

CODEX ALIMENTARIUS

NORMAS INTERNACIONALES DE LOS ALIMENTOS



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Organización
Mundial de la Salud

E-mail: codex@fao.org - www.codexalimentarius.org

CÓDIGO DE PRÁCTICAS PARA PREVENIR Y REDUCIR LA CONTAMINACIÓN POR CADMIO EN LOS GRANOS DE CACAO

CXC 81-2022

Adoptado en 2022

I. INTRODUCCIÓN

El objetivo de este Código de prácticas (CDP) es orientar a los países y a la industria de la producción de cacao en la prevención y la reducción de la contaminación de cadmio (Cd) en los granos de cacao durante la producción y el procesamiento en la fase de poscosecha: fermentación, secado, almacenamiento y transporte.

El Cd es un metal pesado que entra predominantemente en el medio ambiente a través de actividades antropogénicas como el procesamiento de minerales, la quema de combustibles, la contaminación con residuos industriales, el estiércol y el uso de fertilizantes fosfatados. El Cd también puede entrar en el suelo de forma natural a través de la actividad volcánica, los suelos marinos de *shale*, la erosión, los aerosoles marinos y los fertilizantes con contenido de lodos residuales.

El Cd es tóxico y persistente en el suelo (la vida media calculada del Cd en el suelo oscila entre 15 y 1100 años). El Cd es absorbido y bioacumulado por los árboles del cacao (*Theobroma cacao* L.) y esto en algunos casos se traduce en niveles inaceptablemente altos en los granos de cacao; en consecuencia, puede ser necesario adoptar medidas para reducir tanto la presencia de Cd en el suelo como la absorción de Cd por parte de los árboles de cacao.

El Cd no se encuentra en la naturaleza en estado puro. Su estado de oxidación más común es el +2 y normalmente se encuentra asociado con hierro (Fe), zinc (Zn), plomo (Pb), fósforo (P), magnesio (Mg), calcio (Ca) o cobre (Cu). Las concentraciones de Cd en el suelo dependen principalmente de su pH, que controla su solubilidad y movilidad. La mayoría de los metales del suelo tienden a encontrarse en mayores cantidades en suelos con valores de pH ácidos, lo que incrementa su biodisponibilidad para la asimilación por parte de las plantas.

Es deseable una mayor adsorción del Cd en la superficie de las partículas del suelo, ya que esto reduce la movilidad de este contaminante en el perfil del suelo y su biodisponibilidad para los árboles de cacao y, en consecuencia, su impacto ambiental. La concentración de Cd en la solución del suelo y la biodisponibilidad y movilidad del Cd están controladas principalmente por reacciones de adsorción y desorción en la superficie de los coloides del suelo. Entre los factores del suelo que afectan a la acumulación y la disponibilidad de cadmio se incluyen el pH, la textura, el material orgánico, óxidos e hidróxidos de hierro y manganeso, el zinc, los carbonatos, la salinidad y la capacidad de intercambio catiónico.

Con un pH alcalino, un contenido elevado de cloruro en el suelo tiende a favorecer la formación de complejos de cloruros que disminuyen la adsorción del Cd en las partículas del suelo, con lo que aumenta en consecuencia la movilidad y la biodisponibilidad del Cd.

Con el tiempo, el desarrollo de nuestra comprensión de cómo diversos sistemas de cultivo contribuyen a la contaminación por Cd o la reducen en los granos de cacao se puede usar a fin de desarrollar sistemas integrados para gestionar los niveles de cadmio en los granos de cacao.

El injerto como estrategia genética con variedades de baja acumulación de cadmio puede ser una opción viable en varios tipos de suelo y con diferentes niveles de Cd, pero solo se ha probado experimentalmente para reducir el Cd en los árboles de cacao.

Para mitigar los niveles de Cd en los granos de cacao es crucial identificar las zonas de cultivo de cacao con alto contenido de Cd y desarrollar estrategias para abordar este problema, incluidas medidas de atenuación que se puedan aplicar a corto plazo (por ejemplo, test del suelo junto a enmiendas del suelo), mientras que otras medidas requerirán más tiempo para implementarse (por ejemplo, injertos de plantas en portainjertos con baja asimilación de Cd).

II. ÁMBITO DE APLICACIÓN

Este Código de prácticas ofrece orientación sobre prácticas recomendadas para prevenir y reducir la contaminación por Cd en los granos de cacao antes de su plantación, ya sea en plantaciones de árboles de cacao nuevas o ya existentes, así como durante la fase de producción (a lo largo de las fases de cosecha y poscosecha).

III. DEFINICIONES

- **Adsorción y absorción:** «La adsorción se refiere a la atracción y retención física o química de Cd a las partículas del suelo». «La absorción se refiere a la asimilación neta de Cd por parte del suelo a través de las raíces de los árboles de cacao».
- **Biochar (biocarbón):** Subproducto de la pirólisis de la biomasa residual. El biochar es un derivado estable del carbonato producido a partir la biomasa vegetal o animal para su aplicación en la agricultura.

- **Biodisponibilidad:** La biodisponibilidad de un mineral para las plantas y los suelos puede definirse como su accesibilidad a los procesos metabólicos y fisiológicos normales según la influencia de muchos factores, entre los que se incluyen la concentración total y la especiación de los metales, el pH, el potencial de reducción (redox), la temperatura, el contenido orgánico total (tanto de las fracciones disueltas como de las partículas) y el contenido de partículas en suspensión.
- **Capacidad de intercambio catiónico (CIC):** Medida de la capacidad que tiene un suelo para retener iones positivos. Las arcillas minerales y los componentes orgánicos del suelo tienen cargas negativas en sus superficies que adsorben y retienen iones positivos (cationes). Dicha carga eléctrica es crítica para el suministro de nutrientes a las plantas, porque muchos nutrientes (por ejemplo, Mg, K y Ca) existen como cationes.
- **Enmiendas del suelo:** Cualquier material añadido al suelo para mejorar sus propiedades físicas y químicas. La aplicación de las enmiendas depende de las características de los suelos, y puede incluir compost, estiércol, sulfato de magnesio, vinaza, zeolita (minerales o adsorbentes que se hidratan y deshidratan reversiblemente); carbón vegetal o biochar; sulfato de calcio, cal, subproducto de la caña (bagazo), sulfato de zinc, dolomita (carbonato de calcio y magnesio), vermicompost, caña de azúcar, torta de palma, fosforita y otras materias orgánicas.
- **Fermentación:** Proceso destinado a degradar la pulpa o mucílago e iniciar cambios bioquímicos en el cotiledón a través de las enzimas y los microorganismos del entorno de la plantación.
- **Grano de cacao:** Semilla del fruto del cacao; está compuesta de epispermo (también denominado «tegumento», «testa» o «cáscara»), embrión y cotiledón.
- **Humus:** Componente orgánico del suelo, formado por la descomposición de las hojas y otros materiales de las plantas por parte de los microorganismos del suelo.
- **Poda:** Retirada anual de ramas de árboles de sombra y plantas de cacao que están secas, enfermas o desequilibradas.
- **Pulpa o mucílago:** Sustancia acuosa, mucilaginoso y ácido en la que están incrustadas las semillas.
- **Secado:** Los granos de cacao se secan bajo la luz del sol o bien en secadoras mecánicas/solares (o una combinación de ambos) con el fin de reducir el contenido de humedad (a menos del 8 %) y estabilizarlos para su almacenamiento.
- **Sombreado:** Cultivo de plantas de cacao con árboles de sombra para reducir la cantidad de radiación solar y viento que llega al cultivo. El sombreado suele ser de aproximadamente el 50 % durante los primeros cuatro años de vida de la planta, después de los cuales el porcentaje de sombra puede reducirse al 25 o al 30 %.
- **Subproducto de la caña (bagazo):** Subproducto de la caña de azúcar obtenido a través de la molienda y el prensado.
- **Vinaza:** Subproducto de la producción de alcohol a partir de la caña de azúcar. La vinaza se obtiene a partir de la fermentación y la destilación de las melazas; se trata del principal residuo orgánico en la producción de alcohol.

IV. PRÁCTICAS RECOMENDADAS PARA PREVENIR Y REDUCIR LA CONTAMINACIÓN POR CADMIO EN LOS GRANOS DE CACAO

4.1 Antes de la plantación - nuevas plantaciones

4.1.1 Prácticas recomendadas a corto y medio plazo

La prevención y la reducción del Cd en el cacao debe empezar con el análisis fisicoquímico del suelo y formar parte de las prácticas previas al establecimiento de una nueva plantación. El análisis del suelo no está limitado a la medición del Cd, sino que también debe considerar el porcentaje de materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico, el zinc soluble y la clorinidad. Los parámetros físicos de análisis son: % de arena, % de arcilla, % de limo, clase de textura. El análisis químico debe tener en cuenta si procede: pH, % de materia orgánica, porcentaje de N total; ppm disponibles de P, K, Pb, óxidos e hidróxidos de Fe, carbonatos de Mn, Cd y Zn; cambiante (cmol (+) /kg) de Ca, Mg, K, Na, Al y H; CEC, camb. bas. %, ac. Camb. %, y Sat. Al. Se recomienda consultar a un profesional cualificado en busca de información sobre parámetros relevantes para la asimilación de Cd por parte de las plantas, así como para interpretar los resultados de estos análisis del suelo.

Las autoridades del país o las responsables del control de los alimentos deben considerar la adopción de medidas aplicables en el origen en el *Código de prácticas sobre medidas aplicables en el origen para reducir la contaminación de los alimentos con sustancias químicas* (CXC 49-2001)¹.

En nuevas plantaciones, debe considerarse el uso de cultivos de cobertura de leguminosas perennes. Los cultivos de cobertura mejoran la materia orgánica del suelo y pueden proteger de la erosión y reducir la pérdida de nutrientes, con lo que mejoran la productividad del suelo por una mayor disponibilidad de nutrientes esenciales y reducen la biodisponibilidad de metales.

No se ha identificado ninguna recomendación específica sobre los niveles de Cd en las áreas donde crece el cacao. La acidez de los suelos afecta a los niveles de Cd aceptables.

Las aguas de regadío se pueden monitorizar para determinar si son una fuente potencial de Cd, por ejemplo, niveles más altos que los de fondo debido a la contaminación de fuentes puntuales. Como una posible referencia para niveles más altos, la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomendó que el nivel de Cd para el agua potable fuera de 0,005 mg/l.

Aunque son conocidas las ventajas del sistema agroforestal, los datos de su impacto sobre los niveles de Cd en comparación con el monocultivo son preliminares. Hay estudios que han comparado de forma sistemática el sistema agroforestal con el monocultivo y no han detectado ninguna diferencia estadísticamente significativa en cuanto a la asimilación de Cd en los granos de cacao.

En el sistema agroforestal, las especies de plantas de sombra más utilizadas con los árboles de cacao son las musáceas (bananas, moles y cambures) para sombra temporal en el establecimiento inicial del cacao y las leguminosas como el poró o bucare (*Erythrina sp.*) y guabas (Ingas) como árboles de sombra permanentes. Otras especies vegetales de sombra que proporcionan beneficios económicos mayores son especies madereras (laurel, cedro, abarco (*Cariniana pyriformis*), cenízaro o árbol de la lluvia y terminalia) o frutales (por ejemplo, cítricos, aguacates, zapote, árbol del pan, palmera datilera). Es aconsejable plantar árboles de sombra cortos y utilizar cítricos o frutales para los límites de las plantaciones de cacao.

Si es posible, establecer las plantaciones en áreas alejadas de carreteras o tomar medidas para reducir la exposición de los cacaotales a las emisiones de los motores de combustión (por ejemplo, en vehículos), ya que pueden contener Cd. Igualmente, deben ubicarse en áreas separadas de vertederos urbanos, áreas mineras, áreas de fundición, desechos industriales y aguas residuales de alcantarillado y domésticas, puesto que pueden ser fuentes de Cd.

Evitar suelos inundables si las fuentes de agua están contaminadas con Cd.

4.1.2 Prácticas recomendadas a largo plazo

Al realizar nuevas plantaciones se recomienda plantar variedades de árboles de cacao que sean menos propensas a la asimilación de Cd.

4.2 Desde la producción hasta la cosecha

4.2.1 Prácticas recomendadas a corto y medio plazo

Es importante conocer las fuentes y la distribución del Cd en el suelo. En general, hay que tener en cuenta que cualquier enmienda orgánica o inorgánica que se aplique al cultivo debe ser previamente analizada en cuanto a Cd ya que, en función de su procedencia, puede contener Cd y convertirse en una fuente de Cd para los cultivos. Los lodos residuales, las cenizas volantes y los fertilizantes fosfatados pueden tener altas concentraciones de Cd. Los fertilizantes fosfatados aplicados deben contener bajos niveles de Cd. Para reducir la asimilación de Cd, los fertilizantes fosfatados para los cacaotales deben cumplir los criterios nacionales en relación con la ratio de Cd respecto al fósforo (Cd: P o Cd: P₂O₅).

Los análisis de suelo han demostrado una correlación positiva entre los niveles más altos de Cd en el suelo y en los tejidos de las plantas y los granos de cacao.

Si es posible, se deben realizar análisis de caracterización de suelos en plantaciones de cacao por parte de laboratorios acreditados empleando métodos validados que incluyan el uso de materiales de referencia certificados, así como los estándares y la incertidumbre asociada. Además, es muy importante realizar análisis del suelo con métodos reconocidos internacionalmente. Estos métodos deben incluir los adecuados para su uso por parte de los agricultores locales que intentan exportar cacao. Estos análisis de caracterización del suelo no solo deben incluir el Cd, sino también otros nutrientes (véase la Sección 4.1.1). El pH del suelo es el parámetro más importante que se debe medir en un régimen continuo.

El protocolo de muestreo de suelos debe considerar la obtención de muestras representativas de cada finca, ya que el contenido de Cd podría ser variable en la misma zona de producción de cacao. Debido a la variación natural en los niveles de Cd y Zn en el suelo, se debe recoger al menos una muestra de suelo compuesta (que incluya al menos 20 submuestras) por cada hectárea. El protocolo debe tener en cuenta las normas internacionales para la toma de muestras de suelo en suelos específicamente contaminados con metales. La profundidad del muestreo del suelo en las encuestas y la evaluación de campo es de 0 cm a 15 cm, debido a que la hojarasca formada por las hojas y las ramas del cacao puede contener un nivel más alto de Cd que el suelo en el que crece, lo que permite que la metabolización de la hojarasca en el suelo pueda añadir Cd en la capa superior de 0 cm a 5 cm de suelo. La toma de muestras de suelo de 0 cm a 5 cm ofrece una medición más representativa del Cd del suelo.

En áreas donde los granos de cacao tienen niveles relativamente más altos de Cd, es importante determinar la salinidad del agua de riego y el suelo (sales con cloruro de Cd), ya que la absorción de Cd por parte de las plantas se incrementa con las mayores concentraciones de cloruro. No obstante, este efecto es más pronunciado en los suelos alcalinos (pH >7,0). Por ello, si los niveles de Cd en los granos de cacao son preocupantes y el suelo es alcalino, es importante determinar la conductividad eléctrica del suelo y el agua, que debe ser inferior a 2 mS/cm.

4.2.2 Estrategias para inmovilizar el cadmio en el suelo (prácticas a medio y largo plazo)

Cuando el suelo tiene deficiencia de Zn, deben aumentarse los niveles de Zn del suelo. El Cd compite con el Zn en cuanto a la asimilación por parte de las plantas, y es más probable que el Cd entre en las plantas y se acumule en los granos de cacao cuando la concentración de Zn es baja. Además, las autoridades locales nacionales pueden especificar niveles críticos de Zn para los suelos donde crece el cacao.

La aplicación de sulfato de Zn se realiza con la fertilización que se ejecuta anualmente en el cacaotal, según los requerimientos del cultivo y el contenido de Zn del suelo. No obstante, si se añade sulfato de Zn en tasas elevadas para inhibir la asimilación de Cd en los suelos con un nivel más alto de Cd (por ejemplo, 25 kg Zn/ha), podría producirse la acidificación del suelo, lo que requeriría añadir caliza para contrarrestar los efectos de la acidificación.

El método más eficaz desarrollado hasta ahora para disminuir la biodisponibilidad del Cd es el encalado de suelos por debajo de pH 6. El encalado es una práctica de gestión del suelo que reduce la asimilación de Cd por parte de los árboles de cacao cultivados en suelos altamente ácidos, y su adición también puede mejorar la nutrición y la producción de los árboles de cacao. No obstante, es importante verificar que la cal añadida no contenga Cd.

El pH del suelo se debe gestionar con un objetivo de pH >6 pero, si los niveles de Cd en el suelo son altos, es posible que se necesite un pH más alto para reducir la acumulación de Cd por parte de los árboles de cacao. Sin embargo, el pH no debe ser tan alto que reduzca la absorción de minerales y micronutrientes deseables. La adición de sulfato de Zn a través de la fertilización también puede resultar necesaria para garantizar el mantenimiento de los niveles de Zn.

Aplicar cal en bajas dosis (3 t/ha al año), preferentemente de dolomita $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ para incrementar gradualmente el pH e incorporar Ca y Mg, que son esenciales para el crecimiento de los árboles de cacao. Esto puede contribuir a precipitar el Cd y reducir su biodisponibilidad. Debe evitarse el sobreencalado, ya que esto puede reducir la biodisponibilidad de los micronutrientes.

Según revelan estudios de campo, una mayor cantidad de materia orgánica del suelo puede incrementar la adsorción de Cd en el suelo y contribuir así a reducir el Cd en los granos de cacao. El uso de fertilizantes orgánicos, como el estiércol tratado de ganado estabulado o compost, incrementa el contenido de materia orgánica del suelo y mejora su actividad microbiológica.

Para una producción exitosa de cacao es vital suplementar el suelo con fósforo, ya que los suelos tropicales tienen un contenido de fósforo natural muy limitado. La mejor forma de hacerlo es utilizando fertilizantes orgánicos, que presentan una alta biodisponibilidad fosfórica y un bajo contenido de Cd. Puesto que los fertilizantes fosfatados o la roca fosfórica sedimentaria pueden contener altas concentraciones de Cd, solo se deben usar en caso de que se haya demostrado su bajo contenido de Cd, y, en cualquier caso, deben cumplir con los límites de cambio establecidos por las autoridades competentes nacionales o regionales.

En general, la fórmula de la ratio del nitrógeno, el fósforo y el potasio (NPK) en fertilizantes aplicables a las cosechas de cacao varía según la edad de la planta y las características del suelo. El contenido de metales pesados de los fertilizantes debe verificarse mediante análisis antes de su aplicación en el suelo a fin de garantizar que el contenido de Cd es bajo.

La aplicación de enmiendas del suelo (magnesio, sulfato, piedra caliza dolomítica, vinaza, zeolita, humus, carbón vegetal, sulfato de calcio (CaSO₄), subproducto de la caña (bagazo) y sulfato de zinc (ZnSO₄)) puede ayudar a reducir las concentraciones de Cd en los granos de cacao. La opción de enmiendas varía en función de las características de los suelos.

La vinaza es una fuente de K que promueve la instalación de hongos que forman micorrizas en las raíces del árbol del cacao, con lo que incrementa la eficiencia en la nutrición de P e inmoviliza el Cd.

La cal y la torta de caña de azúcar pueden reducir la biodisponibilidad del Cd en el perfil del suelo. La zeolita es otra opción en suelos con alto contenido de arena y en suelos de textura arcillosa. La apatita (o fosforita), que puede contener Cd, debe evitarse en la medida de lo posible.

Se ha demostrado que la aplicación de biochar reduce la asimilación del Cd en los granos de cacao. Las tasas de reducción en la asimilación de Cd gracias al uso de biochar son comparables al encalado y pueden tener una influencia aditiva al encalado.

El biochar y el compost tienen efectos significativos en las características fisicoquímicas del suelo, la biodisponibilidad de metales (incluido el Cd) y las actividades de las enzimas en suelos muy contaminados por metales. Por tanto, pueden contribuir a mitigar las concentraciones de Cd en los árboles de cacao.

Los genotipos de la planta del cacao identificados con baja bioacumulación de Cd tienen el potencial de ser utilizados para la mitigación del Cd injertando plantas sobre portainjertos con baja asimilación de cadmio y obteniendo nuevas variedades que no son tan propicias a la absorción de Cd.

4.2.3 Evitar una mayor contaminación del suelo por cadmio (Prácticas recomendadas a corto y medio plazo)

Para reducir los aportes de Cd al suelo, se deben retirar del suelo las hojas y los miembros podados de los árboles de cacao y los árboles de sombra, puesto que pueden contener Cd que se puede liberar a las capas superiores del suelo durante la descomposición. Esta práctica debe incluir la retirada de los materiales podados en huertos con altos niveles foliares de Cd.

Evitar la aplicación de lodos residuales.

Evitar quemar o incinerar residuos domésticos que pueden contener metales, incluido Cd. Su enterramiento puede contaminar las aguas subterráneas, mientras que la incineración puede provocar contaminación, liberar metales volátiles a la atmósfera y, en consecuencia, contaminar los suelos.

Las autoridades nacionales o regionales deben tomar en consideración limitar las principales actividades industriales contaminantes cerca de las plantaciones de cacao, como la minería y la fundición no ferrosas, las industrias del metal, el curtido, la combustión de carbón y la fabricación de fertilizantes fosfatados.

4.3 Etapa de poscosecha (Prácticas recomendadas a corto y medio plazo)

El proceso de fermentación de los granos de cacao es una práctica importante que los productores llevan a cabo para desarrollar sabores de chocolate.

El escurrido del mucílago mejora la calidad sensorial de los granos de cacao en el proceso de fermentación al reducir su acidez. Los estudios han demostrado que los tiempos de drenaje de mucílago de hasta 12, 24 o 36 horas reducen las concentraciones de Cd sin afectar a la calidad organoléptica del cacao.

Es una práctica recomendada asegurarse de que durante la fermentación de los granos de cacao estos no se contaminan con humo o con gases procedentes de los secadores, vehículos o descargas industriales.

Saccharomyces cerevisiae es una cepa de levadura que absorbe Cd durante la fermentación del cacao. Por consiguiente, estudios experimentales han demostrado que incrementar la concentración de *Saccharomyces cerevisiae* durante el proceso de fermentación puede contribuir a reducir el contenido de Cd en los granos.

Tras la fermentación, los granos de cacao deben secarse en superficies sólidas limpias para evitar que sean contaminados por el suelo.

Durante el almacenamiento se debe impedir la contaminación de los granos por derrames de combustibles, gases de escape o humos.

4.4 Etapa de transporte (recomendaciones)

Se recomienda llevar a cabo buenas prácticas durante el transporte de los granos de cacao:

- Cubrir las zonas de carga y descarga para proteger el cacao de la lluvia.
- Garantizar el buen mantenimiento y la limpieza a fondo de los vehículos.
- Asegurarse de que las lonas/cubiertas estén limpias y no presenten daños.

- Asegurarse de que los contenedores no se han utilizado para productos químicos o sustancias nocivas, así como que están bien mantenidos y limpios.
- Asegurarse de que los niveles de humedad sean lo más bajos posible utilizando contenedores ventilados, si se dispone de ellos, y forrados de cartón/papel kraft.
- Para el cacao embolsado: cargar las bolsas con cuidado y cubrirlas con materiales que absorban la condensación.
- Para el cacao a granel: utilizar un forro de plástico sellable si es posible y asegurarse de que se mantiene alejado del techo del contenedor.
- Asegurarse de que los orificios de ventilación de los contenedores no estén obstruidos.
- Garantizar en la medida de lo posible que el cacao no esté expuesto a fluctuaciones de temperatura y que no se almacene cerca de materiales nocivos.

NOTAS

¹ FAO y OMS. 2001. *Código de prácticas sobre medidas aplicables en el origen para reducir la contaminación de los alimentos con sustancias químicas*. Código de prácticas del Codex Alimentarius, n.º CXC 49-2001. Comisión del Codex Alimentarius. Roma.