

CADMIO EN EL CULTIVO DE CACAO



“CAJA DE HERRAMIENTAS PARA LA PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE LA
CONTAMINACIÓN DE CADMIO EN LA CADENA DE CACAO-ECUADOR”



sembramos
Futuro

Lenín



GUÍA 1

CADMIO EN EL CULTIVO DE CACAO

Dirigida a: técnicos y agricultores.

AUTORES

Magdalena López-Ulloa¹; Ramón Jaimez²; Luis Orozco-Aguilar³

REVISIÓN PARES EXTERNOS

Laurence Maurice⁴; Eduardo Chávez⁵

¹Cooperación Técnica Alemana, GIZ. Programas Cadenas de Valor. Consultora. Quito, Ecuador. maggielopez62@gmail.com

²Universidad Técnica de Manabí. Facultad de Ingeniería Agronómica. Portoviejo, Ecuador. ramon.jaimez@utm.edu.ec

³Director de Investigación e Innovación del proyecto MOCCA-LWR. Oficinas: CATIE. Turrialba, Costa Rica. +5066434950. lororzcoaguilar@lwr.org; <https://mocca.org/>

⁴Laboratoire Geosciences Environnement Toulouse (GET); Observatoire Midi-Pyrénées (OMP). 14 avenue Edouard Belin - 31400. Toulouse, France. laurence.maurice@ird.fr; <https://orcid.org/0000-0003-3482-3892>

⁵Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL. Facultad de Ciencias de la Vida. Campus Gustavo Galindo Km. 30.5 Vía Perimetral, P.O. Box 09-01-5863. Guayaquil, Ecuador. fchavez@espol.edu.ec

Coordinación general

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



Coordinación editorial

Magdalena López Ulloa, 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:

López-Ulloa, M., Jaimez, R. & Orozco, L. (2021). Guía 1: El cadmio en el cultivo de cacao. *Caja de herramientas para la prevención y mitigación de la contaminación de cadmio en la cadena de cacao-Ecuador* (1.ª ed., pp. 1-20). 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: 978-9942-22-514-6





ÍNDICE

1. Introducción	1
2. Efectos del cadmio en la salud humana	3
3. Regulaciones de cadmio	5
4. Fuentes de cadmio	8
4.1 Fuentes naturales	9
4.2 Fuentes antropogénicas	11
5. Cultivares de cacao y su afinidad a la absorción de cadmio	13
6. Conclusiones	16
7. Referencias	17

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. <i>Niveles máximos permisibles de cadmio en la Unión Europea en cacao y productos de chocolate.</i>	5
TABLA 2. <i>Nivel máximo permitido de cadmio según la Proposición 65 del Acuerdo Industrial (San Pin 2.2-1078-01).</i>	6
TABLA 3. <i>Rangos de concentración de cadmio en las rocas.</i>	10
TABLA 4. <i>Aportes estimados de cadmio agregados a suelos agrícolas por diferentes fuentes (mg kg^{-1}): Rangos mínimos a máximos.</i>	12

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Distribución de niveles promedios de cadmio en granos de cacao de África, Asia y América Latina y el Caribe (ALC)</i>	7
Figura 2. <i>Fuentes naturales y antropogénicas de cadmio en el medio ambiente.</i>	11
Figura 3. <i>Niveles de cadmio en granos/almendras en diferentes cultivos/variedades de cacao en Trinidad-Tobago.</i>	14

1. Introducción

El cadmio (Cd) es un metal que se encuentra en el suelo, producto de la meteorización de las rocas y erupciones volcánicas, fosfatos marinos y por aportes de actividades humanas como: la explotación minera, la fundición y refinación de metales no ferrosos, la quema de combustibles fósiles, la aplicación de fertilizantes fosfatados y la quema de residuos industriales y urbanos. El cadmio es considerado un metal pesado y tóxico que representa riesgos a la salud humana, especialmente en niños. El consumo de productos de cacao con altas “trazas o cantidades mínimas” de cadmio, durante la niñez, puede ser un problema para el desarrollo apropiado del cerebro y otros desórdenes de la salud, debido a una baja capacidad de excreción y, como consecuencia, puede producir daños renales (Maddela et al., 2020). Por tal motivo la Unión Europea (UE), en el año 2019, puso en vigencia el reglamento 438/2014 que regula los niveles de cadmio en el chocolate y sus derivados.

El cadmio no es un elemento esencial y no tiene una función definida en las plantas, pero puede ser transferido del suelo a ellas y bioacumularse. Al ser el cacao la materia prima para el chocolate, una delicia para el consumo humano, las exigencias de calidad y salubridad del grano por parte de los compradores actualmente son más estrictas. En este sentido, las trazas de cadmio en las almendras de cacao, se han convertido en un tema económico y de salud pública. Dado que varios países de Latinoamérica exportan cacao a Europa y Estados Unidos (E.E.U.U.), es necesario considerar la presencia de las concentraciones de cadmio en las zonas de fomento del cultivo, y los riesgos para la salud de los consumidores que estas pueden conllevar.

Esta guía tiene por objeto introducir a los técnicos y agricultores en el conocimiento de los efectos del cadmio en la salud humana, las regulaciones de cadmio para los productos de cacao, las fuentes naturales y humanas de este metal en el suelo, los factores y los genotipos de cacao que permiten reducir su absorción por la planta. Esta información permitirá comprender las posibles medidas de mitigación y así reducir la acumulación de este metal traza en la almendra de cacao.



2. Efectos del cadmio en la salud humana

El cadmio es considerado como un contaminante de alta peligrosidad para la salud pública (OMS, 2020); es un elemento traza que no es esencial biológicamente, no juega ningún rol en el crecimiento y desarrollo de plantas, animales y seres humanos. El cadmio, a bajas concentraciones, comparado con otros metales puede causar mayores efectos tóxicos al ambiente (Engbersen et al., 2019).

En humanos, la toxicidad de cadmio se conoció por primera vez como enfermedad de Itai-Itai en Japón, esta se atribuyó al consumo de cultivos de arroz contaminados con altas concentraciones de cadmio en el grano. La enfermedad se caracteriza por producir: osteomalacia, osteoporosis, fracturas óseas dolorosas y disfunción renal (Kobayashi, 1978; Zug et al., 2019).

El cadmio se acumula irreversiblemente en el cuerpo humano en riñones, hígado y en testículos. La vida media biológica del cadmio en humanos es de 10 a 35 años (OMS, 2020). La exposición humana al cadmio también deriva en una bioacumulación en otros tejidos, lo que ocasiona varios efectos tóxicos que incluyen: hepatotoxicidad, neurotoxicidad, toxicidad pulmonar, pancreática, testicular y trastornos degenerativos del sistema nervioso central, entre otras enfermedades (Interdonato et al., 2015; Beckhauser et al., 2016). Los jóvenes presentan más susceptibilidad a la acumulación de cadmio que los adultos y pueden sufrir desmineralización ósea (EFSA, 2012a).

La alta ingesta de cadmio o su ingestión crónica también puede provocar alteraciones en el metabolismo del calcio, que produce formación de cálculos renales y efectos sobre el hueso; como osteomalacia

(ablandamiento de huesos). Esto puede ocurrir en aquellas personas que están expuestas o trabajan en áreas contaminadas con cadmio, como son las áreas mineras (OPS, s.f.).

La Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA, 2012b) y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA, IRIS, 1989), han clasificado al cadmio y sus derivados en la categoría 1B de los elementos de riesgo cancerígeno, y la Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer (IARC, 2009) en el grupo 1.

La alta concentración de cadmio en el aire, ocasionada por actividad minera industrial, cenizas volcánicas y quema de combustibles fósiles y plásticos, puede debilitar la función del pulmón, producir broncoespasmos, fibrosis, daños al sistema inmunológico, desórdenes psicológicos, así como un incremento del riesgo de cáncer de pulmón y próstata (OMS, 2020).



3. Regulaciones de cadmio

Los productos derivados del cacao se consumen generalmente en pequeñas cantidades en comparación con los alimentos básicos, pero pueden ser consumidos de forma cotidiana por los niños (cacao en polvo) y ser una fuente importante de cadmio dietético. Para reducir la bioacumulación y la exposición, la Unión Europea estableció niveles máximos permitidos de cadmio en diferentes productos derivados de cacao (Tabla 1), que se aplica desde el primero de enero del año 2019.

TABLA 1. Niveles máximos permisibles de cadmio en la Unión Europea en cacao y productos de chocolate.

Producto	Nivel máximo permisible (mg kg ⁻¹)
Chocolate con leche con un contenido de materia seca total de cacao < 30%	0,10
Chocolate con un contenido de materia seca total de cacao < 50%; chocolate con leche con un contenido de materia seca total de cacao ≥ 30%	0,30
Chocolate con un contenido de materia seca total de cacao ≥ 50%	0,80
Cacao en polvo vendido al consumidor final o como ingrediente en cacao en polvo edulcorado vendido al consumidor final (chocolate para beber)	0,60

Fuente: Adaptado del reglamento de la Comisión Europea 488/2014.

En E.E.U.U., el estado de California promulgó el Acuerdo Industrial 65 (19/02/2018) (Tabla 2) que establece los niveles máximos para el cadmio (Cd) y plomo (Pb) en los productos de chocolate. Dicho acuerdo indica que los productos que exceden los límites de Cd y Pb se pueden vender, pero con una etiqueta de advertencia.

TABLA 2. Nivel máximo permitido de cadmio según la Proposición 65 del Acuerdo Industrial (San Pin 2.2-1078-01).

Composición del producto de chocolate (% del contenido total de cacao)	Nivel máximo de cadmio (mg kg^{-1}) establecido para:	
	2018-2025	2025
< 65%	0,400	0,320
65 - 95%	0,450	0,400
\geq 95%	0,960	0,800

Fuente: Meter et al. (2019).

Actualmente, sigue una discusión activa de los límites máximos recomendados de cadmio a incluir en el Codex Alimentarius, que es una colección de estándares alimentarios adoptados internacionalmente y textos desarrollados para ayudar a armonizar la seguridad, la calidad y la equidad de la calidad de los alimentos a nivel internacional. Los niveles de Cd que se están discutiendo para su inclusión en el Codex Alimentarius son de 0.8 mg kg^{-1} para chocolate con $\geq 50\%$ a $< 70\%$ de sólidos de cacao, y 0.9 mg kg^{-1} para chocolate con $> 70\%$ de sólidos de cacao. Las categorías y los límites para los productos con $< 50\%$ de sólidos de cacao en total y para el polvo de cacao (100% de sólidos de cacao) aún no se han definido.



Todos los límites máximos de cadmio se establecen en los productos de chocolate y no en la materia prima (granos de cacao). Sin embargo, los compradores están aplicando estos límites a los granos de cacao que compran, para garantizar que los productos finales que ellos elaboran estén por debajo de los límites máximos fijados. Esta situación está afectando a muchos productores en América Latina y el Caribe (ALC) que participan en la exportación de cacao de sabor fino de aroma, usado comúnmente para productos con alto contenido de cacao y/o de origen único (Figura 1). En general, los valores de cadmio en los granos de cacao reportados para ALC están cercanos o por encima de los límites permitidos, lo que indica que el nuevo reglamento sanitario de la Unión Europea y E.E.U.U. afectará a los productores de cacao en la región.

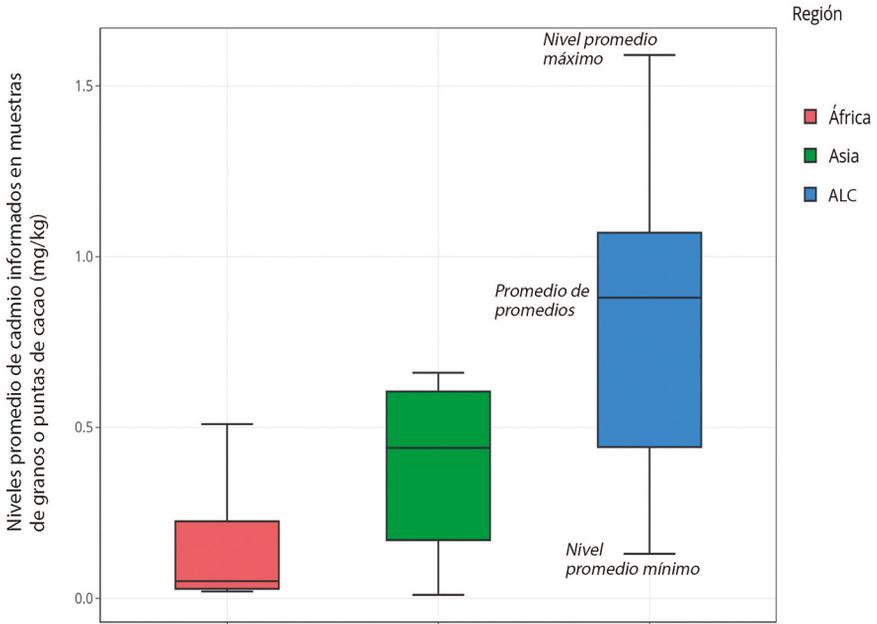


Figura 1. Distribución de niveles promedios de cadmio en granos de cacao de África, Asia y América Latina y el Caribe (ALC).

Fuente: Meter et al. (2019).

4. Fuentes de cadmio

Naturalmente, el cadmio está presente en el suelo; si la concentración o las cantidades aumentan, este puede ser un contaminante en suelos agrícolas que al entrar en la cadena alimentaria, afecta a la salud humana. La presencia de cadmio en los suelos, atmósfera e hidrósfera es el resultado de una combinación de procesos naturales y antropogénicos.

Hay varios factores que pueden influenciar la toxicidad de los metales pesados en el suelo, entre ellos: 1) el material parental del suelo (lo que llamamos la roca madre), la actividad volcánica cercana; 2) la acidez del suelo (pH menor a 5,5 propicia la liberación del cadmio), también su textura, contenidos menores de 5% de materia orgánica son propensos a contaminarse con cadmio; 3) la profundidad de enraizamiento del cultivo;



4) las actividades humanas como la minería, basureros y/o vertederos municipales, aplicación de fertilizantes fosfatados, la quema de vegetación en la frontera agrícola y el reciclaje de material vegetal con contenidos de cadmio (Khan et al., 2017; Barraza et al., 2017).

4.1 Fuentes naturales

Los procesos naturales que aportan y liberan el cadmio al ambiente son: meteorización de las rocas, pedogénesis de rocas madres volcánicas o sedimentarias, fosfatos marinos, erupciones volcánicas, incendios forestales, erosión, deposición de sedimentos, partículas de suelo arrastradas por el viento y polvo de roca. La meteorización geológica es la mayor fuente natural de cadmio geogénico en el suelo y la actividad volcánica (Figura 2). En suelos naturales no contaminados la concentración de cadmio está en gran medida influenciada por la cantidad de este metal en la roca madre (Tabla 3), y su liberación puede ser acelerada por las condiciones climáticas y topográficas que favorezcan la meteorización, así como por los procesos de erosión hídrica y eólica que van acompañados por procesos de transporte y deposición de sedimentos (Khan et al., 2017).

La variabilidad natural del cadmio en el suelo es alta porque hay factores como el tipo de material parental (roca) del cual se origina el suelo, el clima, la topografía y la edad del suelo, que influyen en que los suelos de algunas áreas sean naturalmente ricos en cadmio en comparación con otras. Pero, cabe resaltar que la contribución de cadmio de las fuentes naturales contabiliza el 10%, con relación al total de todas las fuentes (Khan et al., 2017; Bi et al., 2006; Cloquet et al., 2006). Por lo general, el cadmio en el suelo está presente en bajas concentraciones ($< 1,2 \text{ mg kg}^{-1}$), por tal razón se lo conoce como elemento traza. En condiciones extremas de contaminación natural el suelo contiene hasta 100 mg kg^{-1} de cadmio (He et al., 2005).



TABLA 3. Rangos de concentración de cadmio en las rocas.

Tipo de roca	Rango mg kg ⁻¹	Promedio mg kg ⁻¹
Rocas ígneas		
Riolitas	0,03 – 0,57	0,230
Granitos	0,01 – 1,60	0,200
Basalto	0,01 – 1,60	0,130
Rocas sedimentarias		
Esquistos y arcillas	0,017 – 11	0,065
Esquistos negros	0,30 – 219	
Piedras areniscas y conglomerados	0,019 – 0,4	
Carbonatos	0,007 – 12	
Fosforitas	< 10 – 980	
Carbón	0,01 – 300	
Yacimientos minerales de azufre		
Esfalerita (SZn)	0,02 – 0,4 (< 5%)	
Galena (SPb)	< 0,5%	
Tetrahedrita – Tennantita (CuSZn)	0,24%	
Metacinnabar (HgS)	11,70	

Fuente: Alloway (1995).

Gramlich et al. (2018), mencionan que la deposición de sedimentos causada por inundaciones cercanas a los ríos, puede ser una fuente clave de acumulación de cadmio en la capa superficial del suelo. Coincidiendo con esto, en Ecuador Argüello et al. (2019) encontraron que las almendras de cacao con los niveles más altos de cadmio corresponden a cultivos que están en suelos aluviales originados de material sedimentario. Otro estudio realizado en la provincia de Esmeraldas, por la Cooperativa

Francesca Ethiquable y el Institut de Recherche pour le Développement (IRD), encontró que las más altas concentraciones de cadmio en las hojas y almendras de cacao se ubican en fincas que se inundan regularmente (Meter et al., comunicación personal, 2019).

4.2 Fuentes antropogénicas

Los aportes de cadmio al medio ambiente, por actividades humanas, están dados principalmente por procesos industriales y agrícolas (Figura 2). Entre estos tenemos las siguientes actividades: extracción minera y fundición de metales no ferrosos, extracción de petróleo y gas, combustión de combustibles fósiles, elaboración y aplicación de agroquímicos, incineración de residuos sólidos, producción de cemento y otros (Adriano, 2001; Khan et al., 2017; Barraza et al., 2017).

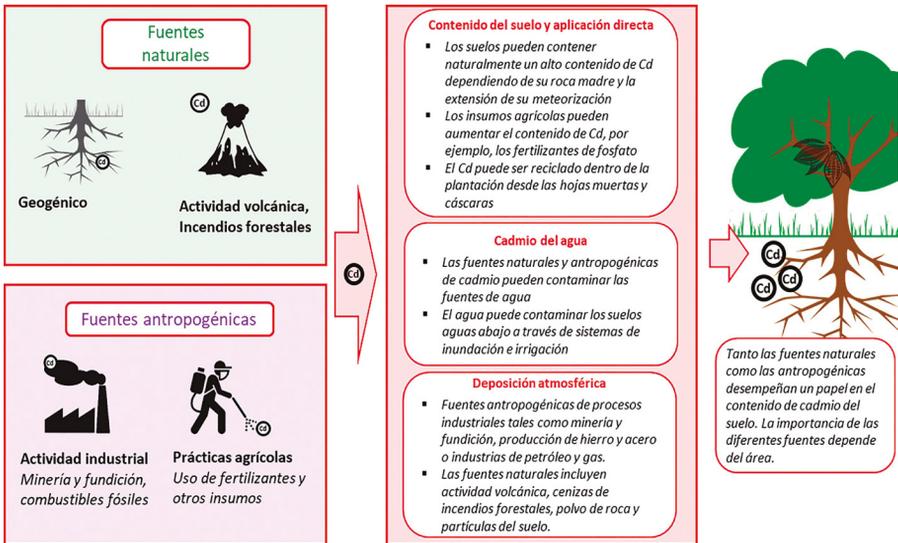


Figura 2. Fuentes naturales y antropogénicas de cadmio en el medio ambiente.

Fuente: Meter et al. (2019).

El cadmio antropogénico en el suelo agrícola, puede provenir por la aplicación de fertilizantes fosfatados derivados de material sedimentario y agua de riego con altos niveles de cadmio por actividad minera o industrial (Adriano, 2001; Roberts, 2014; Gramlich et al., 2018; Argüello et al., 2019). Otras fuentes son la aplicación de enmiendas con estiércol de granja y calizas minerales, algunos fertilizantes inorgánicos comerciales, productos fitosanitarios y, sobre todo, la aplicación de lodos residuales de depuradoras (Tabla 4).

TABLA 4. Aportes estimados de cadmio agregados a suelos agrícolas por diferentes fuentes (mg kg^{-1}): Rangos mínimos a máximos.

Metal pesado	Fertilizantes fosfatados	Fertilizantes nitrogenados	Productos fitosanitarios (plaguicidas)	Estiércol	Lodos de aguas residuales
cadmio	0,1 – 170	0,05 – 8,5	1,38 – 1,94	0,3 – 0,8	2 – 1500

Fuente: CODEX (2020).

El incremento de la concentración de cadmio en el suelo por actividades naturales y/o antrópicas, lo vuelve más biodisponible para las plantas. Los elevados niveles de cadmio en el suelo son fácilmente transferibles a las plantas y estos a su vez se pueden bioacumular en partes consumibles, como almendras de cacao (Argüello et al., 2019; Barraza et al., 2017; Chávez et al., 2015). El consumo prolongado de alimentos con concentraciones elevadas de cadmio, como se explica anteriormente, ha sido relacionado con enfermedades. Por tal motivo se realizan estudios para buscar alternativas de prevención y mitigación de cadmio en la cadena del cacao, una de ellas es el desarrollo de cultivares de cacao que muestren una baja predisposición a la absorción de cadmio.

5. Cultivares de cacao y su afinidad a la absorción de cadmio

El árbol de cacao (*Theobroma cacao* L.) es conocido por absorber y acumular cadmio en las diferentes partes de la planta, entre estas la almendra (Mite et al., 2010; Chávez et. al., 2015; Argüello et. al., 2019), en algunos casos en niveles no aceptables por regulaciones internacionales y que resultan potencialmente dañinos para la salud humana. En Trinidad-Tobago, un estudio realizado por Lewis et al. (2018) evaluó los niveles de cadmio en hojas y almendras de 100 accesiones de grupos genéticos y poblaciones híbridas en *Theobroma cacao* L. del centro Internacional Cocoa Genebank. Ellos encontraron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre grupos genéticos para el cadmio acumulado en hojas y granos. La variación de contenidos de cadmio en las almendras entre accesiones tuvo diferencias de hasta 13 veces su valor, en suelos que presentaban similar cadmio biodisponible (Figura 3). Engbersen et al. (2019) indican que la selección de cultivares de cacao con baja transferencia de cadmio de las partes vegetativas a los granos, tiene un alto potencial para ser seleccionado por su poca acumulación en las almendras.



Estos resultados dan evidencia de que los factores genéticos deben ser considerados como una estrategia, para disminuir la concentración de cadmio, mediante el mejoramiento y posterior uso como portainjertos en regiones con niveles altos de cadmio en los suelos.

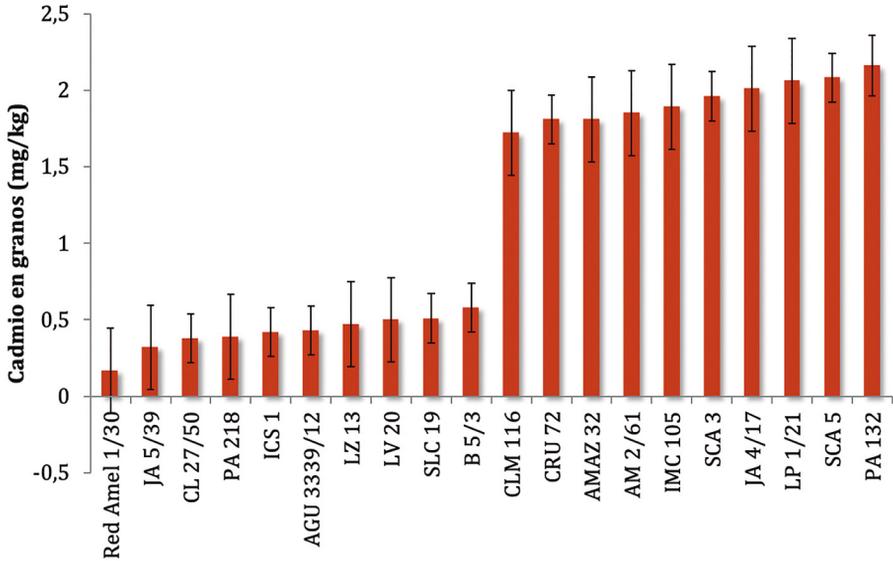


Figura 3. Niveles de cadmio en granos/almendras en diferentes cultivares/ variedades de cacao en Trinidad-Tobago.
Fuente: Lewis et al. (2018).



6. Conclusiones

- El cadmio es un contaminante que se encuentra, naturalmente, en gran parte de los suelos agrícolas del mundo, pero ciertas prácticas agrícolas o actividades humanas pueden aumentar su nivel en el ambiente.
- Es un metal clasificado como cancerígeno y se transporta fácilmente del suelo a las partes consumibles de las plantas, como es el caso del cacao.
- En los últimos años ha aumentado la preocupación debido a la presencia de cadmio en los granos/almendras de cacao y su transmisión directa al chocolate y otros derivados de consumo humano.
- El consumo de alimentos con cadmio implica un aumento progresivo en el cuerpo, bioacumulación, que afecta principalmente a los riñones y produce desmineralización ósea.
- La Comisión Europea concluyó que el chocolate y el cacao en polvo que se venden pueden contener altos niveles de cadmio y, por tal razón, se han establecido los niveles máximos de cadmio para los distintos tipos de chocolates y de cacao en polvo de venta al público.

7. Referencias

- Adriano, D.C. (2001). Trace Elements in Terrestrial Environments: Biogeochemistry, Bioavailability, and Risks of Metals.
- Alloway, B.J. (1995). Heavy Metals in Soils. Blackie Academic and Professional, London, UK.
- Argüello, D., Chávez, 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. *Science of the Total Environment*, 649, 120–127.
- Barraza, F., Schreck, E., Lévêque, T., Uzu, G., López, F., Ruales, J., 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.
- Beckhauser, T.F., Francis-Oliveira, J., De Pasquale, R. (2016). Reactive oxygen species: physiological and physiopathological effects on synaptic plasticity. *J. Exp. Neurosci.* 10, 23–48.
- Bi, X.Y., Feng, X.B., Yang, Y.G., Qiu, G.L., Li, G.H., Li, F.L., Liu, T.Z., Fu, Z.Y., Jin, Z.S. (2006). Environmental contamination of heavy metals from zinc smelting areas in Hezhang County, western Guizhou, China. *Environ. Int.* 32, 883–890.
- Chávez, E, Z.L. He, P.J. Stoffella, R.S. Mylavarapu, Y.G. Li, B. Moyano and V.C. Bagilar (2015). Concentration of cadmium in cocoa beans and its relationship with soil cadmium in Southern Ecuador, *Sci. Total Environ.* 533, 205–214.
- Cloquet, C., Carignan, J., Libourel, G., Sterckeman, T., Perdrix, E. (2006). Tracing source pollution in soil using cadmium and lead isotopes.

Environ. Sci. Technol. 40, 2525–2530.

CODEX (2020). Codex Alimentarius Commission. Programa conjunto FAO/OMS sobre normas alimentarias comité del CODEX sobre contaminantes de los alimentos. Anteproyecto de código de prácticas para la prevención y reducción de la contaminación por cadmio en los granos de cacao. Décima cuarta reunión Utrecht (Países Bajos). Recuperado el 30 de mayo de 2020. http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FMeetings%252FCX-735-14%252FWD%252Fcf14_07s.pdf

EFSA (2012a). Toxicology and Human Health Sciences. Agency for toxic substances and disease registry. (<http://www.atsdr.cdc.gov/toxfaqs/index.asp>.)

EFSA (2012b). Cadmium dietary exposure in the European population: Cadmium dietary exposure in Europe. European Food Safety Agency. EFSA J. 10, 2551.

Engbersen, N., Gramlich, A., López, M., Schwarz, G., Hattendorf, B., Gutierrez, O., & Schulin, R. (2019). Cadmium accumulation and allocation in different cacao cultivars. *Science of The Total Environment*, 678.

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.

He, Z.L., Yang, X.E., Stoffella, P.J. (2005). Trace elements in agroecosystems and impacts on the environment. *J. Trace Elem. Med. Biol.* 19 (2), 125–140.

IARC (Ed.) (2009). IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, volume 100 C, arsenic, metals, fibres, and dusts: this publication represents the views and expert opinions of an IARC

Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, which met in Lyon, 17 – 24 March 2009. IARC, Lyon.

Interdonato, M., Pizzino, G., Bitto, A., Galfo, F., Irrera, N., Mecchio, A., Pallio, G., Ramistella, V., De Luca, F., Santamaria, A., Minutoli, L., Marini, H., Squadrito, F., Altavilla, D. (2015). Cadmium delays puberty onset and testis growth in adolescents. *Clin. Endocrinol.* 83, 357–362.

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.

Kobayashi, J. (1978). Pollution by cadmium and the Itai-Itai disease in Japan. In: Oehme, F.W., Dekker, M. (Eds.), *Toxicity of Heavy Metals in the Environment*. Marcel Dekker, New York, pp. 199–260. Tomado de Khan (2017).

Lewis, C., Lennon, A.M., Eudoxie, G., Umaharan, P. (2018). Genetic variation in bioaccumulation and partitioning of cadmium in *Theobroma cacao* L. *Sci. Total Environ.* 640–641, 696–703.

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. *Science of the Total Environment*, 720, 137645. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137645>

Meter A., Atkinson R.J. y Laliberte, B. (2019). *Cadmio en el cacao de América Latina y el Caribe – Análisis de la investigación y soluciones potenciales para la mitigación*. Bioersity International, Roma.

Mite, F., Carrillo, M., y Durango, W. (2010). Avances del monitoreo de presencia de cadmio en almendras de cacao, suelos y aguas en Ecuador. XII Congreso Ecuatoriano de La Ciencia Del Suelo. Santo Domingo.

OPS, Organización Panamericana de la Salud (s.f.). Anexo E. Enfermedades

transmitidas por alimentos, clasificación por síntomas, periodo de incubación y tipo de agente. Recuperado 6 de junio de 2020 https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=10806:2015-alimentos-sintomas-periodos-incubacion-agente&Itemid=41421&lang=es

OMS, Organización Mundial de la Salud (2020). Preventing disease through healthy environments – Exposure to cadmium: a major public health concern. World Health Organization, Geneva 27, Switzerland. Recuperado el 2 de junio de 2020. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/329480/WHO-CED-PHE-EPE-19.4.3-eng.pdf?ua=1>

Roberts, T. L. (2014). Cadmium and phosphorous fertilizers: The issues and the science. *Procedia Engineering*, 83, 52–59.

USEPA, IRIS (1989). United States, Environmental Protection Agency. Integrated Risk Information System. Chemical Assessment Summary: Cadmium; CASNR 7440-43-9 [WWW Document]. URL <https://www.epa.gov/iris> (accessed 4.3.17).

Zug, K. L. M., HuamaníYupanqui, H. A., Meyberg, F., Cierjacks, J. S., y Cierjacks, A. (2019). Cadmium Accumulation in Peruvian Cacao (*Theobroma cacao* L.) and Opportunities for Mitigation. *Water, Air, & Soil Pollution*, 230.



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:



Proyecto
**Cadenas de valor
inclusivas y sostenibles**



Plataforma Multiagencia
Cacao 2030-2050



@AgriculturaEc

AgriculturaEcuador

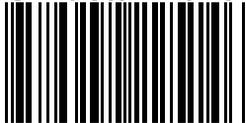
agricultura.ec

/AgriculturaEcuador

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

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

ISBN: 978-9942-22-514-6



9789942225146