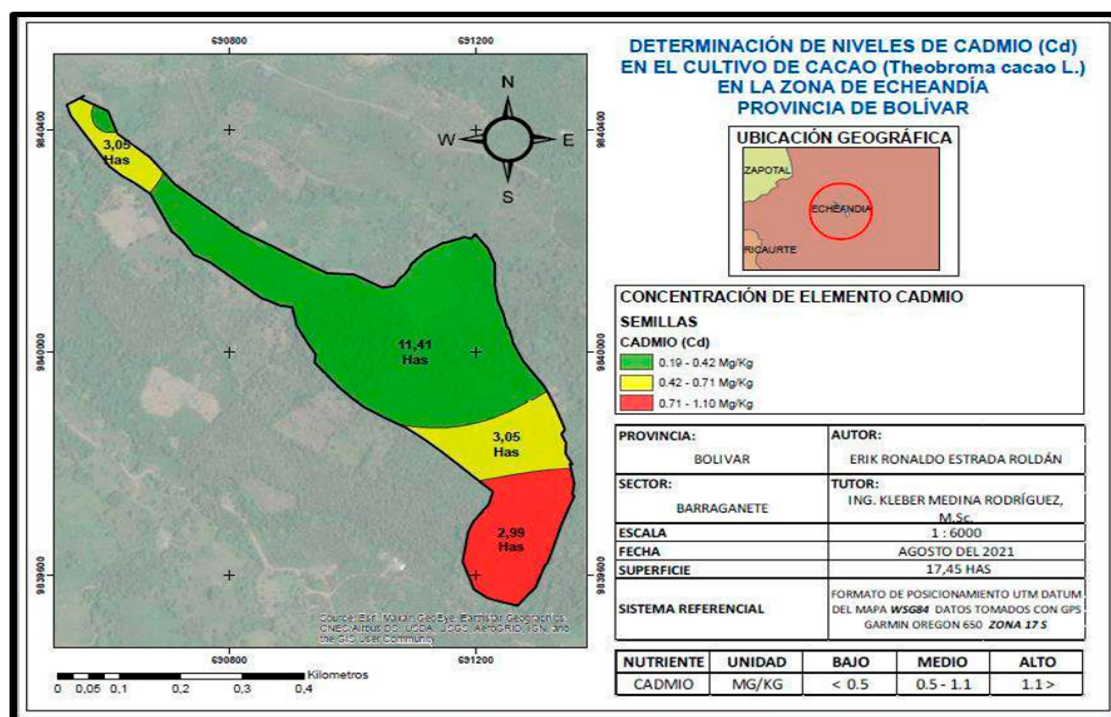


Figura 2. Distribución de cadmio de acuerdo con la concentración en semillas de la hacienda Roldan, cantón de Echeandía, provincia de Bolívar, Ecuador

La acumulación de Cd en la semilla tuvo un comportamiento similar al observado en el suelo, debido a procesos de desorción y adsorción que regulan la translocación de Cd (Chang *et al.*, 2023), se ha documentado. En diversas regiones de Ecuador, se han identificado suelos cultivados con distintos productos agrícolas que presentan contaminación por cadmio (Cd), lo cual en algunos casos puede afectar directamente a los frutos o semillas. Valarezo *et al.* (2022) destacan la necesidad de implementar programas de fitorremediación orientados a la recuperación de estos suelos, como estrategia para mitigar el riesgo de transferencia del metal a los cultivos.

La acumulación de Cd está por debajo de los niveles permitidos, su presencia no garantiza la inocuidad de los derivados, lo cual afecta su calidad por el riesgo potencial de la población consumidora, dado que la exposición a este contaminante causa problemas de salud a largo plazo (Suhani *et al.*, 2021; Wang *et al.*, 2021).

Es evidente que la acumulación de cadmio en la semilla se transloca a los productos manufacturado por el sector agroindustrial, lo que atenta contra la comercialización del mismo, dado que de superarse los niveles máximos permitidos se restringirá el acceso a mercado altamente competitivos como el asiático, Estados Unidos y la Unión Europea (Wieck y Grant, 2021; Charry *et al.*, 2023) si bien no se superan los límites, la presencia de este metal impacta de manera negativa la demanda del producto. Se debe migrar a sistemas de producción sostenible de cacao que sustituyan el uso de abonos químicos, es necesario garantizar su valor nutricional, calidad e inocuidad, dado que el mismo es consumido principalmente por la población infantil.

Conclusiones

Los resultados obtenidos evidencian que, si bien los niveles de cadmio (Cd) en el suelo presentaron una media de 1,39 mg kg⁻¹ valor superior al límite establecido por el Código Orgánico del Ambiente (0,5 mg kg⁻¹), ninguna de las muestras analizadas alcanzó concentraciones críticas que comprometan la seguridad del cultivo. Asimismo, los niveles de Cd en almendras de cacao se ubicaron entre 0,19 y 1,11 mg kg⁻¹, rango que se encuentra dentro de los límites permitidos por la Normativa Alimentaria Europea para productos elaborados, lo que garantiza la inocuidad del chocolate y sus derivados agroindustriales.

Estos hallazgos permiten concluir que la producción de cacao en la zona evaluada no representa un riesgo para la salud del consumidor ni para la agroexportación hacia mercados con altos estándares ambientales y sanitarios, como los países de la Unión Europea. No obstante, se recomienda implementar medidas agronómicas preventivas en las áreas donde se registraron las concentraciones más elevadas de Cd, con el fin de preservar la calidad del suelo, asegurar la inocuidad del producto final y fortalecer la competitividad del cacao ecuatoriano en el comercio internacional.

Referencias bibliográficas

- Amponsah-Doku, B., Daymond, A., Robinson, S., Atuah, L. y Sizmur, T. (2022). Improving soil health and closing the yield gap of cocoa production in Ghana—A review. *Scientific African*, 15. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e01075>
- Barraza, F., Schreck, E., Uzu, G., Lévêque, T., Zouiten, C., Boidot, M. y Maurice, L. (2021). Beyond cadmium accumulation: Distribution of other trace elements in soils and cacao beans in Ecuador. *Environmental Research*, 192, 110241. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110241>
- Blommaert, H., Aucour, A.-M., Wiggerhauser, M., Moens, C., Telouk, P., Campillo, S., Beauchêne, J., Landrot, G., Testemale, D., Pin, S., Lewis, C., Umaharan, P., Smolders, E. y Sarret, G. (2022). From soil to cacao bean: Unravelling the pathways of cadmium translocation in a high Cd accumulating cultivar of Theobroma cacao L. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1055912>
- Borja Abad, K. L., Vite Cevallos, H., Garzón Montealegre, V. J. y Carvajal Romero, H. (2021). Análisis de las exportaciones del cacao ecuatoriano en grano en el periodo 2008 al 2018. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 4(Suplemento 1), 147–155. <https://doi.org/10.62452/kqjprc07>
- Bravo, D., Santander, M., Rodríguez, J., Escobar, S., Ramtahal, G. y Atkinson, R. (2022). 'From soil to chocolate bar': identifying critical steps in the journey of cadmium in a Colombian cacao plantation. *Food Additives y Contaminants: Part A*, 39(5), 949-963. <https://doi.org/10.1080/19440049.2022.2040747>
- Caiza Alarcón, V. R. (2013). *Plan de Desarrollo Turístico para el cantón Echeandía, provincia de Bolívar*. [Trabajo de Grado. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Repositorio Académico Espoch. <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/2770>
- Carrillo, M. D., Valarezo, J. X., Vera-Benites, L., Rodríguez, D. T. y García-Orellana, Y. (2023). La omisión de nutrientes para la remediación de suelos contaminados con cadmio en cultivos de cacao y arroz. *Agroindustria, Sociedad y Ambiente*, 2(21), 109-137. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10390226>
- Carrillo, M. D., Valarezo, J. X., Salazar, K. P., Durango, W. y García-Orellana, Y. (2024). Efecto de omisión de macronutrientes sobre absorción de cadmio en plántulas de arroz. *Agronomía Mesoamericana*, 55138-55138. <https://doi.org/10.15517/am.2024.55138>
- Cedeño, E. P. y Dilas-Jiménez, J. O. (2022). Producción y exportación del cacao ecuatoriano y el potencial del cacao fino de aroma. *Qantu Yachay*, 2(1), 08-15. <https://doi.org/10.54942/qantuyachay.v2i1.17>

- Chang, S., Han, L., Chen, R., Liu, Z., Fan, Y., An, X. y Wang, T. (2023). Vulnerability assessment of soil cadmium with adsorption-desorption coupling model. *Ecological Indicators*, 146, 109904. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.109904>
- Charry, A., Atkinson, R., Junca, J. J., Perea Ramirez, C., Thomas, E. y Pulleman, M. M. (2023). Effects of the EU food safety regulation on cadmium on the cacao value chains of Colombia, Ecuador, and Peru. Briefing Note No. 4. Cali (Colombia): *International Center for Tropical Agriculture (CIAT)* 14 p. <https://hdl.handle.net/10568/130296>
- De Oliveira, A. P. F., Milani, R. F., Efraim, P., Morgano, M. A. y Tfouni, S. A. V. (2021). Cd and Pb in cocoa beans: Occurrence and effects of chocolate processing. *Food Control*, 119, 107455. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107455>
- Furcal-Beriguete, P. y Torres-Morales, J. L. (2020). Determinación de concentraciones de cadmio en plantaciones de *Theobroma cacao* L. en Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 33(1), 122-137 <http://dx.doi.org/10.18845/tm.v33i1.5027>
- Kuhn, M., Tennhardt, L. y Lazzarini, G. A. (2023). Gender Inequality in the Cocoa Supply Chain: Evidence from Smallholder Production in Ecuador and Uganda. *World Development Sustainability*, 2, 100034. <https://doi.org/10.1016/j.wds.2022.100034>
- Maddela, N. R., Kakarla, D., García, L. C., Chakraborty, S., Venkateswarlu, K. y Megharaj, M. (2020). Cocoa-laden cadmium threatens human health and cacao economy: A critical view. *Science of the Total Environment*, 720, 137645. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137645>
- Marincich, L., Protti, M., Mandrioli, R., Mercolini, L. y Woźniak, Ł. (2023). Threat or treat: Exposure assessment and risk characterisation of chemical contaminants in soft drinks and chocolate bars in various Polish population age groups. *EFSA Journal*, 21, e211011. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2023.e211011>
- Nkouedjo, L. L., Mathe, S., Fon, D. E., Geitzenauer, M. y Manga, A. A. (2020). Cocoa marketing chain in developing countries: How do formal-informal linkages ensure its sustainability in Cameroon?. *Geoforum*, 117, 61-70. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2020.09.005>
- Parada-Gutiérrez, O. y Veloz-Cordero, R. L. (2021). Análisis socioeconómico de productores de cacao, localidad Guabito, provincia Los Ríos, Ecuador. *Ciencias Holguín*, 27(1), 1-17. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181565709001>
- Rahim, A., Antara, M., Rauf, R. A., Lamusa, A., Safitri, D. y Mulyo, J. H. (2020). Sustainability of cocoa production in Indonesia. *Australian Journal of Crop Science*, 14(6), 997-1003. <https://doi.org/10.21475/ajcs.20.14.06.p2510>
- Rodríguez-Alfaro, M., Muñoz-Ugarte, O., Araújo-do Nascimento, C. W., Montero-Álvarez, A., Calero-Martín, B. y Martínez-Rodríguez, F. (2022). Rangos permisibles de Cadmio y Plomo en abonos orgánicos utilizados en la producción de alimentos. *Cultivos Tropicales*, 43(1), e01-e01. <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/1637>
- Rofner, N. F. (2021). Cadmium in soil and cacao beans of Peruvian and South American origin. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 74(2), 9499-9515. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/91107/79264>
- Sabas, B. Y. S., Danmo, K. G., Madeleine, K. A. T. y Bogaert, J. (2020). Cocoa production and forest dynamics in ivory coast from 1985 to 2019. *Land*, 9(12): 1-12. <https://doi.org/10.3390/land9120524>
- Suh, N. N. y Molua, E. L. (2022). Cocoa production under climate variability and farm management challenges: Some farmers' perspective. *Journal of Agriculture and food Research*, 8, 100282. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100282>
- Suhani, I., Sahab, S., Srivastava, V. y Singh, R. P. (2021). Impact of cadmium pollution on food safety and human health. *Current opinion in toxicology*, 27, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.cotox.2021.04.004>
- Valarezo, J. X., Carrillo-Zenteno, M. D., Rubio-Zapata, G. A., Peña-Salazar, K. E. y García-Orellana, Y. (2022). Omisión de macronutrientes y biodisponibilidad de cadmio en suelos de Ecuador. *Acta Agronómica*, 71(3), 248-257. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta-agronomica/article/view/105855/95302>
- Vanderschueren, R., Argüello, D., Blommaert, H., Montalvo, D., Barraza, F., Maurice, L., ... y Smolders, E. (2021). Mitigating the level of cadmium in cacao products: Reviewing the transfer of cadmium from soil to chocolate bar. *Science of the Total Environment*, 781, 146779. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146779>
- Villacis, A., Alwang, J. y Barrera, V. (2022). Cacao value chains and credence attributes: lessons from Ecuador. *Journal of Agribusiness in Developing and Emerging Economies*, 12(4), 549-566. <https://doi.org/10.1108/JADEE-10-2021-0267>
- Wang, M., Chen, Z., Song, W., Hong, D., Huang, L. y Li, Y. (2021). A review on cadmium exposure in the population and intervention strategies against cadmium toxicity. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 106, 65-74. <https://doi.org/10.1007/s00128-020-03088-1>
- Wei, X., Bai, X., Wen, X., Liu, L., Xiong, J. y Yang, C. (2023). A large and overlooked Cd source in karst areas: The migration and origin of Cd during soil formation and erosion. *Science of The Total Environment*, 895, 165126. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165126>

- Wieck, C. y Grant, J. H. (2021). Codex in motion: food safety standard setting and impacts on developing countries' agricultural exports. *EuroChoices*, 20(1), 37-47. <https://doi.org/10.1111/1746-692X.12293>
- Xinxin, M. O., Siebecker, M. G., Wenxian, G. O. U., Ling, L. I. y Wei, L. I. (2021). A review of cadmium sorption mechanisms on soil mineral surfaces revealed from synchrotron-based X-ray absorption fine structure spectroscopy: Implications for soil remediation. *Pedosphere*, 31(1), 11-27. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(20\)60017-0](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(20)60017-0)
- Xu, L., Xing, X., Cui, H., Zhou, J., Zhou, J., Peng, J., ... y Ji, M. (2021). The combination of lime and plant species effects on trace metals (copper and cadmium) in soil exchangeable fractions and runoff in the red soil region of China. *Frontiers in Environmental Science*, 9, 638324. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.638324>

