

CACAO_y CADMIO

Buenas Prácticas para una Producción Responsable

Iván Andrés González Vargas y Johannes Delgado Ospina

Autores



EDITORIAL

Cacao y Cadmio: Buenas Prácticas para una Producción Responsable / Iván Andrés González Vargas; Johannes Delgado Ospina [Autores]- Cali: Universidad Santiago de Cali, Sello Editorial. 2026.

30 páginas: gráficos; Tablas; Fotografías; 24 cm

Incluye Referencias bibliográficas

ISBN Impreso: 978-628-7914-05-6

ISBN Digital: 978-628-7914-06-3

1. Efectos del cadmio en la salud humana. 2. Regulaciones de cadmio en el cacao. 3. Fuentes de Cadmio en el Cultivo de Cacao. 4. Recomendaciones. 1. Iván Andrés González Vargas 2. Johannes Delgado Ospina. Ingeniería. Universidad Santiago de Cali. Facultad de Ingeniería

SCDD 633.74 /G643

CO-CaUSC
IHM/ 2026



Cacao y Cadmio: Buenas Prácticas para una Producción Responsable

© Universidad Santiago de Cali

© Autores: Iván Andrés González Vargas y Johannes Delgado Ospina

Instituciones participantes

Universidad Santiago de Cali

Facultad de Ciencias Básicas

Universidad de San Buenaventura Cali

Facultad de Ingeniería

Edición 50 ejemplares. Cali, Colombia - 2026

Fondo Editorial

University Press Team

Carlos Andrés Pérez Galindo

Rector

Anisbed Naranjo Rojas

Directora General de Investigaciones

Comité Editorial Universidad Santiago de Cali

Editorial Committee Universidad Santiago de Cali

Odín Ávila Rojas

Doris Lilia Andrade

Edgar Francisco Arcos

Florencio Arias Coronel

Jonathan Pelegrín

Héctor Cuevas Arenas

Liseth Suarez Osorio

Proceso de arbitraje doble ciego

"Double blind" peer-review

Recepción/Submission

Noviembre (November) de 2025

Revisión de contenidos Comité Editorial /

Content review Editorial Committee

Diciembre (December) de 2025

Correcciones de autor /

Improved version submission

Enero (January) de 2026

Aprobación/Acceptance

Junio (June) 2026

Cómo citar / How to cite

González Vargas, I. A., & Delgado Ospina, J. (2026). Cacao y Cadmio: Buenas Prácticas para una Producción Responsable" Editorial Universidad Santiago de Cali. DOI: <https://doi.org/10.35985/9786287914063>



La editorial de la Universidad Santiago de Cali se adhiere a la filosofía de acceso abierto. Este libro está licenciado bajo los términos de la Atribución 4.0 de Creative Commons (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite el uso, el intercambio, adaptación, distribución y reproducción en cualquier medio o formato, siempre y cuando se dé crédito al autor o autores originales y a la fuente <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Introducción	5
---------------------------	----------

Capítulo 1.

Efectos del cadmio en la salud humana	7
--	----------

Capítulo 2.

Regulaciones de cadmio en el cacao	9
---	----------

2.1 Del cacao al mercado global: reglas internacionales sobre metales pesados	12
2.2 Valle del Cauca vs. regiones productoras.....	13
2.3 Riesgo y estrategias de mitigación en Valle del Cauca:.....	13
2.4 Potencial del cacao del Valle del Cauca en mercados internacionales:.....	14

Capítulo 3.

Fuentes de cadmio en el cultivo de cacao: lo que los agricultores deben saber	17
--	-----------

3.1. Fuentes naturales de cadmio en el suelo.....	17
3.2. Fuentes antropogénicas: actividades humanas que aumentan el cadmio	17
3.3. ¿Cómo llega el cadmio a los granos de cacao?	18
3.4. ¿Cómo afecta el cadmio al cultivo de cacao?	19
3.5. ¿Qué se mide cuando se habla de cadmio?	19
3.6. ¿Cómo realizar un muestreo adecuado para análisis de cadmio?	19

Capítulo 4.

Recomendaciones	21
------------------------------	-----------

4.1. Manejo del suelo para reducir la disponibilidad de cadmio	21
4.2. Buenas prácticas agrícolas	22
4.3. Manejo poscosecha	22
Conclusión.....	22
Referencias.....	23
Sobre los autores	27
Pares evaluadores	29





Introducción

El cadmio (Cd) es un metal pesado que se encuentra de manera natural en el suelo, resultado de procesos como la meteorización de rocas, erupciones volcánicas y la presencia de fosfatos marinos. Sin embargo, su concentración también se ve incrementada por actividades humanas, tales como la minería, la fundición y refinación de metales no ferrosos, la quema de combustibles fósiles, la aplicación de fertilizantes fosfatados, y la incineración de residuos industriales y urbanos. Este metal es conocido por su toxicidad y su capacidad de representar riesgos significativos para la salud humana, especialmente en niños. La ingesta de productos de cacao que contienen trazas elevadas de cadmio puede afectar el desarrollo cerebral y provocar otros trastornos de salud, debido a la limitada capacidad del organismo para excretar este metal, lo que puede resultar en daños renales (Maddela et al., 2020).

En respuesta a estos riesgos, la Unión Europea (UE) estableció el Reglamento (UE) 915/2023, actualmente la única normativa vigente en materia de contaminantes en los alimentos, el cual fija límites máximos específicos para la concentración de cadmio en el chocolate y sus derivados. Esta regulación forma parte de un esfuerzo integral de la UE orientado a proteger la salud pública y garantizar la seguridad alimentaria, en el contexto de la creciente preocupación por la presencia de metales pesados en los alimentos.

Aunque el cadmio no es un elemento esencial para las plantas y no cumple una función biológica definida, puede ser absorbido del suelo por las raíces de las plantas y bioacumularse en sus tejidos. Dado que el cacao es la materia prima fundamental para la producción de chocolate, la calidad y seguridad del grano son cada vez más exigidas por los consumidores. Las trazas de cadmio en las almendras de cacao han emergido como un tema crítico tanto desde el punto de vista económico como de salud pública. Esto es especialmente relevante para varios países de América Latina que exportan cacao a Europa y Estados Unidos, donde la presencia de cadmio en las zonas de cultivo

puede tener implicaciones serias para la salud de los consumidores.

Esta guía tiene como objetivo proporcionar a técnicos y agricultores información sobre los efectos del cadmio en la salud humana, las regulaciones pertinentes para los productos de cacao, las fuentes naturales y antropogénicas de este metal en el suelo, así como los factores y genotipos de cacao que pueden ayudar a reducir su absorción por las plantas. Con esta información, se busca facilitar la comprensión de las posibles medidas de mitigación para disminuir la acumulación de cadmio en las almendras de cacao, contribuyendo así a la salud pública y a la sostenibilidad de la industria del cacao.

Los Autores

Iván Andrés González Vargas

Universidad Santiago de Cali.

Facultad Ciencias Básicas. Cali, Colombia.

Docente e investigador de Biología y Microbiología

Johannes Delgado Ospina

Universidad San Buenaventura Cali.

Facultad Ingeniería. Cali, Colombia

Docente e Investigador de los programas de Ingeniería Agroindustrial, Maestría en Ingeniería Biotecnología y Doctorado en Ingeniería de la Universidad de San Buenaventura Cali.





Capítulo 1.

Efectos del Cadmio en la Salud Humana

El cadmio (Cd) es reconocido como un contaminante altamente peligroso para la salud pública, según la Organización Mundial de la Salud [OMS] (2020). Este metal pesado es un elemento traza que no tiene función biológica esencial en plantas, animales ni seres humanos, y su toxicidad puede ser más pronunciada a bajas concentraciones en comparación con otros metales (Engbersen et al., 2019).

La toxicidad del cadmio se hizo evidente por primera vez en Japón, donde se identificó la enfermedad conocida como Itai-Itai, que resultó del consumo de arroz contaminado con altas concentraciones de este metal. Esta enfermedad se manifiesta a través de síntomas como osteomalacia, osteoporosis, fracturas óseas dolorosas y disfunción renal (Zug et al., 2019).

El cadmio se acumula de manera irreversible en el cuerpo humano, especialmente en los riñones, hígado y testículos, con una vida media biológica que varía entre 10 y 35 años (OMS, 2020). La exposición prolongada a este metal puede resultar en una bioacumulación en otros tejidos, provocando efectos tóxicos que incluyen hepatotoxicidad, neurotoxicidad, toxicidad pulmonar, pancreática y testicular, así como trastornos degenerativos del sistema nervioso central (Interdonato et al., 2015; Beckhauser et al., 2016).

Los niños son particularmente vulnerables a la acumulación de cadmio, lo que puede llevar a desmineralización ósea y otros problemas de salud (European Food Safety Authority [EFSA], 2012). La ingesta crónica de cadmio puede alterar el metabolismo

del calcio, resultando en la formación de cálculos renales y condiciones como la osteomalacia, que implica el ablandamiento de los huesos. Esto es especialmente preocupante para aquellos que trabajan en áreas contaminadas, como las zonas mineras (EFSA, 2012).

La Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA, 2012) y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) US EPA (IRIS, 2013) han clasificado al cadmio y sus compuestos como carcinogénicos en la categoría 1B, mientras que la Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer [IARC] (2009) lo ha clasificado en el grupo 1, indicando su potencial para inducir cáncer en humanos.

La exposición a altas concentraciones de cadmio en el aire, derivada de actividades industriales, cenizas volcánicas y la quema de combustibles fósiles, puede comprometer la función pulmonar, provocar broncoespasmos, fibrosis y daños al sistema inmunológico, además de aumentar el riesgo de cáncer de pulmón y próstata (OMS, 2020).





Capítulo 2.

Regulaciones de Cadmio en el Cacao

El cadmio (Cd) es un metal pesado cuya presencia en los granos de cacao ha motivado la implementación de normativas internacionales con el fin de garantizar la seguridad alimentaria y facilitar la comercialización en mercados exigentes como la Unión Europea y Estados Unidos. En el contexto europeo, los límites máximos de cadmio en el chocolate y sus derivados están actualmente establecidos en el Reglamento (UE) 915/2023, que consolida la regulación vigente sobre contaminantes en los alimentos y fija umbrales específicos según el contenido de cacao en los productos. Por ejemplo, el chocolate con un contenido igual o superior al 50 % de cacao no debe superar los 0,8 mg/kg de cadmio, mientras que el cacao en polvo destinado al consumidor final tiene un límite máximo de 0,6 mg/kg. A nivel nacional,

algunos países productores han adoptado normativas propias para el monitoreo de la acumulación de cadmio en suelos y cultivos de cacao. Para facilitar la comprensión de estos límites, a continuación se presenta una tabla comparativa de normativas internacionales (Tabla 1) y una gráfica de distribución de cadmio en almendras de cacao por región (Figura 1), que permiten evaluar la situación del cultivo y orientar la aplicación de estrategias de mitigación adecuadas.

Tabla 1.
Límites Máximos de Cadmio en Productos de Cacao según Normativas Internacionales.

País/Región	Producto	Límite Máximo Permitido (mg/kg)	Referencia Normativa
Unión Europea	Chocolate ≤30% de cacao	0.10 mg/kg	Reglamento (UE) 915/2023
	Chocolate >30% y ≤50% de cacao	0.30 mg/kg	Reglamento (UE) 915/2023
	Chocolate >50% de cacao	0.80 mg/kg	Reglamento (UE) 915/2023
	Cacao en polvo (para bebidas)	0.60 mg/kg	Reglamento (UE) 915/2023
Estados Unidos	No hay un límite federal general	-	FDA, basado en buenas prácticas
California (EE. UU.)	Chocolate y derivados	0.45 mg/kg (Cd) / 0.1 mg/kg (Pb)	Acuerdo Industrial 65 (2018)
Canadá	No establece límites específicos	-	Health Canadá
Ecuador	Cacao y chocolate	0.60 mg/kg	INEN 621:2010
Colombia	No establece límites específicos	-	Basado en regulaciones UE

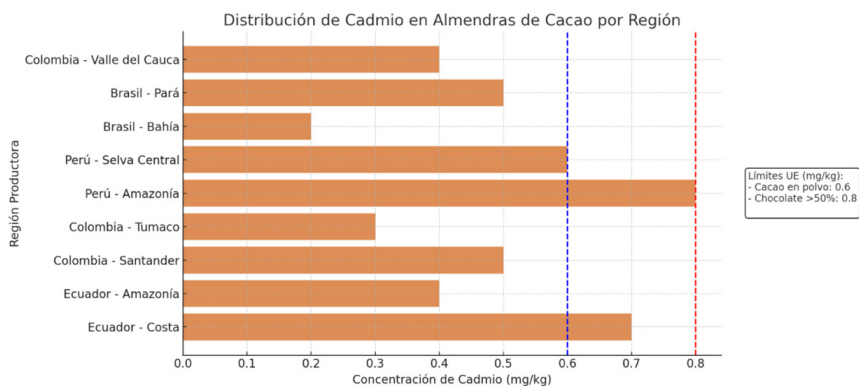
Fuente. Adaptado de Reglamento (UE) 2023/915 de la Comisión Europea relativo a los contenidos máximos de determinados contaminantes en los alimentos (2023); U.S. Food and Drug Administration (FDA, 2024); California Office of Environmental Health Hazard Assessment (OEHHA, Proposition 65, 2018); Health Canada (2024); NTE INEN 621:2010 del Instituto Ecuatoriano de Normalización; y AGROSAVIA (2021), Investigación y recomendaciones sobre cadmio en el cultivo de cacao en Colombia.



Como se observa en la Figura 1, las concentraciones de cadmio presentan diferencias importantes entre las regiones evaluadas. El Valle del Cauca registra valores cercanos a 0,4 mg/kg, inferiores a los reportados para algunas zonas productoras de Perú y Ecuador, y por debajo de los límites establecidos por la Unión Europea para determinados productos derivados del cacao. Estos resultados sugieren un potencial favorable para la comercialización internacional del cacao producido en la región, aunque resaltan la necesidad de mantener programas de monitoreo y prácticas de manejo que permitan prevenir incrementos en la acumulación de este metal en las almendras.

Figura 1.

Distribución de cadmio en almendras de cacao por región.



Nota. Las líneas punteadas representan los límites establecidos por la Unión Europea (0.6 mg/kg para cacao en polvo y 0.8 mg/kg para chocolate con más del 50% de cacao).

Fuente. Adaptado de “Cadmio en el cacao de América Latina y el Caribe: análisis de la investigación y soluciones potenciales para la mitigación” (Meter, Atkinson y Laliberte, 2019). Bioversity International.

2.1 Del Cacao al Mercado Global: Reglas Internacionales sobre Metales Pesados

- **California (EE. UU.)** ha impuesto una regulación más estricta que la FDA, estableciendo un límite de **0.45 mg/kg** para cadmio y **0.1 mg/kg** para plomo en productos de chocolate.
- Unión Europea mantiene los límites más específicos y exigentes, dependiendo del tipo de producto.
- Ecuador ha adoptado una regulación alineada con la UE para garantizar la calidad del cacao exportado.
- A diferencia de la Unión Europea, **Canadá y Colombia** no cuentan con límites máximos específicos para el cadmio en cacao y sus derivados dentro de su normativa nacional. No obstante, Colombia dispone de mecanismos regulatorios y de vigilancia para metales pesados en alimentos. En particular, la Resolución 1511 de 2011 establece límites para plomo en productos de chocolate, mientras que el control del cadmio se realiza mediante programas de monitoreo liderados por el INVIMA. Asimismo, la evaluación de cacao destinado a mercados internacionales se fundamenta en los criterios establecidos por el Codex Alimentarius y en los requisitos regulatorios de los países importadores, especialmente los contemplados en la normativa de la Unión Europea.



2.2 Valle del Cauca vs. Regiones Productoras

- El Valle del Cauca presenta una concentración de **0.4 mg/kg** de cadmio en las almendras de cacao. (Meter, Atkinson y Laliberte, 2019).
- Este valor es **inferior al límite de 0.6 mg/kg** establecido por la **Unión Europea** para cacao en polvo, lo que permite su comercialización en mercados exigentes como la UE.
- En comparación con otras regiones, **tiene una menor concentración de cadmio que la Amazonía peruana (0.8 mg/kg) y la Costa ecuatoriana (0.7 mg/kg)**, pero valores similares a Ecuador-Amazonía (0.4 mg/kg) y Santander, Colombia (0.5 mg/kg). (Meter, Atkinson y Laliberte, 2019).

2.3 Riesgo y Estrategias de Mitigación en Valle del Cauca:

- **Nivel Moderado:** Aunque no supera los límites regulatorios actuales, los productores deben monitorear el suelo y las prácticas agrícolas para evitar un aumento en la bioacumulación de cadmio.
- **Medidas Recomendadas:**
 - Implementar prácticas de **manejo del suelo y fertilización** para reducir la absorción de cadmio.
 - Usar **variedades de cacao de baja acumulación de cadmio**.
 - Evaluar las **fuentes de agua y fertilizantes** para evitar contaminación adicional.



2.4 Potencial del Cacao del Valle del Cauca en Mercados Internacionales:

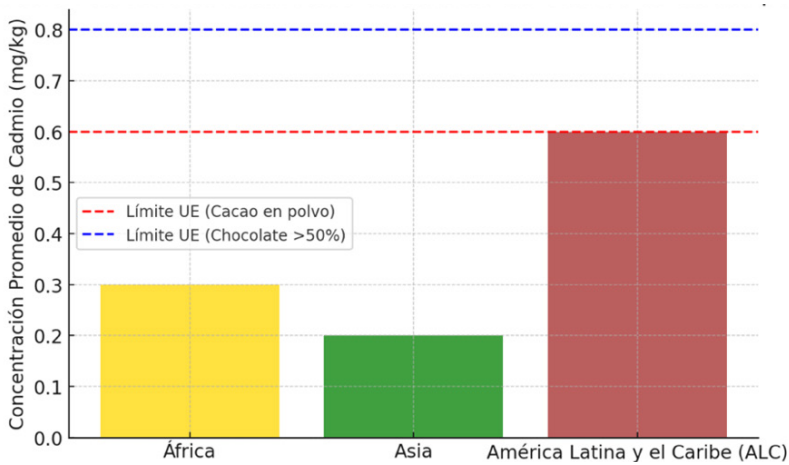
- Dado que los niveles de cadmio están por debajo de los umbrales críticos, el cacao cultivado en el Valle del Cauca tiene buenas perspectivas de exportación.
- Sin embargo, es clave mantener un monitoreo continuo y aplicar estrategias de mitigación para asegurar la calidad del producto en mercados como la UE y California, donde los límites son más estrictos.

La presencia de cadmio en los granos de cacao varía según la región productora, influenciada por factores como la composición del suelo, las prácticas agrícolas y la contaminación ambiental. En la Figura 2 se muestra la distribución de los niveles promedios de cadmio en granos de cacao de África, Asia y América Latina y el Caribe (ALC), según datos de Meter et al. (2019). Se observa que ALC presenta las concentraciones más altas de cadmio, alcanzando el límite permitido por la Unión Europea (UE) para cacao en polvo (0.6 mg/kg), mientras que África y Asia registran niveles significativamente menores. Esta información es clave para los productores y exportadores, ya que los niveles de cadmio pueden afectar la comercialización del cacao en mercados internacionales con regulaciones estrictas.



Figura 2.

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



Fuente. Adaptado de “Cadmio en el cacao de América Latina y el Caribe: análisis de la investigación y soluciones potenciales para la mitigación” (Meter, Atkinson y Laliberte, 2019). Bioversity International.







Capítulo 3.

Fuentes de Cadmio en el Cultivo de Cacao: lo que los Agricultores deben Saber

El cadmio (Cd) es un metal pesado que puede acumularse en los granos de cacao, afectando su calidad y comercialización en mercados internacionales con regulaciones estrictas, como la Unión Europea. Para los agricultores, conocer las fuentes de cadmio en el suelo y las formas en que es absorbido por el cacao es clave para aplicar prácticas de manejo que reduzcan su presencia.

3.1. Fuentes Naturales de Cadmio en el Suelo

El cadmio es un elemento natural que proviene de la descomposición de rocas y minerales. En regiones con suelos volcánicos o sedimentarios, los niveles de cadmio pueden ser más altos, lo que incrementa el riesgo de absorción por las plantas (Alloway, 2013). Esta es una de las

razones por las que algunos países productores de cacao en América Latina tienen más cadmio en sus suelos en comparación con África o Asia (Meter et al., 2019).

3.2. Fuentes Antropogénicas: Actividades Humanas que Aumentan el Cadmio

El cadmio también puede ingresar al suelo a través de actividades humanas, como:

- **Uso de fertilizantes fosfatados:** Los fertilizantes químicos a base de fosfato pueden contener trazas de cadmio. Con el tiempo, su uso constante puede aumentar la acumulación de este metal en el suelo (Smolders & Six, 2013).

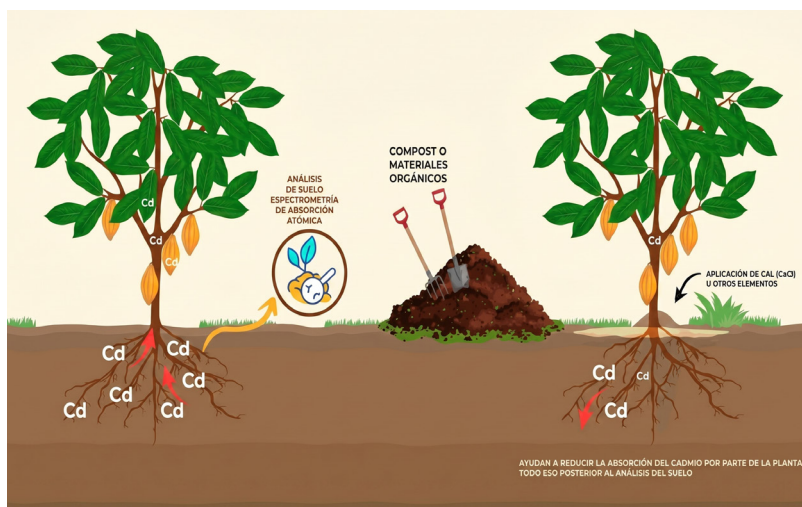
- Aplicación de residuos orgánicos contaminados: Algunos abonos orgánicos, como los lodos de depuradora o compost no regulado, pueden contener cadmio y ser una fuente de contaminación del suelo (Argüello et al., 2023).
- Depósito de partículas en el aire: Las emisiones industriales, la quema de combustibles fósiles y la quema de residuos pueden liberar cadmio en el ambiente, que luego se deposita en el suelo y es absorbido por las plantas (Kabata-Pendias, 2010).

3.3. ¿Cómo Llega el Cadmio a los Granos de Cacao?

- ¿El cacao absorbe el cadmio presente en el suelo a través de sus raíces y lo transporta hacia diferentes tejidos de la planta, incluyendo hojas, ramas y granos (Figura 3). Factores como el pH del suelo, el contenido de materia orgánica y la disponibilidad de otros elementos influyen en la movilidad y absorción de este metal por la planta (Gutiérrez et al., 2022).

Figura 3.

Ruta del Cadmio en la planta de Cacao.



Fuente. Reproducido de “Cadmio: cómo reducir su impacto” (<https://grandsur.com/cadmio-como-reducir-su-impacto/>). Todos los derechos reservados por Grandsur S.A. Reproducido con fines académicos y educativos.

- Suelos ácidos (pH bajo): Favorecen la absorción de cadmio, aumentando su acumulación en la planta (Chávez et al., 2015).
- Presencia de materia orgánica: Puede reducir la disponibilidad de cadmio en el suelo, limitando su absorción por las raíces (Smolders & Six, 2013).

3.4 ¿Cómo Afecta el Cadmio al Cultivo de Cacao?

- El Cd reduce el transporte de agua en las plantas y eso podría disminuir su tolerancia al estrés hídrico (Chávez et al., 2015).
- Altera el crecimiento y la formación de raíces laterales y secundarias (Bravo et al., 2021).
- El síntoma de una afectación por Cd es la deficiencia de hierro (Christensen y Lang, 1999).

3.5 ¿Qué se Mide cuando se Habla de Cadmio?

La unidad es concentración en miligramos (mg) de Cd por 1 kilogramo (kg) del material que se esté midiendo (por ejemplo, suelo, o granos de cacao fermentado y seco).

Esta unidad de mg por kg también se suele expresar como “parte por millón” (ppm).
Ejemplo: 1 mg de Cd en 1 kg de suelo es igual a 1 ppm.

3.6 ¿Cómo Realizar un Muestreo Adecuado para Análisis de Cadmio?

Desinfecta muy bien las herramientas y asegúrate de que la bolsa donde se va a depositar cada muestra de suelo esté nueva y limpia.

Selecciona un área homogénea dentro de la finca teniendo en cuenta la forma del terreno



(relieve), el cultivo, la aplicación de enmiendas o fertilizantes y el color del suelo y toma varias muestras aleatorias durante el recorrido. El tipo de muestreo más adecuado y sencillo de aplicar es en zigzag.

Para la toma de muestras con pala, abre un hoyo de aproximadamente 25 x 25 cm de lado a una profundidad de 30 a 40 cm que es el área de acción de las raíces del cultivo del cacao, y limpia la capa vegetal para evitar contaminación de las muestras.

Coloca la muestra dentro de un balde limpio. Después de tomar todas las submuestras, mezcla con las manos limpias hasta homogeneizar todo el suelo.

Empaca aproximadamente 1 kg de suelo en una bolsa plástica y ciérrala muy bien (no uses bolsas o empaques que contengan fertilizantes u otras sustancias químicas como herbicidas, pesticidas o enmiendas). Después de recolectado el suelo, cierra la bolsa, márcala adecuadamente indicando fecha y nombre de quien tomó la muestra.

Es muy importante hacer análisis de suelo completo, incluyendo el contenido de Cd total y disponible en suelos y, aparte, el contenido de Cd en granos (Bravo, 2021).





Capítulo 4.

Recomendaciones

Para los agricultores, es importante conocer las fuentes de cadmio en el suelo y aplicar estrategias de manejo que reduzcan su absorción. Algunas prácticas recomendadas incluyen:

4.1. Manejo del Suelo para Reducir la Disponibilidad de Cadmio

Ajustar el pH del suelo: Mantener un pH entre 5.5 y 7.0 mediante la aplicación de cal agrícola o dolomita, ya que el cadmio es más soluble en suelos ácidos (Correa et al., 2021).

Aumentar la materia orgánica: Incorporar compost, estiércol o abonos verdes certificados para reducir la movilidad del cadmio y su absorción por la planta (Gutiérrez et al., 2022).



Uso de fertilizantes adecuados: Aplicar fertilizantes ricos en zinc (Zn) y calcio (Ca), ya que estos elementos pueden competir con el cadmio y reducir su absorción (García et al., 2025). Con estas medidas, los agricultores pueden producir cacao de alta calidad que cumpla con los requisitos de exportación y minimice los riesgos para la salud del consumidor.

4.2. Buenas Prácticas Agrícolas

- Evitar el uso excesivo de fertilizantes fosfatados contaminados con cadmio.
- Implementar barreras vegetales y cultivos intercalados para reducir la absorción del cadmio.
- Realizar análisis de suelo periódicos para monitorear los niveles de cadmio y ajustar las prácticas de manejo según los resultados.

4.3. Manejo Postcosecha

- Evitar la contaminación del grano de cacao durante la fermentación y secado, utilizando superficies limpias y evitando el contacto con cenizas u otros residuos (Fedecacao, 2023).
- Almacenar los granos en condiciones adecuadas para prevenir la recontaminación (Fedecacao, 2023).

Conclusión

Reducir la acumulación de cadmio en el cacao es un desafío, pero mediante la selección de cultivares adecuados, un manejo eficiente del suelo y la aplicación de buenas prácticas agrícolas, los agricultores pueden producir granos de cacao de alta calidad y cumplir con las normativas internacionales.





Referencias

Alloway, B. J. (2013). Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-4470-7>

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos [EPA] (2013, marzo 15). Integrated risk information system. US EPA. <https://www.epa.gov/iris>

Argüello, D., Chavez, E., Gutierrez, E., Pittomvils, M., Dekeyrel, J., Blommaert, H., & Smolders, E. (2023). Soil amendments to reduce cadmium in cacao (*Theobroma cacao* L.): A comprehensive field study in Ecuador. *Chemosphere*, 324(138318), 138318. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138318>

Beckhauser, T. F., Francis-Oliveira, J., & De Pasquale, R. (2016). Reactive oxygen species: Physiological and physiopathological effects on synaptic plasticity: Supplementary issue: Brain plasticity and repair. *Journal of Experimental Neuroscience*, 10(Suppl 1), 23–48. <https://doi.org/10.4137/JEN.S39887>

Bravo, D., León-Moreno, C., Quiroga, R., Moreno, E., Zamora, A., Gutiérrez, E., Aristizábal, A., Arroyave, C., Cardona, L., Guerra, B., Olarte, H., Cuervo, C., Orozco, M. L., & Duarte, D. (2021). Investigación y recomendaciones sobre cadmio en el cultivo de cacao en Colombia. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <https://doi.org/10.21930/agrosavia.nbook.7404562>. Disponible en <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/36606>

Chávez, E., He, Z. L., Stoffella, P. J., 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. *The Science of the Total Environment*, 533, 205–214. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.06.106>

Correa, J. E., Ramírez, R., Ruíz, O., & Leiva, E. I. (2021). Effect of soil characteristics on cadmium absorption and plant growth of *Theobroma cacao* L. seedlings. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(13), 5437–5445. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11192>

Engbersen, N., Gramlich, A., Lopez, M., Schwarz, G., Hattendorf, B., Gutierrez, O., & Schulin, R. (2019). Cadmium accumulation and allocation in different cacao cultivars. *The Science of the Total Environment*, 678, 660–670. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.001>

European Food Safety Authority. (2012). Cadmium dietary exposure in the European population: Cadmium dietary exposure in Europe. *EFSA journal*, 10(1), 2551. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2012.2551>

Fedecacao. (2023, febrero 13). Inicia proyecto para la mitigación del cadmio en cacao en Colombia. Sitefedecacao. <https://www.fedecacao.com.co/post/inicia-proyecto-para-la-mitigación-del-cadmio-en-cacao-en-colombia>

García Porras, G. A., Santos, J. A. dos, Carvalho, M. R. de, Pinzón-Sandoval, E. H., Pereira, A. A. S., & Guilherme, L. R. G. (2025). Addressing cadmium in cacao farmland: A path to safer, sustainable chocolate. *Agriculture*, 15(4), 433. <https://doi.org/10.3390/agriculture15040433>

Gutiérrez, E., Chávez, E., Gamage, K. H. H., Argüello, D., Galkaduwa, M. B., & Hettiarachchi, G. M. (2022). Cadmium fractionation in soils affected by organic matter application: Transfer of cadmium to cacao (*Theobroma cacao* L.) tissues. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 954521. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.954521>

Grandsur S.A. (s.f.). Cadmio: cómo reducir su impacto. Recuperado de <https://grandsur.com/cadmio-como-reducir-su-impacto/>

International Agency for Research on Cancer (IARC). (2012). Arsenic, metals, fibres, and dusts. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans (Vol. 100C). International Agency for Research on Cancer. <https://publications.iarc.fr/120>

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. *Clinical Endocrinology*, 83(3), 357–362. <https://doi.org/10.1111/cen.12704>

Kabata-Pendias, A. (2010). Trace elements in soils and plants (4th ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b10158>

Gutiérrez, E., Chávez, E., Gamage, K. H. H., Argüello, D., Galkaduwa, M. B., & Hettiarachchi, G. M. (2022). Cadmium fractionation in soils affected by organic matter application: Transfer of cadmium to cacao (*Theobroma cacao* L.) tissues. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 954521. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.954521>

Maddela, N. R., Kakarla, D., García, L. C., Chakraborty, S., Venkateswarlu, K., & Megharaj, M. (2020). Cocoa-laden cadmium threatens human health and cacao economy: A critical view. *The Science of the Total Environment*, 720(137645), 137645. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137645>

Meter, A., Atkinson, R. J., & Laliberte, B. (2019). Cadmio en el cacao de América Latina y el Caribe: Análisis de la investigación y soluciones potenciales para la mitigación. *Bioversity International*. <https://hdl.handle.net/10568/102354>

Organización Mundial de la Salud. (2019). Preventing disease through healthy environments: Exposure to cadmium: A major public health concern. Organización Mundial de la Salud. <https://iris.who.int/handle/10665/329480>

Smolders, E., & Six, L. (2013). Revisiting and updating the effect of phosphate fertilizers on cadmium accumulation in European agricultural soils. KU Leuven, Division Soil and Water Management, for Fertilizers Europe. https://ec.europa.eu/health/scientific_committees/environmental_risks/docs/scher_o_168_rd_en.pdf

Zug, K. L. M., Huamaní Yupanqui, H. A., Meyberg, F., Cierjacks, J. S., & Cierjacks, A. (2019). Cadmium accumulation in Peruvian cacao (*Theobroma cacao* L.) and opportunities for mitigation. *Water, Air, and Soil Pollution*, 230(3). <https://doi.org/10.1007/s11270-019-4109-x>





Sobre los autores

Iván Andrés González Vargas

✉ Ivan.gonzalez03@usc.edu.co

© <https://orcid.org/0000-0002-0576-3889>

Universidad Santiago de Cali.

Facultad Ciencias Básicas. Cali, Colombia

Biólogo con énfasis en Genética, egresado de la Universidad del Valle, Magister en Ciencias-Biología de la Universidad del Valle. Actualmente adelanta estudios de Doctorado en Ciencias y tecnologías marinas en la Universidad de Cadiz (España).

Pertenece al grupo de investigación en microbiología industria y ambiente de la universidad Santiago de Cali, donde actualmente se desempeña como docente e investigador de Biología y Microbiología

Johannes Delgado Ospina

✉ jdelgado1@usbcali.edu.co

© <https://orcid.org/0000-0001-8095-4741>

Universidad San Buenaventura Cali.

Facultad Ingeniería. Cali, Colombia

Químico de la Universidad Santiago de Cali, Magister en Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia y Doctor en Ciencia de los Alimentos de la Universidad de Teramo (Italia). Docente e Investigador de los programas de Ingeniería Agroindustrial, Maestría en Ingeniería Biotecnología y Doctorado en Ingeniería de la Universidad de San Buenaventura Cali.

Pertenece al grupo de investigación Biotecnología de la Universidad de San Buenaventura Cali.

Pares Evaluadores

Peer reviewers

Wilson Noe Garces Aguilar

Investigador Junior (I)
Escuela Nacional Del Deporte.
Cali, Colombia
© <https://orcid.org/0000-0002-0146-2894>

Jhon Jairo Angarita Ossa

Universidad del Magdalena.
Santa Marta, Colombia
© <https://orcid.org/0000-0002-9702-9808>

Sandra Paola Mondragon Bohorquez

Universidad de San Buenaventura.
Seccional Cartagena, Colombia
© <https://orcid.org/0000-0002-3026-9946>

Olver Quijano Valencia

Investigador Asociado (I)
Universidad del Cauca.
Popayán, Colombia
© <https://orcid.org/0000-0002-1604-3465>

Pedro Antonio Calero Saa

Investigador Asociado (I)
Escuela Nacional Del Deporte.
Cali, Colombia
© <https://orcid.org/0000-0002-9978-7944>

Wilfred Fabian Rivera Martinez

Centro de Desarrollo Tecnológico Creativ.
Popayán, Colombia
Investigador Asociado (I)
© <https://orcid.org/0000-0003-2888-7929>

**Distribución y Comercialización /
Distribution and Marketing**

Universidad Santiago de Cali
Publicaciones / Editorial USC
Bloque 7 - Piso 5
Calle 5 No. 62 - 00
Tel: (57+) (2+) 518 3000
Ext. 323 - 324 - 414
editor@usc.edu.co
publica@usc.edu.co
Cali, Valle del Cauca
Colombia

Diagramación / Design & Layout by:

Diego Pablo Guerra Gonzalez
diagramacioneditorialusc@usc.edu.co
Tel: (57+) (2+) 518 3000 Ext. 9131

Este libro se diagramó utilizando fuentes tipográficas Open Sans Condensed en sus respectivas variaciones a 10 puntos en el contenido y Coolvetica, para los capitulares 20 puntos.

Impreso en el mes de Julio.
Editorial Díké S.A.S
Tel: (+57) 301 242 7399
Bogotá - Colombia
2026

Fue publicado por la Facultad de Ciencias Básicas de la
Universidad Santiago de Cali.