

Implicaciones de la acumulación de Cadmio en la cadena productiva del cacao

Implications of Cadmium accumulation in the cocoa supply chain

María Isabel Velásquez-Vélez^{1,*}; Carolina Galvis-Lora²; Carlos Arturo Mejía-Córdoba³;
Jaime Enrique Zapata-Guzmán³

1 Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), Complejo Tecnológico, Turístico y Agroindustrial del Occidente Antioqueño, SENNOVA, Santafé de Antioquia, Colombia.

2 Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), Complejo Tecnológico, Agroindustrial, Pecuario y Turístico; Apartado, Colombia.

3 Complejo Tecnológico, Turístico y Agroindustrial del Occidente Antioqueño (SENA), SENNOVA, Grupo de Investigación GIDOCA. Santafé de Antioquia – Colombia.

*Autor corresponsal: mivelasquez@sena.edu.co (M. I. Velásquez-Vélez)

ID ORCID de los autores:

M. I. Velásquez-Vélez:  <https://orcid.org/0000-0002-4369-5186>

C. Galvis-Lora:  <https://orcid.org/0000-0002-7476-7365>

C. A. Mejía-Córdoba:  <https://orcid.org/0000-0003-0370-1980>

J. E. Zapata-Guzmán:  <https://orcid.org/0000-0001-8112-5064>

RESUMEN

La presencia de cadmio en la cadena productiva del cacao ha establecido una barrera comercial que afecta considerablemente las exportaciones de los países latinoamericanos a Europa. Debido a que las plantas de cacao tienden a acumular trazas de cadmio en sus estructuras y tejidos, los países europeos han fijado los límites permisibles máximos de concentración de cadmio para los productos derivados del cacao, mediante el reglamento 488/2014 para contaminantes de alimentos, esto, buscando mejorar la trazabilidad de la materia prima desde su origen. En esta revisión, se destacan los estudios que buscan determinar las concentraciones de cadmio actuales en suelo y en la planta en diferentes países latinoamericanos, buscando cumplir con los estándares que rige la normativa. Tales estudios son necesarios como diagnóstico inicial para brindar soluciones de remediación que permitan mantener el comercio con los países europeos.

Palabras clave: Bioacumulación; metal pesado; *Theobroma cacao*; toxicidad.

ABSTRACT

The presence of cadmium in the cocoa supply chain has established a trade barrier that considerably affects exports from Latin American countries to Europe. Due to the accumulation of traces of cadmium in cocoa plants tissues, European countries have set the maximum permissible limits of cadmium concentration for products derived from cocoa, through regulation 488/2014 for food contaminants, this, seeking to improve the traceability of the raw material from its origin. In this review, the studies that seek to determine the current concentrations of cadmium in the soil and in the plant in different Latin American countries are highlighted, seeking to comply with the standards that the regulations govern. Such studies are necessary as an initial diagnosis to provide remedial solutions that allow maintaining trade with European countries.

Keywords: Bioaccumulation; heavy metal; *Theobroma cacao*; toxicity.

Recibido: 18-10-2022.

Aceptado: 08-12-2022.



Esta obra está publicada bajo la licencia [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

INTRODUCCIÓN

A pesar de que no hay una definición clara de lo que es un metal pesado, la densidad se ha tomado como el factor decisivo para clasificarlo, es así como los metales pesados se han categorizado por tener una densidad de más de 5g/cm^3 (Jarup, 2003). El cadmio (Cd) es uno de los metales pesados más tóxicos, cuya distribución en la naturaleza se encuentra asociada a otros minerales (Sánchez-Barrón, 2016). Este agente reúne cuatro características que lo convierten en uno de los tóxicos más temidos: tiene alta persistencia en el medio ambiente, presenta efectos nocivos en el hombre y el medio ambiente, se bioacumula y se dispersa por el viento y el agua (Ramírez, 2002).

El cadmio se obtiene como subproducto del tratamiento metalúrgico del zinc y del plomo, a partir del sulfuro de cadmio, en el que se forma óxido de cadmio el cual es un compuesto muy tóxico (Ramírez, 2002). Sus emisiones están asociadas con metalurgia no ferrosa y la combustión de combustible, en el ambiente ocurren de varias maneras, pueden darse por el aire (durante la combustión, extracción y procesamiento), por aguas superficiales (a través de escorrentía, por liberaciones de almacenamiento), o por el suelo (por aguas subterráneas y cultivos) (Jarup, 2003).

La contaminación por metales pesados en el suelo llega a persistir de cientos a miles de años, en el caso del cadmio, este puede tener una vida media en el suelo de entre 310 a 1500 años (Silva-Orozco, 2019), con un promedio de 900 años (Tierra, Otero, Ruales, & Maldonado-Alvarado, 2018) y presenta alta movilidad en comparación con otros metales pesados (Beesley, Moreno-Jiménez, Clemente, Lepp, & Dickinson, 2010).

Origen del cadmio

La actividad volcánica es considerada la principal fuente de liberación de cadmio en el ambiente, por lo que se encuentra ampliamente distribuido en la superficie terrestre a bajas concentraciones, su dispersión en el ambiente está asociado al desgaste y erosión de las rocas, cuyo transporte principal se da en el mar (Sánchez-Barrón, 2016). Sin embargo, a nivel antropogénico el procesamiento industrial y petrolero generan grandes depositaciones atmosféricas, esto sumado a lodos residuales y los fertilizantes de fósforo (Kabata-Pendias, 2001).

Una forma muy tóxica del Cd es el óxido de cadmio, el cual se genera bajo condiciones extremas de oxidación, durante el refinado y fundición, también se encuentra distribuido en la atmósfera como cloruro o sulfato en las partículas del aire o en vapores, como resultado de altas temperaturas (Sánchez-Barrón, 2016). La concentración de cadmio en aire en zonas rurales oscila entre $0,1$ y 6ng/m^3 , mientras que en zonas industriales varía entre $9,1$ y $26,7\text{ng/m}^3$ (Ramírez, 2002).

Comportamiento del Cd en suelos

Hay elevada fijación de cadmio en suelos con alto porcentaje de materia orgánica, con presencia de texturas finas, con mayor capacidad de intercambio

catiónico y baja saturación de aluminio intercambiable (Sánchez-Barrón, 2016). La solubilidad del cadmio en el suelo aumenta con el pH, y depende también de características propias como forma química, concentración del elemento en el suelo, tipo de suelo y presencia de otros metales (Juan-Aracil, 2011). Debido a esto, el Cd y sus compuestos pueden viajar a través del suelo, se une fuertemente a la materia orgánica donde permanecerá inmóvil en el suelo y será absorbido por la vida vegetal, eventualmente, ingresando al suministro de alimentos (ATSDR, 2012), iniciando el proceso de bioacumulación en la cadena trófica (Sánchez-Barrón, 2016).

En estudios recientes, se ha encontrado que las concentraciones medias más bajas de cadmio en el suelo se hayan en suelos muy meteorizados (Ultisoles $0,15\text{mg/kg}$) y suelos volcánicos (Andisoles $0,23\text{mg/kg}$), mientras que más altas concentraciones fueron encontradas en suelos aluviales desarrollados en material sedimentario (Molisoles, Entisoles e Inceptisoles: $0,41$ - $0,61\text{mg/kg}$) (Arguello, y otros, 2019). Adicionalmente, las mayores concentraciones de cadmio se encuentran en la capa superficial del suelo (0 - 20cm) (Barraza et al., 2017). La concentración de cadmio en suelos normales es de $0,07$ a $1,1\text{mg/kg}$, mientras que en suelos contaminados del japon oscila entre 1 y 69mg/kg (Sánchez-Barrón, 2016). De esta manera, al estar disponible para las plantas, los metales pesados pueden ser absorbidos mediante el riego por las raíces de los cultivos (Granero & Domingo, 2002).

Por otra parte, en el agua la solubilidad del cadmio está influenciada por la dureza del agua, el pH y la presencia de sulfuros coloidales. Las concentraciones de este elemento en agua potable son menores a 5µg/L , mientras que en el mar oscila entre $0,04$ y $0,03\text{µg/L}$ (Sánchez-Barrón, 2016).

Cadmio en plantas

La presencia de cadmio en los granos comestibles de las plantas representa una amenaza para la seguridad alimentaria, además con la regulación de la unión europea, sobre los niveles permisibles de Cd en productos derivados de cacao se verán afectadas las exportaciones. (FONTAGRO, 2019).

A nivel metabólico, este interfiere en las rutas metabólicas de otros elementos como Zn, Cu, Ca y Fe, que tienen funciones específicas en los organismos vivos (Reyes, 2020). La alta concentración de Cd en los suelos genera la reducción de fotosíntesis en plantas, baja absorción de agua y de nutrientes, por lo que como resultado se observa clorosis, inhibición del crecimiento, pardeamiento de las raíces y al final, la muerte (Yadav, 2010). El cadmio en la planta afecta los procesos fisiológicos y morfológicos de la raíz, altera la expresión de proteínas y de genes (He, Yang, He, & Baligar, 2017).

Aún en bajas concentraciones, el cadmio es tóxico para la mayoría de las plantas, la concentración normal en tejido de hojas oscila entre $0,05$ y $0,2\text{mg/kg}$, mientras que la concentración para causar

efectos tóxicos en el suelo se da al exceder los 8 mg/kg (He, He, Yang, Stoffella, & Baligar, 2015). El límite de fitotoxicidad del cadmio en las plantas varía por especie, ecotipos, cultivares e incluso tejidos de las plantas (He, He, Yang, Stoffella, & Baligar, 2015). El catión Cd^{2+} es el que se bioacumula en las plantas. Esta bioacumulación se da en cuatro fases: movilización, secuestro/translocación, transporte por el xilema, floema y compartimentalización, y finalmente, distribución del Cd^{2+} en los tejidos aéreos de la planta. (Reyes, 2020).

Implicaciones en el cultivo del cacao

Actualmente, las plantaciones de cacao se encuentran cultivadas en una amplia variedad de suelos, desde arcillosos altamente erosionados hasta arenas volcánicas y suelos limosos con un pH que varía entre 4 y 7 (Barraza, y otros, 2017). Para el 2020 se proyectó que la cadena de valor del cacao alcanzaría hasta 4,8 millones de toneladas a nivel mundial, por lo que existen desafíos críticos importantes como la baja productividad, el cambio climático y los altos niveles de cadmio en los granos de cacao (Ginatta, Vignati, & Del Carmen Rodríguez, 2020). Dada la preocupación mundial por la presencia de trazas de metales en tejidos de cacao y en especial porque el Cd tiende a acumularse en partes comestibles del cacao, se prevén riesgos potenciales para la salud humana por ingestión de productos contaminados (Barraza et al., 2017). Adicional a esto, la demanda del cacao aumenta año tras año, por lo que la presencia de cadmio es un limitante potencial para su exportación y comercialización (FONTAGRO, 2019).

El cacao, en gran parte, se considera como un lujo, es por esto que se vienen aplicando lineamientos que aseguran la inocuidad del grano, por lo que las concentraciones de metales pesados como el cadmio en el cacao se han convertido en tema de salud pública. (Alvarez Morales, Guillin Llanos, & Rodríguez Angulo, 2021). De hecho, la Unión Europea en su reglamento Número 488/2014, da un límite para la concentración máxima de Cadmio de 0,8 mg.kg-1 para un producto cuyo contenido de materia seca de cacao supere la mitad de su peso. (Lanza, Churión, Liendo, & Lopez, 2016), cualquier valor por encima de este índice impedirá a estos productos su ingreso al mercado europeo (Unión Europea, 2014).

Theobroma cacao es una especie acumuladora de cadmio (Llatance, Saavedra, Castillo, & Pariente, 2018), el contenido de Cd sigue una secuencia descendente en las estructuras (raíz, tallo, hoja y fruto) (Marcano, 2000). Esto hace que sea un problema medioambiental y una amenaza para la producción agrícola y la seguridad alimentaria, lo que trae efectos negativos económicos (Alcívar, Demera, & Macías, 2022), pues la presencia de cadmio (Cd) en la especie es un problema potencial que limita su comercialización dado que la Unión Europea restringe su venta. (Aguirre-Forero, Piraneque-Gambasica, & Vásquez-Polo, 2020).

Los granos de cacao presentan diferentes concentraciones de Cd dependiendo de la variedad y de la ubicación geográfica (Bertoldi, Barbero,

Camin, Caligiani, & Larcher, 2016). Además, la edad la planta influye en la absorción de cadmio: Las plantas jóvenes de cacao absorben más cadmio que las antiguas, lo que podría explicarse dado que árboles más viejos tienen raíces más profundas y entonces, el subsuelo cuenta con menos cadmio que la capa superior del suelo, que suele tener más calcio y bloquea la entrada de Cd. (Meter, Atkinson, & Laliberte, 2019). Es un hecho preocupante que las concentraciones de cadmio suelen ser más altas en los granos de cacao y chocolate producido en América, en comparación con otros continentes productores de cacao, como África. (Vanderschueren & Pulleman, 2021).

Bajo estas características, no es posible considerar la planta de cacao como una especie potencial para fitorremediar (Llatance, Saavedra, Castillo, & Pariente, 2018), pues las concentraciones de cadmio se transportarían hasta el fruto, provocando daños no solo a la economía, sino también a la salud humana (Delgadillo-López, González-Ramírez, Prieto-García, Villagómez-Ibarra, & Acevedo-Sandoval, 2011). Es importante también, determinar la relación que existe entre la afinidad del cadmio con los diferentes tipos de suelos, ya que más altas concentraciones de cadmio en granos se han encontrado en muestras que crecieron en suelos aluviales (0,99-1,18 mg/kg), mientras que más bajas concentraciones de cadmio en granos se han relacionado con suelos volcánicos como Andisoles (0,40 mg/kg) (Arguello et al., 2019).

Exposición al cadmio

La depositación de las partículas de cadmio suspendidas en la atmósfera, las actividades mineras, la aplicación de fertilizantes y enmiendas orgánicas, ocasionan la contaminación de los suelos y generan la vía de entrada para la absorción de cadmio a los cultivos de consumo humano (Sánchez-Barrón, 2016). El consumo de alimentos facilita la ingestión de cadmio con cantidades entre 8 y 25 $\mu\text{g}/\text{día}$, lo cual es una cifra alarmante (Jarup & Akesson, 2009). En el organismo, puede permanecer entre 10 y 30 años, dado que su excreción es lenta, por lo que tiende a acumularse, causando principalmente daño a los riñones, (Tierra, Otero, Ruales, & Maldonado-Alvarado, 2018). Se han determinado altas concentraciones de cadmio en mariscos, en carnes, semillas oleaginosas, granos de cacao y setas. Sin embargo, los cereales arroz y trigo, vegetales verdes, papa y zanahoria presentan las concentraciones más altas de cadmio (Sánchez-Barrón, 2016).

Las personas pueden estar potencialmente expuestas a daños por agentes químicos, físicos y biológicos presentes en el aire, los alimentos, el agua y el suelo. Sin embargo, la exposición no resulta solo de la presencia de un agente dañino en el ambiente, sino del contacto entre el agente y alguna estructura corporal como las vías respiratorias, la piel, o la boca (Jarup, 2003). El contenido de cadmio en el cuerpo aumenta con la edad, especialmente de las personas que fuman (Ramírez, 2002). Esto debido a que la planta de tabaco acumula altas concentraciones de cadmio

en sus hojas, un cigarrillo puede contener entre 1 y 2 µg de cadmio (Jarup & Akesson, 2009).

El cadmio (Cd) es un metal pesado de origen natural, el cual no tiene una función conocida en los seres humanos. Este se acumula en el cuerpo y afecta sobre todo a los riñones, pero también puede causar desmineralización ósea y otras complicaciones. (Meter, Atkinson, & Laliberte, 2019). Los síntomas que produce la ingesta de cadmio pueden ser náuseas, vómitos, dolores abdominales y cefalea. (García & Cruz, 2012). El estar expuesto a este material pesado, provoca en el organismo irritación y toxicidad respiratoria,

toxicidad renal, osteomalacia, y se asocia fuertemente con cáncer (Ramírez, 2002).

La nueva normatividad ha hecho necesario el estudio de las concentraciones actuales de cadmio en suelo y en diferentes tejidos de la planta de cacao. A continuación, se detallan estudios recientes en Latinoamérica en los que buscan conocer el estado actual y dar cumplimiento a los estándares exigidos que les permitan a los productores ingresar su producto al mercado europeo (Tabla 1).

Tabla 1

Estudios que relacionan las concentraciones de cadmio en suelo y en tejido de la planta de cacao buscando cumplir la normatividad europea

Lugar	Estudio	Concentración	Afectaciones	Autores
Huánuco y Uyucali, Perú	22 parcelas de cultivos orgánicos de <i>Teobroma cacao L.</i>	El valor promedio de cadmio en suelos fue de 0,53 ppm, mientras que en las hojas de cacao fue de 0,21 ppm.	Se presentaron deficiencias a nivel de tejido foliar de N, P, K, Mg y Zn	(Huamaní-Yupanqui, Huauya-Rojas, Mansilla-Minaya, Florida-Rofner, & Neira-Trujillo, 2012)
San Martín (Lamas), Perú	Fincas cacaoteras, ubicadas en altitudes de 400, 600 y 800 msnm dentro de sistemas agroforestales.	La concentración en suelo de las fincas a diferentes alturas osciló entre 0,3 y 0,43 ppm, en la hoja osciló entre 0,35 y 1,62 ppm y en el grano entre 0,075 y 0,88 ppm.	Los niveles de cadmio en las fincas ubicadas entre los 600 y 800 msnm superaron los límites máximos permisibles.	(Mendoza-López et al., 2021)
Costa Rica	Muestreo de 40 fincas, distribuidas entre el norte y sur de Costa Rica	En la región norte la concentración de cadmio en el suelo fue de 0,1 a 1 mg/kg, en la raíz fue de 1 a 1,5 mg/kg, en tejido foliar osciló entre 1,3 a 3,1 mg/kg y en grano. En la región sur se detectaron valores en el suelo entre 1,3 y 4 mg/kg. En la raíz estuvo entre 1,1 y 13,4 mg/kg, en las hojas osciló entre 1,23 y 11,1 mg/kg y en el grano se presentaron valores entre 0,56 y 8,70 mg/kg.	En la zona norte, se sobrepasó el límite permisible de cadmio en tejido foliar y en grano (>0,5 mg/kg). En la zona sur, los valores de Cd en las hojas y grano están por encima del límite permisible. En la zona sur se presenta bioacumulación de Cd.	(Furcal-Beriguete & Torres-Morales, 2020)
Ecuador (Provincia Manabí)	35 muestras aleatorias de cacao fresco con mucílago.	El análisis espectrofotométrico mostró valores de Cd en fase de mucílago de 0,89 mg/kg, 0,73 mg/kg para el fermentado y 0,95 mg/kg para la almendra seca.	Estos valores se ubican por encima de los estipulados permisibles.	(Intriago-Flor et al., 2019)
Ecuador	Muestras de suelo y planta de 560 sitios	Las concentraciones medias de cadmio en suelos jóvenes y no contaminados fueron de 0,44 mg/kg, la concentración media de cadmio en granos fue de 0,90 mg/kg.	El 45% de las muestras de granos excedieron el límite permisible con valores superiores a 0,6 mg/kg.	(Arguello et al., 2019)
Ecuador	Suelo, hojas y cáscara se midieron de 31 sitios del norte del Amazonas y de la costa pacífica, regiones expuestas a la producción de crudo y refinera.	Suelos Inceptisoles presentaron un rango entre 0,16 y 1,49 mg/kg, suelos Alfisoles presentaron rangos entre 0,62 y 1,02 mg/kg y suelos Entisoles presentaron valores entre 0,25 y 0,50 mg/kg. El cadmio acumulado en granos presentó valores entre 0,77 y 3,88 mg/kg.	Hojas de cacao acumulan más cadmio que la cáscara y los granos, el 50% de las muestras presentó valores superiores por encima de 0,8 mg/kg	(Barraza et al., 2017)
Ecuador	Se analizaron 29 muestras de suelo y plantas de cacao.	Cadmio en el suelo según la profundidad, entre los 60-80 cm valores de 0,167mg/kg, mientras que en la capa superficial (0 y 20 cm) hasta 1,60 mg/kg. Las hojas de cacao registraron presencia de cadmio con valores entre 1,95 y 3,63 mg/kg.	Estos valores se ubican por encima de los estipulados permisibles.	(Barraza et al., 2017)

Ecuador	Muestras de suelo fueron colectadas de 19 sitios a diferentes profundidades, mientras que muestras de planta fueron tomadas de árboles cercanos.	Cadmio entre los 0 y 5 cm de profundidad, promedio de 1,54 mg/kg. Entre 5 y 15 cm de profundidad, promedio de 1,39 mg/kg. Entre los 15 y 30 cm de profundidad, promedio de 0,69 mg/kg y entre los 30 y 50 cm de profundidad, promedio de 0,59 mg/kg de Cadmio. La concentración de Cd en granos de cacao entre 0,02 a 3 mg/kg, con un valor promedio de 0,94 mg/kg.	12 de los 19 sitios muestreados sobrepasaron el nivel permisible de concentración de cadmio en grano.	(Chavez et al., 2015)
Ecuador	Se determinó la concentración de algunos metales pesados incluido el cadmio en nueve provincias	La concentración de cadmio en granos de cacao osciló entre 0,267 y 1,715 mg/kg, con una media de 0,753 mg/kg.	La concentración de cadmio en el 33,3% de las muestras fue mayor a 0,8 mg/kg.	(Romero-Estévez, Yáñez-Jácome, Simbaña-Farinango, & Navarrete, 2019)
Venezuela	Se utilizaron muestras secas de cacao porcelana e híbrido en dos temporadas diferentes	La concentración de cadmio para el cacao híbrido en el año 2012 osciló entre 1,74 y 2,09 mg/kg, mientras que para el cacao porcelana osciló entre 1,82 y 1,90 mg/kg. Para el 2013 las concentraciones de cacao híbrido se ubicaron entre 0,95 mg/kg, mientras que para el cacao porcelana arrojó valores entre 1,57 y 1,76 mg/kg.	Los contenidos de cadmio hallados en las muestras analizadas superan el valor máximo establecido por la resolución europea.	(Lanza, Churión, Liendo, & Lopez, 2016)
Honduras	Se muestrearon 55 fincas de cacao para determinar la concentración de cadmio en hojas, cascara y granos.	Con un promedio de $2,6 \pm 0,4$ mg/kg, la concentración de cadmio fue más alta en las hojas que en los granos, en los cuales se determinó un promedio de $1,1 \pm 0,2$ mg/kg.	Las concentraciones de cadmio en los granos de cacao, excedieron los límites propuestos por la resolución europea.	(Gramlich et al., 2018)
Colombia	20 muestras de planta y suelo fueron colectadas en el departamento de Magdalena en dos sitios: Sierra Nevada de Santa Marta (Zona 1) y Zona banana (Zona 2)	Los granos de cacao de la zona 1 registraron un contenido promedio de 0,51 mg/kg, mientras que los de la zona 2 tuvieron un promedio 0,66 mg/kg. El contenido de cadmio promedio en hojas presentó un promedio de 0,43 mg/kg en la zona 1 y 0,41 mg/kg en la zona 2. El contenido de cadmio en cáscara presentó un promedio de 0,5 mg/kg en la zona 1 y 0,40 mg/kg en la zona 2. En suelos, la concentración de cadmio promedio a 10 cm de profundidad fue de 0,19 mg/kg y de 0,02 mg/kg a 20 cm de profundidad para la zona 1, la zona 2 presentó valores similares.	Los valores encontrados en los granos excedieron el límite máximo permitido de 0,5 mg/kg.	(Aguirre-Forero, Piraneque-Gambasica, & Vásquez-Polo, 2020)
Colombia	20 muestras de suelo colectadas en dos predios diferentes del departamento del Meta – Villavicencio	La concentración de cadmio en el predio “Entre caños” registró valores que oscilan entre menores a 0,09 y 0,12 mg/kg. Por otra parte, la concentración de cadmio en el predio “El castaño” registró valores que oscilan entre menores a 0,09 y 0,13 mg/kg	La concentración de cadmio en el suelo se encuentra dentro de los estándares aceptados por la normatividad europea.	(Silva-Orozco, 2019)
Colombia	Se analizaron muestras de planta de cacao en los departamentos de Arauca y Nariño	La concentración de cadmio en cacao en el departamento de Arauca osciló entre 0,98 y 1,39 mg/kg, mientras que en el departamento de Nariño se registró una concentración promedio de 0,62 mg/kg.	En el departamento de Arauca, la presencia de cadmio en plantas de cacao sobrepasa el límite máximo permisible de 0,80 mg/kg.	(Charrupi-Riascos & Martínez-Novoa, 2018)
Colombia	Se estudiaron 83 muestras de suelo superficial (0-20 cm) de la cuenca del río Sinú en temporada seca.	La concentración promedio de cadmio en el suelo en la cuenca del río Sinú presentó un valor de 0,04 mg/kg	La concentración de cadmio en el suelo se encuentra dentro de los estándares aceptados por la normatividad europea.	(Marrugo-Negrete, Pinedo-Hernández, & Díez, 2017)

CONCLUSIONES

Desde enero del 2019, comenzó a regir la regulación 488/2014, la cual establece los límites permisibles de cadmio para productos derivados de cacao. Por tal motivo han aumentado las acciones que buscan reducir la contaminación con este metal pesado en los productos, ya que se compromete la estabilidad económica de los productores y la salud de los consumidores. La preocupación radica en que la contaminación del suelo con cadmio tiende a aumentar por las acciones antropogénicas como la agricultura intensiva, la rápida urbanización e industrialización, de tal manera que la bioacumulación de cadmio en la cadena trófica aumenta significativamente en el tiempo.

El cacao representa para los países latinoamericanos un importante generador de ingresos por

exportaciones, su demanda a nivel mundial aumenta cada año, por lo que la presencia de cadmio se ha convertido en un problema, ya que este tiende a acumularse en las partes comestibles de la planta y representa un peligro para la de salud pública y para la seguridad alimentaria. Por lo tanto, los países productores buscan seguir cumpliendo con los estándares que les permita mantener el comercio con los países europeos, de tal manera que se han aumentado las investigaciones que buscan conocer las concentraciones del suelo y la planta en diferentes regiones, con miras a encontrar soluciones de remediación que disminuyan las trazas en los granos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- IICA. (2017). *Manual técnico del cultivo de cacao: prácticas latinoamericanas*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José: IICA.
- Aguirre-Forero, S. E., Piraneque-Gambasica, N. V., & Vásquez-Polo, J. R. (2020). Contenido de metales pesados en suelos y tejidos de cacao en el departamento del Magdalena, Colombia: énfasis en cadmio. *Entramado*, 298-310.
- Alcívar, L. F., Demera, M. D., & Macías, C. A. (2022). Cadmio en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) y sus. *La técnica*, 91-110.
- Alvarez Morales, E., Guillin Llanos, X., & Rodríguez Angulo, D. (2021). Análisis de los efectos que produce la presencia del cadmio en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao*). *Revista Ingeniería e Innovación*.
- Arguello, D., Chavez, E., Laurysen, 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.
- Asociación Nacional de Café. (2004). *Cultivo de Cacao*. Guatemala: Programa de Diversificación de Ingresos en la Empresa Cafetalera.
- ATSDR. (2012). *Toxicological profile for cadmium*. U.S. Department of health and human services. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp5.pdf>
- Barraza, F., Moore, R., Rehkamper, M., Schreck, E., Lefeuvre, G., Kreissig, K., . . . Maurice, L. (2019). Cadmium isotope fractionation in the soil-cacao systems of Ecuador: a pilot field study. *RSV Advances*, 9.
- Barraza, F., Schreck, E., Léveque, 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, 950-96.
- Barrett, J. R. (2010). El cadmio y el cáncer de mama. Se asocia la exposición con el fenotipo similar al basal. *Salud Pública de México*, 183-184.
- Barrón, G. S. (2016). *Ecotoxicología del cadmio. Riesgo para la salud de la utilización de los suelos ricos en cadmio*. Universidad complutense de Madrid. Madrid: Facultad de farmacia .
- Beesley, L., Moreno-Jiménez, E., Clemente, R., Lepp, N., & Dickinson, N. (2010). Mobility of arsenic, cadmium and zinc in a multi-element contaminated soil profile assessed by in situ soil pore water sampling, column leaching and sequential extraction. *Environmental Pollution*, 158, 155-160.
- Beltrán-Pineda, M., & Gómez-Rodríguez, A. (2016). Biorremediación de metales pesados cadmio (Cd), cromo (Cr) y mercurio (Hg). Mecanismos bioquímicos e ingeniería genética: Una revisión. *Universidad Militar Nueva Granada*, 172-197.
- Bernal, I. N. (2015). *Cuantificación de cadmio en cacao proveniente del occidente de Boyacá por la técnica analítica de voltamperometría*. Tunja: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- Bertoldi, D., Barbero, A., Camin, F., Caligiani, A., & Larcher, R. (2016). Multielemental fingerprinting and geographic traceability of *Theobroma cacao* beans and cocoa products. *Food Control*, 65, 46-53.
- Charrupi-Riascos, N., & Martínez-Novoa, D. C. (2018). *Estudio ambiental del cadmio y su relación con suelos destinados al cultivo de cacao en los departamentos de Arauca y Nariño*. Tesis, Universidad de la Salle.
- Chavez, E., He, Z., Stoffella, P., Mylavarapu, R. S., Li, Y. C., Moyano, B., & Baligar, V. C. (2015). Concentration of cadmium in cacao beans and its relationship with soil cadmium in southern Ecuador. *Science of the Total Environment*, 533, 205-214.
- Delgadillo-López, A., González-Ramírez, C., Prieto-García, F., Villagómez-Ibarra, J., & Acevedo-Sandoval, O. (2011). *Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación*. Mérida: Tropical and subtropical agroecosystems.
- Fasih Ullah, H., Cai, L., Jeffrey A. C., Jun, W., Renzhi, Z., . . . Muhammad, F. (2021). Cadmium toxicity in plants: Impacts and remediation strategies. *Ecotoxicology and Environmental Safety*.
- FONTAGRO. (2019). *La cadena de valor del cacao en América Latina y el Caribe*. Quito: Plataforma multiagencia de cacao para América Latina y el Caribe: Cacao 2030-2050 (Fondo Semilla).
- Furcal-Beriguete, P., & Torres-Morales, J. (2020). Determinación de concentraciones de cadmio en plantaciones de *Theobroma cacao* L. en Costa Rica. *Tecnología en marcha*, 33(1), 122-137.
- García, P. P., & Cruz, M. A. (2012). Los efectos del cadmio en la salud. *Revista de Especialidades Médico-Quirúrgicas*, 199-205.
- Ginatta, G., Vignati, F., & Del Carmen Rodríguez, M. (2020). *Iniciativa latinoamericana del cacao: Boletín No. 9*.

- 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.
- Granero, S., & Domingo, J. L. (2002). Levels of metals in soils of Alcalá de Henares, Spain: Human health risks. *Environment International*, 28, 159-164.
- He, S., He, Z., Yang, X., Stoffella, P., & Baligar, V. (2015). Soil biogeochemistry, plant physiology, and phytoremediation of cadmium contaminant. *Advances in Agronomy*, 134, 91.
- He, S., Yang, X., He, Z., & Baligar, V. (2017). Morphological and physiological responses of plants to cadmium toxicity: A review. *Pedosphere*, 27(3), 421-438.
- Huamaní-Yupanqui, H. A., Huauya-Rojas, M. A., Mansilla-Minaya, L. G., Florida-Rofner, N., & Neira-Trujillo, G. M. (2012). Presencia de metales pesados en cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) orgánico. *Acta Agronómica*, 61(4), 339-344.
- Intriago-Flor, F. G., Talledo-Solórzano, M. V., Cuenca-Nevárez, G. J., Macías-Barberán, J. R., Álvarez-Andrade, J. R., & Menjivar-Flores, J. C. (2019). Evaluación del contenido de metales pesados en almendras de cacao (*Theobroma cacao* L.) durante el proceso de beneficiado. *Pro-Sciences: Revista de producción, ciencias e investigación*, 3(26), 17-23.
- Jarup, L. (2003). Hazards of heavy metal contamination. *British Medical Bulletin*, 68, 167-182.
- Jarup, L., & Akesson, A. (2009). Current status of cadmium as an environmental health problem. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 238, 201-208.
- Juan-Aracil, I. R. (2011). *Capacidad de amortiguación de la contaminación por plomo y por cadmio en suelos de la comunidad de Madrid*. Tesis de Doctorado, Universidad Complutense de Madrid.
- Kabata-Pendias, A. (2001). *Trace elements in soils and plants*. USA: CRC Press LLC.
- Kurt, S., Lamia, B.-T., Robert, B., Yann, G., Béatrice, S., Fatiha, E. G., ... Vincent, C. (2009). A review of human carcinogens—Part C: metals, arsenic, dusts, and fibres. *The Lancet Oncology*, 453-454.
- Lanza, J., Churión, P., Liendo, N., & Lopez, V. (2016). Evaluación del contenido de metales pesados en cacao (*Theobroma cacao* L.) de Santa Bárbara de Zulia, Venezuela. *Saber*, 106-115.
- Llatance, W. O., Saavedra, C. J., Castillo, W. G., & Pariente, E. (2018). Bioacumulación de cadmio en el cacao (*Theobroma cacao*) en la Comunidad Nativa de Pakun, Perú. *Revista Forestal del Perú*, 63-75.
- Marcano, T. H. (2000). La contaminación con Cadmio en suelos agrícolas. *Venesuelos*, 8.
- Marrugo-Negrete, J., Pinedo-Hernández, J., & Díez, S. (2017). Assessment of heavy metal pollution, spatial distribution and origin in agricultural soils along the Sinú River Basin, Colombia. *Environmental Research*, 154, 380-388.
- Mendoza-López, K. L., Mostacero-León, J., López-Medina, S. E., Gil-Rivero, A. E., De la Cruz-Castillo, A., & Villena-Zapata, L. (2021). Cadmio en plantaciones de *Theobroma cacao* L. "cacao" en la región San Martín (Lamas), Perú. *Manglar*, 18(2), 169-173.
- Meter, A., Atkinson, R., & Laliberte, B. (2019). *Cadmio en el cacao de América Latina y el Caribe. Análisis de la investigación y soluciones potenciales para la mitigación*. Roma: Bioversity International.
- Nava-Ruíz, C., & Méndez-Armenta, M. (2011). Efectos neurotóxicos de metales pesados (Cadmio, plomo, arsénico y talio). *Arch Neurociencia*, 16(3), 140-147.
- Nieves, Y., Parra, N., Villanueva, S., & Henríquez, M. (2019). Nota técnica: biorremediación, enemigo del cadmio. *Revista INGENIERÍA UC*, 96-104.
- Ramírez, A. (2002). Toxicología del cadmio. Conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos. *Anales de la Facultad de Medicina*, 51-64.
- Ramírez, A. (2002). Toxicología del cadmio. Conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos. *Anales de la Facultad de Medicina*, 51-64.
- Reyes, Y. C. (2020). *Estudio de bioacumulación de metales pesados en plantas de consumo humano para sensado molecular In situ*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- Robledo-Vélez, L. M., & Castaño-Puerta, A. (2012). *Validación de la metodología para el análisis de los metales cadmio y plomo en agua tratada por absorción atómica con horno de grafito en el laboratorio de análisis de agua y alimentos de la Universidad Tecnológica de Pereira*. Trabajo de grado, Universidad Tecnológica de Pereira.
- Rodríguez-Serrano, M., Casa, N. M.-d., Romero-Puertas, M., Río, L. d., & Sandalio, L. (2008). Toxicidad del Cadmio en Plantas. *Ecosistemas*, 139-146.
- Romero-Estévez, D., Yáñez-Jácome, G. S., Simbaña-Farinango, K., & Navarrete, H. (2019). Content and the relationship between cadmium, nickel, and lead concentrations in Ecuadorian cocoa beans from nine provinces. *Food Control*, 106.
- Sánchez-Barrón, G. (2016). *Ecotoxicología del Cadmio Riesgo para la salud de la utilización de suelos ricos en cadmio*. Trabajo de grado, Universidad Complutense, España.
- Silva-Orozco, P. A. (2019). *Análisis comparativo de los niveles de cadmio en el suelo Aquic Dystropepts, Fluventic Dystropepts y una pradera con pastura en reposo en la vereda Ricón de Pompeya, Villavicencio, Meta*. Universidad Santo Tomás, Villavicencio.
- Superintendencia de Riesgos del Trabajo. (2019). *Exposición a cadmio y sus compuestos*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Ministerio de Producción y Trabajo.
- Tierra, W., Otero, X., Ruales, J., & Maldonado-Alvarado, P. (2018). Cadmio y arsénico en chocolate y arroz de Quito, Guayaquil y Cuenca Ecuador. *Bionatura*, 1, 13.
- Unión Europea. (2014). Regulation No. 488/2014. They modify EC Regulation No 1881/2006 regarding the maximum content of cadmium in food products. *Official Journal of the European Union*.
- Vanderschueren, R., & Pulleman, M. (2021). Cadmio en cacao: de dónde viene, cómo se regula y por qué preocupa a los productores. *Clima-LoCa Políticas en Síntesis*, 10.
- Waizel-Haiat, S., Waizel-Bucay, J., Magaña-Serrano, J., & Campos-Bedoya, P. (2012). Cacao y chocolate: seducción y terapéutica. *Anales Médicos*, 236 - 245.
- Xiao-Wen, F., Den-Ge, W., Xiao-Hua, R., & Zhao-Jie, C. (2014). Spatial distribution patterns and potential sources of heavy metals in soils of a crude oil-polluted region in China. *Pedosphere*, 24(4), 508-515.
- Yadav, S. (2010). Heavy metals toxicity in plants: An overview on the role of glutathione and phytochelatins in heavy metal stress tolerance of plants. *South African Journal of Botany*, 76(2), 167-179.