

COMISIÓN DEL CODEX ALIMENTARIUS



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Organización
Mundial de la Salud

Viale delle Terme di Caracalla, 00153 Roma, Italia - Tel: (+39) 06 57051 - Correo electrónico: codex@fao.org - www.codexalimentarius.org

Tema 7 del programa

CX/CF 21/14/7

Marzo de 2021

**PROGRAMA CONJUNTO FAO/OMS SOBRE NORMAS ALIMENTARIAS
COMITÉ DEL CODEX SOBRE CONTAMINANTES DE LOS ALIMENTOS**

**Décima cuarta reunión
(virtual)**

3-7 y 13 de mayo de 2021

**CÓDIGO DE PRÁCTICAS PARA LA PREVENCIÓN Y LA REDUCCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN POR CADMIO EN LOS
GRANOS DEL CACAO**

(En el trámite 4)

(Preparado por el Grupo de trabajo por medios electrónicos [GTe] presidido por el Perú y copresidido por el Ecuador y Ghana)

(Preparado por el GTe dirigido por los Estados Unidos de América y copresidido por el Reino Unido y el Japón)

Los miembros del Codex y los observadores que deseen presentar observaciones en el trámite 3 sobre este documento deben hacerlo siguiendo las instrucciones descritas en la carta circular CL 2021/12/OCS-CF, disponible en la página web del Codex¹

INFORMACIÓN GENERAL

1. En la 11.ª reunión del Comité del Codex sobre Contaminantes en los Alimentos (CCCF11, 2017), el Perú presentó una propuesta para el desarrollo de un Código de prácticas (CDP) para orientar a los Estados miembros y la industria de producción de cacao en la prevención y la reducción de la contaminación por cadmio (Cd) en los granos de cacao durante las fases de producción y procesamiento. El Comité acordó establecer un Grupo de trabajo por medios electrónicos (GTE) presidido por el Perú, para preparar un documento de debate para debatir la oportunidad de desarrollar dicho CDP y las medidas de reducción de riesgos disponibles para apoyar el desarrollo de un CDP.²
2. En la 12.ª reunión del CCCF (2018), el Perú presentó el documento de debate y destacó la utilidad de distribuir una encuesta para recabar información sobre prácticas validadas en la cadena alimentaria para prevenir y reducir la contaminación por cadmio en el cacao antes de iniciar un nuevo trabajo sobre la elaboración de un CDP. Para obtener esta información, el Comité acordó preparar una circular para la encuesta que se encargaría de distribuir la Secretaría del Codex. Se expresó la opinión de que en las conclusiones únicamente se deben recoger los puntos relevantes para la elaboración del CDP. La Secretaría del JECFA pidió que el Comité prestara especial atención a las medidas de mitigación cuya aplicación fuera viable incluso para pequeños agricultores.
3. EL CCCF12 acordó restablecer un GTE presidido por el Perú, y copresidido por el Ecuador y Ghana, para seguir elaborando el documento de debate para: (i) determinar si las medidas de mitigación disponibles en el momento presente apoyarían el desarrollo del CDP; e (ii) identificar el ámbito de aplicación del CDP (por ejemplo, si el CDP cubrirá toda la cadena de producción o solo la producción primaria) partiendo de las respuestas a la encuesta. El GTE debe centrar su trabajo en las medidas de atenuación con rentabilidad y viabilidad demostradas y aplicables en todo el mundo por parte de grandes y pequeños productores.³

¹ Página web del Codex/Cartas circulares:
<http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/resources/circular-letters/es/>.

Página web del Codex/CCCF/Circulares:
<http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/committees/committee-detail/related-circular-letters/es/?committee=CCCF>

² REP17/CF, párrs. 154-155

³ REP18/CF, párrs. 141-146

4. En el CCCF13 (2019), el Perú presentó el documento de debate e indicó que las medidas de gestión de riesgos disponibles hasta la fecha apoyan la elaboración de un CDP durante la producción primaria y en la fase posterior a la recolección (en concreto, procesos de fermentación, secado y almacenamiento). Tales medidas se han validado como viables, rentables y aplicables en el mundo entero entre grandes, medianos y pequeños productores. En el ámbito de aplicación del CDP no se incluirán prácticas de fabricación/elaboración que sean capaces de reducir eficazmente los niveles de cadmio en los productos elaborados (p. ej. chocolates), puesto que todavía no están disponibles. Sin embargo, en diferentes países se están llevando a cabo estudios para reducir la contaminación de cadmio en las diferentes fases de la cadena de elaboración que, en el futuro, podrían incluirse en el CDP. El CDP ayudará a reducir la contaminación por cadmio en los granos de cacao y sus productos y facilitará la aplicación y el cumplimiento de los niveles máximos de cadmio en el chocolate y en los productos derivados del chocolate.

MANDATO

5. Así pues, el CCCF13 acordó: (i) presentar el documento de proyecto⁴ a la CAC42 para su aprobación como nuevo trabajo; y (ii) establecer un GTE, presidido por el Perú y copresidido por Ghana y el Ecuador, para preparar, sujeto a la aprobación por parte de la CAC42, un proyecto de CDP sobre la base de un documento proporcionado en el Apéndice II de CX/CF 19/13/12, a fin de recoger observaciones y someterlo a examen en la próxima reunión del Comité.⁵
6. La Comisión del Codex Alimentarius (CAC42, 2019) aprobó el nuevo trabajo en su 42.º período de sesiones.⁶

GESTIÓN DEL TRABAJO

7. El GTE preparó un primer borrador basado en el esquema proporcionado en CX/CF 19/13/12, Apéndice II, y en las observaciones presentadas por los miembros del GTE. Dado que el CCCF14 se pospuso de mayo de 2020 a mayo de 2021 debido a la pandemia de la COVID-19 y en vista del tiempo adicional del que disponía el Comité, se publicó un informe provisional del GTE como CX/CF 20/14/7. Se solicitaron observaciones sobre el CDP a través de la CL 2020/20/OCS-CF para su posterior consideración por parte del GTE. Las observaciones recibidas en respuesta a esta CL fueron recopiladas en CX/CF 20/14/7-Add.1. El GTE revisará el CDP basándose en las observaciones recibidas en respuesta a esta CL y en las de los miembros del GTE y elaborará un documento revisado tal y como se presenta en el Apéndice I de este documento.
8. Los documentos de trabajo publicados durante 2020 que han sido revisados o actualizados en 2021 para su consideración por parte del CCCF14 pueden encontrarse en el sitio web del Codex⁷.

CONCLUSIÓN

9. El Código de prácticas para la prevención y la reducción de la contaminación por cadmio en los granos de cacao, incluido el transporte, se presenta en el Apéndice I. En el Apéndice II se ofrece información en un documento básico que proporciona la base para las disposiciones del CDP.

RECOMENDACIONES

10. Se invita al CCCF a considerar el CDP revisado que figura en el Apéndice I y a proporcionar:
 - a. Observaciones generales sobre el formato y el contenido general del CDP, y
 - b. Observaciones específicas sobre las disposiciones que pueden requerir un mayor desarrollo.
11. Sobre la base de las orientaciones proporcionadas en los puntos 19(a/b), se invita al CCCF a:
 - a. Considerar si el CDP está listo para ser adoptado en el trámite 5 por la CAC44 (2021)
 - b. Restablecer el GTE para que continúe desarrollando el CDP, en particular aquellas disposiciones que requieren un mayor desarrollo según lo identificado por el Comité, con vistas a su finalización en el CCCF15 (2022).
12. Al examinar los puntos planteados en los párrafos 10 y 11, se invita al CCCF a tener en cuenta las observaciones presentadas por los miembros y observadores del Codex en respuesta a la circular.

⁴ REP19/CF, Apéndice VIII

⁵ REP19/CF, párrs. 108-112

⁶ REP19/CAC, Apéndice V

⁷ <http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/meetings/extra/cccf14-2020/es/>

APÉNDICE I

CÓDIGO DE PRÁCTICAS PARA LA PREVENCIÓN Y LA REDUCCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN POR CADMIO EN LOS GRANOS DE CACAO

(Para someterlo a observaciones en el trámite 4)

1. INTRODUCCIÓN

1. El objetivo de este Anteproyecto de código de prácticas (CDP) es orientar a los Estados miembros 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 la fase posterior a la recolección: fermentación, secado y almacenamiento, incluido cualquier transporte que se pudiera producir.
2. 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 y los residuos y la aplicación de fosfatos y fertilizantes con aguas residuales. El Cd también puede entrar en el suelo de forma natural a través de la actividad volcánica, por los suelos marinos de shale, por la erosión o los aerosoles marinos.
3. 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, en algunos casos, se traduce en niveles inaceptablemente altos en los granos de cacao; en consecuencia, puede ser necesario adoptar medidas para evitar la presencia de Cd en el suelo y reducir la absorción de Cd.
4. 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), a través de su "capacidad de intercambio catiónico". 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 tienen a encontrarse en mayores cantidades en suelos con valores de pH ácidos, lo que incrementa la disponibilidad para las plantas.
5. Es deseable una mayor absorción del Cd en la superficie de las partículas del suelo, considerando que esto reduce la movilidad de su contaminante en el perfil del suelo y, en consecuencia, su impacto ambiental. La concentración de metales pesados (Cd) en la solución del suelo y, en consecuencia, su biodisponibilidad y movilidad, están controlados principalmente por reacciones de absorción y desorción en la superficie de los coloides del suelo. Entre los factores del suelo que afectan a la acumulación y la disponibilidad de metales pesados 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.
6. 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 del Cd y la biodisponibilidad.
7. Con el tiempo, se puede usar el desarrollo de nuestra comprensión de cómo diversos sistemas de cultivo contribuyen o reducen la contaminación por cadmio en los granos de cacao, a fin de desarrollar sistemas integrados para gestionar los niveles de cadmio en los granos de cacao.
8. La herramienta del injerto como una estrategia genética con variedades de baja acumulación de cadmio es una opción viable en varios tipos de suelo y con varios niveles de Cd, pero solo se ha probado experimentalmente para reducir el Cd en los árboles de cacao. La información personal obtenida en zonas de producción agrícola de Perú mostró que los granos de cacao exportados a Europa son variedades cruzadas con cacao «chuncho». Leyva, C. 2019.
9. 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 específicas y generales para abordar este problema.

2. ÁMBITO DE APLICACIÓN

10. El ámbito de aplicación de este Código de Prácticas es orientar sobre prácticas recomendadas para prevenir y reducir la contaminación por cadmio en los granos de cacao antes de su plantación o para nuevas plantaciones, así como durante la fase de producción, durante la cosecha y después de la cosecha, incluido cualquier transporte que se pudiera producir o plantaciones ya existentes de árboles del cacao que pueden producir granos durante hasta 25 años.

3. DEFINICIONES

Biochar-biocarbón: subproducto de la pirólisis de la biomasa residual.

Grano de cacao: semilla del fruto del cacao, compuesta de epispermo (tegumento), embrión y cotiledón.

Pulpa o mucílago: sustancia acuosa, mucilaginoso y ácida en la que están incrustadas las semillas.

Recolección y apertura de la fruta: el fruto se recoge manualmente y se abre con una hoz, machete o palo de madera.

Biorremediación: uso de organismos vivos, principalmente microorganismos, para degradar contaminantes ambientales en formas menos tóxicas.

Fitorremediación: tipo de proceso de biorremediación que usa plantas para eliminar, transferir, estabilizar o destruir contaminantes en el suelo y en el agua subterránea.

Emisiones atmosféricas: se definen como materiales gaseosos o partículas no deseados (cadmio) que se vierten a la atmósfera como resultado directo de las actividades de producción, acumulación o consumo de la economía.

Biodisponibilidad: la biodisponibilidad de un mineral en la nutrición de 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.

Adsorción, absorción y desorción: la adsorción física, química o por intercambio de cadmio en las partículas del suelo es un concepto que se refiere a la atracción y la retención que ejerce la superficie de un cuerpo sobre iones, átomos o moléculas pertenecientes a un cuerpo diferente. La absorción es un término que se refiere a la amortiguación que ejerce un cuerpo ante una radiación que lo atraviesa; a la atracción desarrollada por un sólido sobre un líquido con la intención de que sus moléculas penetren en su sustancia; a la capacidad de un tejido o una célula de recibir un material que viene del exterior. La desorción es el proceso de eliminar una sustancia adsorbida o absorbida.

Cachaza: subproducto de la caña de azúcar.

Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC): medida de la capacidad que tiene un suelo para retener iones positivos. Es una importante propiedad del suelo que influye en la estabilidad de la estructura del suelo, la disponibilidad de nutrientes, el pH del suelo y la reacción del suelo a los fertilizantes y otros mejoradores. Las arcillas minerales y los componentes orgánicos del suelo tienen cargas negativas en sus superficies que absorben y retienen iones positivos (cationes). Dicha carga eléctrica es crítica para el suministro de nutrientes a las plantas, porque muchos nutrientes existen como cationes (Mg, K y Ca) por la fuerza electrostática.

Conductividad eléctrica: la conductividad eléctrica en metales es el resultado del movimiento de partículas con carga eléctrica. Los átomos de los elementos metálicos se caracterizan por la presencia de electrones de valencia, que son electrones que se encuentran en la capa más exterior de un átomo y tienen libertad de movimiento. Su símbolo es σ y las unidades SI de conductividad son los siemens por metro (S/m). La conductividad eléctrica de muestras de agua se usa como indicador de la ausencia de sal, iones e impurezas del agua; cuanto más pura es el agua, más baja es la conductividad (más alta es la resistividad). Las mediciones de conductividad en el agua suelen expresarse como conductancia específica, con relación a la conductividad del agua pura a 25 °C.

Proceso de secado: secado de los granos de cacao bajo la luz del sol o en secadoras mecánicas/solares (o una combinación de ambos) con el fin de reducir el contenido de humedad (menos del 8 %) y estabilizarlos para su almacenamiento.

Fermentación: proceso destinado a degradar la pulpa o mucílago e iniciar cambios bioquímicos en el cotiledón a través de las enzimas y los microorganismos inherentes del entorno de la plantación.

Humus: se refiere al compost que se obtiene de manera artificial cuando los residuos orgánicos son descompuestos por organismos y microorganismos beneficiosos

Enmiendas del suelo: cualquier material añadido al suelo para mejorar sus propiedades físicas y químicas. La aplicación de la enmienda depende de las características de los suelos, y puede incluir compost, carbonato de magnesio, vinaza, zeolita (minerales que se hidratan y deshidratan reversiblemente, adsorbentes); carbón vegetal o biochar; sulfato de calcio, cal, cachaza, sulfato de zinc, dolomita (carbonato de calcio y magnesio), vermicompost, caña de azúcar, torta de palma, fosforita y otras materias orgánicas.

Validación: obtener evidencia de que una medida de control o una combinación de medidas de control, si se aplican correctamente, son capaces de controlar los peligros para un resultado especificado.

Muestreo: procedimiento para extraer o formar una muestra. Los procedimientos de muestreo puntual o empírico no tienen base estadística y se usan para adoptar una decisión sobre el lote inspeccionado.

Poda: eliminación anual de ramas secas, enfermas o no equilibradas, de los árboles de sombra y las plantas de cacao.

Sombreado: cultivo de plantas de cacao con árboles de sombra para reducir la cantidad de radiación y viento que llega al cultivo. El sombreado suele ser de alrededor del 50 % durante los primeros 4 años de vida de la planta, después de los cuales el porcentaje de sombra puede reducirse al 25 o al 30 %.

Vinaza: subproducto de la producción de alcohol a partir de la caña de azúcar.

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

4.1 Contaminación antes de la siembra - nuevas plantaciones

11. La prevención y la reducción del Cd en el cacao debe empezar con el análisis fisicoquímico del suelo y formar parte integrante de las prácticas previas a la siembra o al establecimiento de una nueva plantación. Los parámetros del análisis físico son: arena %, arcilla %, limo %, clase de textura. El análisis químico debe tener en cuenta: pH, % de materia orgánica, % 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 saturación de aluminio adecuado para los agricultores, y debe tenerse en cuenta como medida de control CXC 49-2001: Código de prácticas sobre medidas aplicables en el origen para reducir la contaminación de los alimentos con sustancias químicas.
 12. No se ha identificado ninguna recomendación específica sobre los niveles de Cd en las zonas de cultivo de cacao, pero se ha identificado 1,4 mg/kg⁸ como nivel máximo de Cd en el suelo para el crecimiento de otros cultivos, y podría aplicarse a las nuevas plantaciones de cacao. Los niveles de agua pueden ser monitorizados 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, ya que un límite máximo para el Cd en el agua podría ser de 0,005 mg/lit. No obstante, un estudio publicado a nivel nacional en Ecuador sobre el Cd en el cacao en términos de número de árboles recogidos (n=560) permite estimar las concentraciones de Cd en el suelo que se corresponden con concentraciones específicas en los granos de cacao. Los datos muestran que, por ejemplo, para garantizar que las concentraciones medias de Cd en los granos de cacao no excedan significativamente 1 mg Cd/kg, el Cd en el suelo no debe exceder los 0,4 mg Cd/kg para un pH del suelo = 5,0. Para un pH del suelo = 7, las concentraciones de Cd en el suelo no deben exceder 1,0 mg Cd/kg.
 13. Aunque son conocidas las ventajas del sistema agroforestal, los datos del impacto de este en comparación con el monocultivo sobre los niveles de Cd son preliminares. Hay estudios que han comparado de forma sistemática o estadística 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.
 14. Las especies más utilizadas con las musáceas (bananas, moles y cambures) para sombras temporales y las leguminosas como el poró o bucare (*Erythrina sp.*) y guabas (Ingas) para sombras permanentes. Se están usando otras especies de sombra que proporcionan beneficios económicos mayores, como especies madereras (laurel, cedro, abarco (*Cariniana pyriformis*), cenizaro o árbol de la lluvia y terminalia) o frutales (cítricos, aguacates, zapote, árbol del pan, palmera datilera, etc.). Es aconsejable sembrar árboles cortos y utilizar cítricos o frutales para los límites de las plantaciones de cacao.
 15. Instalar las plantaciones en áreas alejadas de carreteras o tomar medidas para reducir la exposición de los cacaotales a los gases que emite la combustión de los vehículos, porque pueden contener cadmio. 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 una fuente de Cd.
 16. Evitar suelos inundables si las fuentes de agua son un origen incrementado de cadmio.
 17. 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.
- ##### 4.2 Desde la fase de producción hasta la cosecha
18. 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

⁸ Decreto Supremo N.º 011-2017-MINAM - Aprobación de las Normas de Calidad Ambiental (NCA) para el Suelo

a Cd, ya que dependiendo de su procedencia puede contener niveles de Cd y convertirse en una fuente para la entrada en el cultivo. Los lodos residuales y las cenizas volantes tienen altas concentraciones de Cd. Los fertilizantes aplicados deben cumplir los criterios especificados en relación con los niveles de Cd.

19. Los análisis de suelo han demostrado una correlación positiva entre los niveles más altos de cadmio en el suelo y en los tejidos de las plantas y los granos de cacao. Además, el análisis de regresión multivariante mostró que las concentraciones de Cd en los granos aumentaban con el incremento del Cd total en el suelo.
20. Los laboratorios de análisis de caracterización de suelos para plantaciones de cacao deben estar acreditados conforme a la norma ISO/IEC 17025:2017, reconocida mundialmente, y deben usar métodos validados, entre los que se incluye el uso de material de referencia certificado, los estándares y la incertidumbre asociada. Además, es muy importante realizar los análisis del suelo con métodos reconocidos internacionalmente (por ejemplo, ratificados por el Codex Alimentarius), como la espectrometría de absorción atómica de llama (F-AAS), la espectrometría de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES), el horno de grafito con espectrometría de absorción atómica (GF-AAS) y la espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS). Estos métodos incluyen los adecuados para los agricultores locales que intentan exportar cacao. Estos análisis no sólo incluyen el Cd, sino también otros nutrientes. En este punto es importante señalar que los suelos bien provistos de nutrientes tienen menos probabilidad de bioacumular Cd.
21. 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. El protocolo debe tener en cuenta las normas internacionales para la toma de muestras en suelos específicamente contaminados con metales.
22. 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 el cloruro. Por ello, es importante determinar la conductividad eléctrica del suelo y agua, que debe ser inferior a 2mS/cm. Parece que estas medidas no serían necesarias si no hay preocupación sobre los niveles de Cd en los granos de cacao.

4.2.1 **Estrategias para inmovilizar el cadmio en el suelo**

23. Cuando el suelo tiene deficiencia de Zn, deben aumentarse los niveles de Zn del suelo. El Cd compite con el Zn, y es más probable que el Cd entre en la planta y se acumule en los granos de cacao cuando la concentración de Zn es baja. Además, se recomienda especificar los niveles críticos de Zn para el cacao tomando como referencia diversos métodos de análisis de muestras, por ejemplo: DTPA, Olsen modificado; con el objetivo de hacer la estrategia más aplicable.
24. La aplicación del sulfato de zinc se realiza con la fertilización equilibrada que se ejecuta anualmente en la plantación de cacao, según los requerimientos del cultivo y del suelo. No obstante, con la adición de sulfato de zinc se produce una acidificación del suelo, lo que requiere la adición de caliza.
25. 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. Sin embargo, es importante conocer el contenido de Cd en estas sales, ya que provienen de minas y son muy variables, por lo que todo depende del origen de las materias primas utilizadas.
26. Los métodos más eficaces desarrollados hasta ahora para disminuir la biodisponibilidad del Cd son el encalado de suelos por debajo de pH 5,5. Cuando el pH es superior a 5,5 hay que saber cómo gestionarlo.
27. Aplicar niveles de encalado en bajas dosis (3 t/ha/año) y preferentemente de dolomita $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ para incrementar gradualmente el pH e incorporar calcio y magnesio, que son esenciales para el crecimiento del cacao y pueden precipitar el Cd disminuyendo su biodisponibilidad. Debe evitarse el sobreencalado.
28. Una mayor cantidad de materia orgánica del suelo causa una menor absorción de Cd y puede contribuir a reducir el Cd en los granos de cacao sobre la base de estudios experimentales. El uso de fertilizantes orgánicos tales como estiércol tratado de ganado estabulado, compost, etc. incrementa el contenido de materia orgánica del suelo y mejora su actividad microbiológica. Unos niveles del 3 al 4 % de materia orgánica en las plantaciones de cacao disminuyen el cadmio en los granos de cacao.
29. Los fertilizantes fosfatados y la fosforita sedimentaria pueden contener Cd como impureza. No obstante, para una producción exitosa de cacao es vital agregar fertilizantes de fosfato porque los suelos tropicales tienen un contenido de fósforo nativo muy limitado. Sin embargo, los productores deben controlar la cantidad de Cd en los fertilizantes fosfatados que utilizan o cumplir con los límites nacionales impuestos por los gobiernos. Además, mediante el uso de fertilizantes orgánicos se puede mejorar el contenido de fósforo del suelo, mientras que estos fertilizantes muestran una alta biodisponibilidad de fósforo.

30. En general, la fórmula de dosificación del nitrógeno, el fósforo y el potasio (NPK) en fertilizantes aplicables al cacao varía según la edad de la planta y las características del suelo. Verificar el análisis de metales pesados antes de la aplicación para asegurarse de que el contenido de Cd es bajo. Los suelos bien provistos de nutrientes tienen menos probabilidad de bioacumular Cd.
31. La aplicación de enmiendas del suelo (carbonato de magnesio ($MgCO_3$), vinaza, zeolita, humus, carbón vegetal, sulfato de calcio ($CaSO_4$), cachaza y sulfato de zinc ($ZnSO_4$), que varían dependiendo de las características de los suelos, puede ayudar a disminuir las concentraciones de cadmio en los granos de cacao.
32. 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.
33. La cal y la torta de caña de azúcar pueden reducir el flujo 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. Además, la apatita (fosforita) sería muy cara en comparación con el uso de la piedra caliza dolomítica para elevar el pH y reducir la fitodisponibilidad de Cd en el suelo.
34. Se ha demostrado que la aplicación de biochar reduce la biodisponibilidad del Cd en los granos de cacao. Las tasas de reducción son comparables al encalado y tienen una influencia aditiva al encalado. Sin embargo, el biochar es una enmienda costosa para el suelo y no es rentable para los agricultores que cultivan cacao.
35. El biochar, el compost y sus combinaciones tienen efectos significativos en las características fisicoquímicas del suelo, la disponibilidad de metales (Cd) y las actividades de las enzimas en suelos muy contaminados por metales. Por lo tanto, mitigan la concentración de Cd en el suelo.
36. Los genotipos identificados con baja bioacumulación de Cd tienen el potencial de ser utilizados como portainjertos en la producción de material de propagación para reducir la absorción de Cd del suelo; además, la mitigación del Cd podría hacerse injertando plantas con portainjertos con bajo contenido de cadmio, obteniendo nuevas variedades que no sean tan propensas a la absorción de Cd y modificando los suelos para reducir la absorción de Cd por parte de las plantas. Once cultivares de la variedad de cacao «Chuncho» de Cuzco (Perú) presentaron un rango de concentración de Cd (mg/kg) de <0,05 a 0,11, por lo que la variedad de cacao «Chuncho» podría usarse para injertar. Además, al realizar nuevas plantaciones se debe recomendar plantar variedades de árboles de cacao que sean menos propensas a la asimilación de cadmio.
37. La cepa *Streptomyces sp.* ejerce actividad de biorremediación, porque reduce la asimilación de Cd en las plantas de cacao. Esto se ha demostrado de forma experimental.
38. Las leguminosas coinoculadas con bacterias que promueven el crecimiento de la planta y son resistentes al Cd, como la *Streptomyces* de la familia de las *Streptomycetaceae*, pueden ser útiles en la fitorremediación de suelos contaminados con Cd y la biofertilización.

4.2.2. **Evitar una mayor contaminación del suelo por cadmio**

39. En las áreas donde los niveles de Cd en el suelo son altos, retirar del suelo el material podado, ya que puede contener Cd que se liberará a las capas superiores del suelo tras descomponerse. La práctica habitual debe consistir en eliminar el material podado del campo de cultivo.
40. Evitar la aplicación de lodos residuales
41. Evitar el enterramiento o la incineración de los residuos domésticos, ya que aproximadamente el 10 % de la basura se compone de metales, incluido Cd. Su enterramiento puede contaminar las aguas subterráneas, mientras que la incineración puede contaminar la atmósfera al liberar metales volátiles y, en consecuencia, contaminar los suelos
42. Tomar medidas al nivel de las autoridades nacionales o regionales para limitar las principales actividades industriales contaminantes cerca de las plantaciones de cacao, como la minería y la fundición no ferrosas, la industria del metal, la combustión de carbón y la fabricación de fertilizantes fosfatados.

4.3 **Etapas de postcosecha**

43. El escurrido del mucílago mejora la calidad sensorial de los granos de cacao en el proceso de fermentación al reducir su acidez. El efecto del tiempo de escurrido del grano se estudió en una tesis de 0, 2, 4 y 6 horas de cacao criollo del Perú que concluyó que el mejor, con una fermentación superior al 80 %, fue el de 4 horas de escurrido, mientras que otra tesis que estudiaba el efecto del tiempo de escurrido sobre el clon CCN51 (granos de cacao que contienen más agua) incluyendo 0, 12, 24, 36 horas concluyó que el de 36 horas fue el mejor con $86,00 \pm 9,63$ de fermentación, mientras que el escurrido de 12 horas tuvo un porcentaje de fermentación de $83,83 \pm 1,48$. Un estudio experimental demostró que el escurrido de la pulpa o del mucílago durante 12 horas

(un tiempo más largo de lo normal) redujo significativamente el contenido de Cd en los granos de cacao de una variedad sin afectar a la calidad física u organoléptica del cacao en el momento de la evaluación. Un estudio experimental demostró que el escurrimiento de la pulpa o del mucílago durante 12 horas (tiempo más largo de lo normal) redujo significativamente el contenido de Cd en los granos de cacao del híbrido clonal (cultivar) CCN-51 sin afectar a la calidad física u organoléptica del cacao en el momento de la evaluación.

44. Tras la fermentación, los granos de cacao deben secarse en superficies sólidas limpias para evitar que sean contaminados por el suelo.
45. 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 o de vehículos.
46. El proceso de fermentación de los granos de cacao debe ser una práctica importante llevada a cabo por cualquier organización de exportación, a fin de reducir los niveles de Cd en sus granos de cacao.
47. Durante el almacenamiento se debe impedir la contaminación de los granos por derrames de combustibles, gases de escape o humos.
48. Cuanto más largo sea el proceso de fermentación (80 %), menor Cd habrá en los granos de cacao. Esta afirmación está confirmada por una publicación científica citada de forma fiable que indica que las concentraciones de Cd disminuyen a medida que avanza la fermentación. Puede reducirse el Cd de los granos si el pH se acidifica lo suficiente durante la fermentación.
49. La cepa de *Saccharomyces cerevisiae* es una de las que intervienen en la fermentación del cacao, por lo que aumentar su población durante ese proceso puede mejorar la absorción de Cd y la inocuidad del cacao.

4.4 Fase de transporte

Proteger el cacao para que no se moje ni se contamine con otros materiales:

50. Cubrir las zonas de carga y descarga para proteger el cacao de la lluvia.
51. Garantizar el buen mantenimiento y la limpieza a fondo de los vehículos.
52. Asegurarse de que las lonas/cubiertas estén limpias y no presenten daños.
53. Asegurarse de que los contenedores no se han utilizado para productos químicos o sustancias nocivas, así como que están bien mantenidos y limpios.
54. 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, con bolsas de gel de sílice.
55. Para el cacao embolsado: cargar las bolsas con cuidado y cubrirlas con materiales que absorban la condensación.
56. Para el cacao a granel: utilice un forro de plástico sellable si es posible y asegurarse de que se mantiene alejado del techo del contenedor.
57. Asegurarse de que los orificios de ventilación de los contenedores no estén obstruidos.
58. Procurar que el cacao no esté expuesto a fluctuaciones de temperatura ni se almacene cerca de materiales nocivos.

APÉNDICE II

DOCUMENTO DE ANTECEDENTES (Para información)

INTRODUCCIÓN

1. El cadmio (Cd) es un metal pesado que entra predominantemente en el medio ambiente a través de actividades antropogénicas como el procesado de minerales, la quema de combustibles y los residuos y la aplicación de fosfatos y fertilizantes con aguas residuales. El cadmio también puede entrar en el suelo de forma natural a través de la actividad volcánica, de la erosión o los aerosoles marinos. El Cd no se encuentra en la naturaleza en estado puro. La actividad volcánica es la principal fuente natural de liberación de Cd a la atmósfera (U.S.E.P.A, citada por Sarabia 2002), y las rocas sedimentarias y los fosfatos marinos son otras fuentes naturales de este metal. Su estado de oxidación más común es +2, por cuya afinidad química se asocia con hierro (Fe), zinc (Zn), plomo (Pb), fósforo (P), magnesio (Mg), calcio (Ca) o cobre (Cu), a través de su "capacidad de intercambio catiónico". Las concentraciones de Cd en el suelo dependen principalmente de su pH, que controla su solubilidad y movilidad. El Cd es un metal pesado tóxico para seres bióticos, persistente en el suelo y su biodisponibilidad cambia dependiendo de las propiedades del suelo. El Cd es absorbido y bioacumulado por los árboles de cacao (*Theobroma cacao* L), lo que resulta en algunos casos en niveles inaceptablemente altos en los granos de cacao que requieren medidas para reducir su absorción de los suelos.
2. Es deseable una mayor adsorción de Cd en la superficie de las partículas del suelo, teniendo en cuenta que esto reduce la movilidad de este contaminante en su perfil y, consecuentemente su impacto ambiental. La concentración de metales pesados (Cd) en la solución del suelo y, en consecuencia, su biodisponibilidad y movilidad se controlan principalmente mediante reacciones de adsorción y desorción en la superficie de los coloides del suelo (Kabata-Pendias y Pendias, 2001). En referencia a los factores del suelo que afectan la acumulación y disponibilidad de metales pesados, Miliarium (2009) citado por Cargua (2010), menciona: pH, textura, material orgánico, óxidos e hidróxidos de Fe y Mn, carbonatos, salinidad y capacidad de intercambio catiónico. Singh y Oeste 2001, citado por Carrillo, M. (2010), mencionan que las técnicas de inmovilización de metales pesados en los suelos, basadas esencialmente en los fenómenos de adsorción, dependen de la naturaleza, la concentración y el estado fisicoquímico del contaminante y de las características del suelo. Es más: el proceso biogeoquímico que controla la movilidad y disponibilidad de cadmio en el suelo depende de la precipitación-disolución, complejidad de quelación-disociación, mineralización-asimilación, protonación-desprotonación, formación de ligandos metal-orgánicos y reacción química de óxido reducción. Asimismo, la importancia relativa de cada proceso depende del tipo de suelo y su pH, la temperatura, la humedad y el estado de la materia orgánica, y está sujeta a efectos rizosféricos.
3. Gutiérrez E. y León C. 2017 reportan que la Confederación Alemana de Confiteros (BDSI) contactó con la Embajada de Colombia en Alemania para informar sobre la problemática de los residuos de metales pesados en el cacao, en especial la presencia de Cd en las importaciones provenientes de América Latina y recomendaron determinar el nivel de cadmio en los suelos de cultivo y en el grano de cacao; en conclusión: si los niveles de Cd en el grano exceden el valor de 0,5 mg/kg se recomienda investigar los orígenes del Cd en los cultivos a fin de tomar las medidas necesarias.
4. El Código de prácticas sobre medidas aplicables en el origen para reducir la contaminación de los alimentos con sustancias químicas (CXC 49-2001) reporta que la ventaja de eliminar o corregir la contaminación de contaminantes químicos medioambientales (que incluye al Cd en el cacao) en su origen, es que el enfoque preventivo es más eficaz para reducir o eliminar el riesgo de efectos adversos para la salud y requiere menores recursos para el control de alimentos y evita el rechazo de productos alimenticios. Es más: enfatiza que es importante prestar atención a lo largo de toda la cadena de producción – procesado y distribución, ya que la inocuidad de los alimentos y la calidad en otros aspectos no pueden ser "inspeccionadas" en el producto al final de la cadena.
5. El Ministerio del Ambiente del Perú aprueba en 2008, a través del Decreto Supremo N.º 002-2008-MINAM, los "Estándares Nacionales de calidad ambiental para agua" y sus parámetros inorgánicos para riego de verduras y bebida de animales, y decreta un valor de 0,005 mg/L para el Cd.
6. Resolución Ministerial (R. M.) de Perú. Ministerio de Agricultura y Riego. 2018. A través de la R.M. N° 0451-2018-MI NAGRI <http://minagri.gob.pe/portal/resoluciones-ministeriales/rm-2018?start=65> aprueba el documento denominado «Lineamientos de muestreo para la determinación de niveles de cadmio en suelos, hojas, granos y productos derivados de cacao» que tiene como objetivo establecer los métodos de referencia para el muestreo de cadmio en suelos, hojas, granos y productos derivados de cacao, con un lenguaje uniforme, de acuerdo a los protocolos nacionales e internacionales, que permita obtener una línea de base oficial a nivel nacional, en las diferentes instituciones del Estado y privadas, con la finalidad de poder planificar adecuadamente las medidas de mitigación y control del cadmio en las zonas cacaoteras donde se haya verificado que existen concentraciones en granos de cacao que están por encima de lo establecido en los

estándares tanto nacionales como internacionales.

Este documento fue elaborado en el marco de la implementación de la Estrategia Cooperación en el País del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), con las opiniones aprobadas de las instituciones que forman el "Grupo Técnico Nacional de Cadmio en Cacao" integrado por la Dirección General Agrícola -DGA, Dirección General de Asuntos Ambientales Agrarios DGAAA, Autoridad Nacional del Agua - ANA, el Servicio Nacional de Sanidad Agraria – SENASA y el Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA del Ministerio de Agricultura y Riego de Perú, con la participación de la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA – Ministerio de Salud del Perú), y precisa las claves de muestreo de: Cd en suelos, hojas de plantaciones de cacao, granos de cacao, Cd en el agua de zonas agrícolas cacaoteras, productos derivados del cacao (pasta de cacao, polvo y chocolate), así como la acreditación de laboratorios y métodos de análisis por entidades a nivel nacional o internacional.

7. La resolución ministerial citada presenta los factores que determinan la absorción de cadmio por las plantas, como se observa a continuación:

Cuadro 1. Factores edáficos y del cultivo que determinan la absorción de Cd en las plantas:

Factores	Efecto en la absorción de cadmio por las plantas
Los factores edáficos incluyen la textura del suelo y la actividad microbiológica de la lista.	
1. pH	La absorción se incrementa cuando disminuye el pH (suelos ácidos)
2. Salinidad del suelo	La absorción se incrementa con la salinidad.
3. Cantidad de cadmio	La absorción se incrementa con la concentración de Cd
4. Micronutrientes	La deficiencia de zinc y manganeso aumentan su absorción
5. Macronutrientes	Pueden incrementar o decrecer la absorción
6. Temperatura	La alta temperatura incrementa la absorción
Factores del cultivo	
7. Especies y cultivares	Verduras>Raíces>Cereales>Frutos Es decir: las verduras absorben más que las raíces, las raíces absorben más que los cereales, y los cereales absorben más que los frutos.
8. Tejido de la planta	Hoja>Grano>Frutos y raíces comestibles
9. Edad de la hoja	Hojas viejas>Hojas jóvenes

Fuente: (McLaughlin, Mike. 2016)

Además, también influye la materia orgánica del suelo: a mayor materia orgánica del suelo menos absorción; el cacao en el sistema agroforestal puede tener valores de Cd más bajos (Gramlich 2017), pero se requiere más trabajo para confirmarlo.

8. John, D. y Leventhal, S. (1995), citando a McKinney y Rogers (1992), mencionó que uno de los metales de mayor interés en los estudios de biodisponibilidad realizados por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) era el cadmio. John y Leventhal también han resaltado que la bioacumulación de metales por biota en aguas superficiales y por plantas y animales en entornos terrestres puede afectar negativamente a los humanos. Es más: en su sección titulada "Specific Metals of Interest - Cadmium" (Metales específicos de interés - Cadmio) enfatizan:
- El potencial de oxidación-reducción de los sistemas de agua sedimentaria ejerce una regulación controladora de la asociación química del Cd particulado, mientras que el pH y la salinidad afectan a la estabilidad de sus diversas formas (Kersten 1988).
 - En entornos anóxicos, prácticamente todo el Cd particulado forma parte de complejos con materia orgánica insoluble o está unido a minerales de sulfuro.
 - La greenockita (CdS), que químicamente es un sulfuro de cadmio, tiene una solubilidad extremadamente baja

en condiciones reducidas, con lo que disminuye la biodisponibilidad del Cd.

- La oxidación del sedimento reducido o la exposición a un entorno ácido se traduce en la transformación de Cd insoluble unido a sulfuros en hidróxido, carbonato y formas intercambiables, más móviles y potencialmente biodisponibles (Kersten, 1988).
 - Estudios de sedimentos lacustres y fluviales indican que la mayor parte del cadmio está unido a minerales de sitio intercambiable, fracción carbonatada y óxido de hierro-manganeso, que pueden estar expuestos a cambios químicos en la interfaz sedimento-agua, y son susceptibles de movilización en agua (Schintu y otros, 1991).
 - En agua oxidada, cercana a la neutralidad, el CdCO_3 limita la solubilidad del Cd^{2+} (Kersten, 1988).
 - En un río contaminado por minería de metales básicos, el cadmio era el metal más móvil y potencialmente biodisponible y era barrido principalmente por minerales calcáreos no detríticos, materia orgánica y minerales de óxido de hierro-manganeso (Prusty y otros, 1994).
 - Un contenido elevado de cloruro en el suelo tiende a favorecer la formación de cloruros compuestos, que disminuyen la absorción del Cd en el sedimento, aumentando en consecuencia la movilidad del Cd (Bourg, 1988) y disminuyendo la concentración de Cd^{+2} disuelto y la biodisponibilidad (Luoma, 1983).
9. La revisión de Smolders (2001) de los factores que afectan la transferencia de cadmio del suelo y el aire a las plantas concluyó que las concentraciones de Cd en las cosechas están fuertemente influidas por las propiedades del suelo que controlan la disponibilidad del Cd en el suelo. Incluso en concentraciones de base de Cd en el suelo es probable que la concentración de Cd en las cosechas exceda los límites de comercialización. Esta situación se ha encontrado en suelos con salinidad por cloruro y con deficiencia de Zn y en cosechas como semillas de girasol o trigo duro, que normalmente contienen altas concentraciones de Cd. La deposición directa del Cd procedente del aire es una ruta potencialmente directa por la que el Cd puede entrar en la cadena alimenticia humana. La evidencia experimental consultada indica que esta vía puede ser obviada en áreas con tasas bajas de depósito de Cd ($<2 \text{ g Cd ha}^{-1}\text{y}^{-1}$, cifras típicas de la mayoría de las áreas rurales en Europa). No obstante, el Cd transportado por el aire puede ser una fuente dominante de Cd en los cultivos si el Cd está claramente elevado ($>10 \text{ g Cd ha}^{-1}\text{y}^{-1}$), una situación que puede producirse en los alrededores de fundiciones pirometalúrgicas.
10. Schneider, L. (2016), en su investigación sobre la aplicación de cal, llevada a cabo en un experimento de campo para el que usó árboles de cacao de 5 a 6 años (CCN-51) en la provincia de Tocache (Perú), mostró que la aplicación superficial de cal en plantaciones de cacao es factible y puede aportar cambios positivos a las propiedades del suelo, incluso en un corto período de tiempo. El encalado permitió un aumento del pH de la capa superior del suelo y un descenso de la disponibilidad de Cd en comparación con los testigos.
11. Barraza y otros (2019), en la primera investigación piloto que empleó una combinación de isótopos de Cd y de mediciones de la concentración, para estudiar los sistemas suelo - cacao, realizaron análisis de 29 muestras de suelos, enmiendas de suelo y órganos de árboles de cacao de fincas orgánicas en Ecuador que cosechan tres cultivares distintos de cacao, concluyeron: primero, la mayor parte de las muestras de suelo de 0 a 80 cm de profundidad tienen una cifra relativamente uniforme de $\delta^{114/110} \text{ Cd}$, de entre - 0,1 0/00 a 0 0/00. No obstante, una muestra de 60-80 cm está agotada en Cd y es isotópicamente más ligera, de acuerdo con una firma de meteorización. Además, dos muestras de suelo superficial (0-5 cm) tienen altas concentraciones de Cd, combinadas con composiciones de isótopos pesados de Cd, de $\delta^{114/110} \text{ Cd} \approx 0,2\%$. Esta firma isotópica específica sugiere que no es probable que el enriquecimiento se derive de fertilizantes orgánicos o minerales fosforados, de contribuciones atmosféricas naturales o antropogénicas o de sedimentos de una corriente cercana. Por el contrario, las adiciones de Cd provienen probablemente de desechos de árboles en descomposición. No obstante, se necesitan más estudios para determinar si los enriquecimientos de Cd reflejan un uso reciente de desechos de árboles como fertilizantes en las plantaciones de cacao o una acumulación natural de Cd procedente de la descomposición de árboles en una escala temporal mucho más larga. En segundo lugar, los granos de los tres cultivares de cacao investigados muestran diferencias en las firmas isotópicas de Cd. Concretamente, los granos de plantas del híbrido CCN-51 no muestran un fraccionamiento solucionable del isótopo de Cd con respecto a las hojas, mientras que el cultivar Nacional, relativamente puro, tiene granos que muestran un menor $\delta^{114/110} \text{ Cd}$ que las hojas, con valores $\Delta^{114/110} \text{ Cd}_{\text{grano-hoja}}$ de -0,34 0/00 y - 0,40 0/00. Los datos pueden sugerir en sí mismos que los cultivares Nacional y CCN difieren en los mecanismos moleculares empleados para la translocación y la retención de Cd entre hojas, vainas y granos de cacao. En resumen, estos resultados sugieren que deben efectuarse estudios más amplios, que combinen el isótopo de Cd y la concentración, para confirmar si esos análisis realmente proporcionan condicionamientos útiles sobre el origen y el ciclo del Cd en los sistemas suelo-cacao y el reparto del Cd dentro de la planta de cacao. El SENASA peruano

sugiere que, en general, pueden existir diferencias entre granos de cacao nativos y granos híbridos CCN-51.

12. El Cuadro 2 muestra los factores que afectan a la biodisponibilidad del Cd en los granos de cacao.

Cuadro 2. Biodisponibilidad de cadmio para granos de cacao

Factor	Efecto en la biodisponibilidad de cadmio para granos de cacao
<p>Nutrientes del suelo y deficiencia de nutrientes específicos.</p> <p>El análisis del suelo debe recomendar los niveles adecuados de fertilización y hacer las correcciones correspondientes; también existe un mayor efecto de dilución.</p>	<p>Los suelos bien provistos de nutrientes tienen menos probabilidad de bioacumular Cd.</p>
<p>Óxidos e hidróxidos de Fe y Mn</p>	<p>Eliminan la biodisponibilidad potencial del Cd. Se controlan principalmente por reacciones de adsorción y desorción en la superficie de los coloides del suelo.</p>
<p>pH del suelo</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Cuando más alta sea la acidez, más alto será el nivel de acumulación de Cd. • Reduce la biodisponibilidad de cadmio y su asimilación por parte de los tejidos
<p>Contenido de materia orgánica (M.O.)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Reacciona con el Cd formando quelatos y el Cd queda en una posición no disponible para las plantas. • La materia orgánica permite una mayor capacidad de intercambio catiónico. • En condiciones de acidez, la M.O. del suelo gobierna la disponibilidad de cadmio. • Proporciona carbono a los microorganismos del suelo al aumentar su actividad enzimática, volatilizando el Cd. • Tienen sitios de carga negativa en sus superficies que absorben y retienen iones de carga positiva (cationes) por fuerza electrostática.
<p>Encalado</p> <p>Aplicar antes de la siembra, dependiendo de las características del suelo; debe repetirse cada 2 o 3 años.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Aumenta el pH en la parte superior del suelo. • Reduce la disponibilidad de Cd. • Los métodos más eficaces desarrollados hasta ahora para disminuir la biodisponibilidad del Cd son el encalado de suelos cuando el pH es inferior a 5,5. • Aplicar en bajas dosis (2 a 3 TM/Ha de dolomita) para incrementar gradualmente el pH e incorporar Ca y magnesio esenciales para el crecimiento del cacao y precipitar el Cd.
<p>Biochar, compost y sus combinaciones.</p> <p>Estas enmiendas son fuentes orgánicas (aportan carbono). Biochar tiene una superficie específica superior y una mayor capacidad para retener metales pesados.</p>	<p>Tienen efectos significativos en la disponibilidad de metales pesados (Cd) en suelos altamente contaminados, en las características fisicoquímicas del suelo y en las actividades enzimáticas en suelos contaminados con metales pesados.</p>
<p>Textura del suelo</p>	<p>Mayor acumulación en texturas medias (cal) que, a su vez, es mayor que en texturas finas (arcillas) y que, a su vez, es mayor que en texturas gruesas (arena).</p>

Factor	Efecto en la biodisponibilidad de cadmio para granos de cacao
Alto contenido de cloruro	Tiende a favorecer la formación de cloruros compuestos, que reduce la absorción en el sedimento aumentando la movilidad del Cd y reduciendo la concentración y la biodisponibilidad de Cd ⁺² .
Agua oxidada, casi neutra	Limita la solubilidad del Cd ⁺²
El carbonato de Cd	Limita la solubilidad del Cd ⁺²
Greenockita (Cds), que químicamente es un sulfuro de cadmio	Como tiene una solubilidad extremadamente baja en condiciones de reducción, desciende la biodisponibilidad.
Textura del suelo	Mayor acumulación en texturas medias (lodo) que, a su vez, es mayor que en texturas finas (arcillas) y que, a su vez, es mayor que en texturas gruesas (arena).
Cultivos de hojas	Son acumuladores de Cd
Biochar, compost y sus combinaciones	Tienen efectos significativos en la disponibilidad de metales pesados en suelos altamente contaminados
Fermentación y pH	Cuanto mayor es la fermentación (80 %), menor es la cantidad de cadmio en los granos de cacao. Puede reducirse el Cd de los granos si el pH es suficientemente ácido durante la fermentación.
Minerales de óxido de Fe y Mn	Eliminan la biodisponibilidad potencial del Cd.
Variedades de cacao. Estrategia genética de injertos	Algunos genotipos de cacao tienen una baja bioacumulación de Cd. Con las variedades de baja acumulación de Cd, es una opción viable para su propagación.
Nutrientes del suelo	Los suelos bien provistos de nutrientes tienen menos probabilidad de bioacumular Cd.
Cobertura con cultivos de leguminosas perennes	Esos cultivos mejoran la materia orgánica del suelo, protegen de la erosión y reducen la pérdida de nutrientes, mejorando así la productividad del suelo al reducir la biodisponibilidad de Cd.
La concentración del estado físico y químico del contaminante en el suelo	El proceso biogeoquímico que controla la movilidad y disponibilidad de Cd en el suelo depende de la precipitación-disolución, complejidad de quelación-disociación, mineralización-asimilación, protonación-desprotonación, formación de ligandos metal-orgánicos y reacción química de óxido reducción.
Enmiendas del suelo (CO ₃ Mg, vinaza, zeolita, humus, charcoal, SO ₄ Ca, cachaza y SO ₄ Zn)	<ul style="list-style-type: none"> • Dependiendo de las características del suelo, pueden servir para reducir las concentraciones de Cd en los granos de cacao. • La vinaza promueve la instalación de hongos que forman micorrizas en las raíces del árbol del cacao, incrementando la eficiencia en la nutrición de P e inmovilizando el Cd.
Contaminación geológica natural	La presencia de árboles de cacao en áreas cercanas a centros mineros o volcánicos influye en la bioacumulación de Cd.
Fertilizantes	Los fertilizantes de P aplicados conforme a pruebas realizadas en el suelo pueden ser útiles para aumentar el crecimiento y, en consecuencia, para diluir el aumento de Cd en las plantas.

Factor	Efecto en la biodisponibilidad de cadmio para granos de cacao
Cd total	El Cd total en el suelo es irrelevante; es más importante el cadmio disponible.
Capacidad de Intercambio Catiónico	Reduce la fitodisponibilidad de Cd; es el área de superficie de los óxidos de Fe y Mn y la capacidad de quelación de la materia orgánica lo que adsorbe Cd y reduce la fitodisponibilidad. Las arcillas en suelos de CEC más altos generalmente están recubiertas con óxidos hidratados de Fe y Mn, por lo que las arcillas se correlacionan con la adsorción de Cd.
Factores del suelo, incluidos: pH, textura, material orgánico, óxidos e hidróxidos de Fe y Mn, carbonatos, salinidad y capacidad de intercambio catiónico.	Afectan a la acumulación y disponibilidad del Cd.
Reacciones de absorción y desorción en la superficie de los coloides del suelo	Están controladas la concentración de Cd en la solución del suelo y su biodisponibilidad y movilidad.
La concentración total, la especiación (formas física o química) de metales, mineralogía, pH, potencial de oxidación-reducción, temperatura, contenido orgánico total, volumen de agua, transporte por viento, velocidad del agua, duración y disponibilidad del agua, especialmente en entornos áridos y semiáridos, el transporte por viento y la eliminación de la atmósfera por precipitación (muchos de estos factores varían por estación y temporada y están interrelacionados).	Estos factores predisponen que la accesibilidad de un nutriente mineral a procesos metabólicos y fisiológicos normales en el agua superficial y subterránea, sedimentos y aire, afecte a la biodisponibilidad del Cd.

Fuente: Preparado por el GTE, partiendo de las referencias revisadas

2. DEFINICIONES

Brotos: vástago, esqueje o tallo que vuelve a brotar en las plantas de cacao.

Grano de cacao: semilla del fruto del cacao, compuesta de epispermo (tegumento), embrión y cotiledón.

Vaina de cacao: pericarpio del fruto del cacao que surge de la pared del ovario maduro de una fruta.

Epispermo o tegumento: capa que protege la semilla, también se llama «cáscara» cuando se seca. La parte más externa de las dos capas que constituyen el tegumento se denomina testa.

Pulpa o mucílago: sustancia acuosa, mucilaginoso y ácida en la que están incrustadas las semillas.

Recolección y apertura de la fruta: el fruto se recoge manualmente y se abre con una hoz, machete o palo de madera.

Aerosoles marinos: Son los aerosoles naturales más omnipresentes en la región oceánica. Los aerosoles son uno de los principales componentes del forzamiento radiativo del sistema terrestre. Amplias mediciones revelan que los procesos asociados con el estallido de la espuma y la rompiente de las olas son los que generan principalmente los aerosoles marinos. Además, O'Dowd Colin D y de Leeuw Gerrit (2007) concluyeron que, en términos de aerosoles marinos primarios, los estudios han confirmado un flujo significativo de partículas submicrométricas, incluso inferiores a 10 micrómetros, y está claro que, al igual que la velocidad del viento, la temperatura de la superficie del mar también afecta a la función de la fuente física de los aerosoles marinos. En términos de formación de aerosoles marinos secundarios, importantes avances han identificado la producción de partículas, al menos en zonas costeras donde los óxidos de yodo se consideran la especie dominante que lleva

a la producción de partículas. También pueden estar contribuyendo al crecimiento de productos de la oxidación del isopreno y ácidos sulfúricos.

Biorremediación: uso de organismos vivos, principalmente microorganismos, para degradar contaminantes ambientales en formas menos tóxicas.

Fitorremediación: proceso de biorremediación que usa varios tipos de plantas para eliminar, transferir, estabilizar o destruir contaminantes en el suelo y en el agua subterránea.

Emisiones atmosféricas: El Sistema de Contabilidad Ambiental y Económica de la ONU (SCAE) las define como materiales gaseosos o partículas no deseados que se vierten a la atmósfera como resultado directo de las actividades de producción, acumulación o consumo de la economía.

Rastreabilidad: capacidad de seguir el movimiento de un alimento a lo largo de las fases específicas de producción, procesado y distribución, a través del uso de registros.

Geodisponibilidad: la geodisponibilidad de un elemento o compuesto químico de un material terrestre es la porción de su contenido total que puede liberarse en la superficie o próximo a la superficie (o biosfera) mediante procesos mecánicos, químicos o biológicos naturales.

Adsorción, absorción y desorción: la adsorción física, química o por intercambio es un concepto que se refiere a la atracción y la retención que ejerce la superficie de un cuerpo sobre iones, átomos o moléculas pertenecientes a un cuerpo diferente. La absorción es un término que se refiere a la amortiguación que ejerce un cuerpo ante una radiación que lo atraviesa; a la atracción desarrollada por un sólido sobre un líquido con la intención de que sus moléculas penetren en su sustancia; a la capacidad de un tejido o una célula de recibir un material que viene del exterior. La desorción es el proceso de eliminar una sustancia adsorbida o absorbida.

Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC): medida de la capacidad que tiene un suelo para retener iones positivos. Es una importante propiedad del suelo que influye en la estabilidad de la estructura del suelo, la disponibilidad de nutrientes, el pH del suelo y la reacción del suelo a los fertilizantes y otros mejoradores (Hazleton y Murphy 2007). Las arcillas minerales y los componentes orgánicos del suelo tienen cargas negativas en sus superficies que absorben y retienen iones positivos (cationes) por la fuerza electrostática. Dicha carga eléctrica es crítica para el suministro de nutrientes a las plantas porque muchos nutrientes existen como cationes (por ejemplo, magnesio, potasio y calcio).

Reacción de oxidación-reducción: reacciones de oxidación y reacción que ocurren simultáneamente y son inseparables (si un átomo pierde un electrón, otro gana un electrón, completando así el ciclo de oxidación-reducción).

Reacción de complejación: es una reacción que forma un «complejo». Además, la reacción entre un catión y uno o más aniones es muy importante en los sistemas de suelos. Los complejos de metales son especies estables que tienen menos probabilidad de participar en reacciones de sorción, precipitación e incluso de oxidación-reducción.

Conductividad eléctrica: la conductividad eléctrica en metales es el resultado del movimiento de partículas con carga eléctrica. Los átomos de los elementos metálicos se caracterizan por la presencia de electrones de valencia, que son electrones que se encuentran en la capa más exterior de un átomo y tienen libertad de movimiento. Su símbolo es σ y las unidades SI de conductividad son los siemens por metro (S/m). La conductividad eléctrica de muestras de agua se usa como indicador de la ausencia de sal, iones e impurezas del agua; cuanto más pura es el agua, más baja es la conductividad (más alta es la resistividad). Las mediciones de conductividad en el agua suelen expresarse como conductancia específica, con relación a la conductividad del agua pura a 25 °C.

Proceso de secado: secado de los granos de cacao bajo la luz del sol o por medios mecánicos y secadoras solares (o una combinación de ambos) con el fin de reducir el contenido de humedad y estabilizarlos para su almacenamiento.

Fermentación: proceso destinado a degradar la pulpa e iniciar cambios bioquímicos en el cotiledón a través de las enzimas y los microorganismos inherentes del entorno de la plantación.

Enmiendas del suelo: se refieren a cualquier material añadido al suelo para mejorar sus propiedades físicas y químicas. Las aplicaciones de enmiendas dependen de las características de los suelos. Las enmiendas recogidas en los estudios para la elaboración de este CDP fueron: compost (humus obtenido de forma artificial cuando la basura orgánica es descompuesta por organismos y microorganismos beneficiosos), carbón vegetal o biochar, carbonato de magnesio, vinaza (un subproducto de la producción de alcohol de azúcar de caña), zeolita (minerales que destacan por su capacidad de hidratar y deshidratar de forma reversible, adsorbentes); sulfato

de calcio, caliza, cachaza (subproducto del azúcar de caña), sulfato de zinc, dolomita (carbonato de calcio y magnesio), vermicompost, azúcar de caña, torta de palmiste, roca fosfatada, materia orgánica.

Validación: obtener evidencia de que una medida de control o una combinación de medidas de control, si se aplican correctamente, son capaces de controlar los peligros para un resultado especificado. (CXC 1-1969), apoyado por (CXG 69-2008).

Muestreo: procedimiento para extraer o formar una muestra. Los procedimientos empíricos o puntuales son procedimientos de muestreo que no se basan en estadísticas y se utilizan para adoptar una decisión acerca del lote inspeccionado (CXC 50-2004).

Agricultura orgánica

El Comité del Codex sobre Etiquetado de los Alimentos declara en sus *Directrices para la producción, elaboración, etiquetado y comercialización de alimentos producidos orgánicamente* (CXG 32-1999) que la agricultura orgánica es un sistema holístico de gestión de la producción que fomenta y mejora la salud del agroecosistema, y en particular la biodiversidad, los ciclos biológicos, y la actividad biológica del suelo. Hace hincapié en el empleo de prácticas de gestión prefiriéndolas respecto al empleo de insumos externos a la finca, teniendo en cuenta que las condiciones regionales requerirán sistemas adaptados localmente. Esto se consigue empleando, siempre que sea posible, métodos culturales, biológicos y mecánicos, en contraposición al uso de materiales sintéticos, para cumplir cada función específica dentro del sistema. Un sistema orgánico de producción está diseñado para:

- a) Mejorar la diversidad biológica del sistema;
- b) Aumentar la actividad biológica del suelo;
- c) Mantener la fertilidad del suelo a largo plazo;
- d) Reciclar desechos de origen animal o vegetal para devolver los nutrientes al sistema, minimizando el uso de fuentes no renovables;
- e) Contar con recursos renovables en sistemas agrícolas localmente organizados;
- f) Promover el uso saludable del agua, el suelo y el aire, así como reducir al mínimo todas las formas de contaminación que pueden resultar de la producción agrícola;
- g) Manejar los productos agrícolas en su procesamiento con el cuidado de no perder la integridad orgánica y las cualidades vitales del producto en el proceso;
- h) Establecerse en fincas después de un período de conversión, cuya duración estará determinada por factores específicos de cada sitio, tales como el historial del terreno y el tipo de cultivos y ganado producidos.

Poda

Rodríguez, T. (2002) citado por Torres, O. (2016) menciona que es suficiente una poda anual, pero debería ser lo más completa posible. Primero deben podarse los árboles de sombra y después las plantas de cacao, de las que deben eliminarse las ramas secas, enfermas o que deterioran el equilibrio de la planta. La retirada de brotes y la limpieza general debe hacerse varias veces al año, siempre que sea necesario para mantener un desarrollo saludable y adecuado del árbol y la cosecha.

Sombreado

Alvim (2000), citado por Torres, O. (2016), expresa que el cacao es típicamente un cultivo umbrófilo. El objetivo del sombreado al principio de la plantación es reducir la cantidad de radiación que recibe el cultivo, para reducir la actividad de la planta y para proteger el cultivo de vientos que pueden dañarlo. Cuando el cultivo ya está establecido, el porcentaje de sombra puede reducirse al 25 o al 30 %.

3. Estrategias para la mitigación de cadmio en los granos de cacao

13. Para evitar la bioacumulación de Cd en los granos de cacao se requiere la implementación de diferentes estrategias, considerando las particularidades de cada sistema agroecológico y del sistema de producción (orgánica o convencional o cacao en un sistema agroforestal), de manera que contribuyan en conjunto a mitigar los niveles de Cd en aquellas plantaciones que lo requieran.

3.1. De acuerdo con los trabajos de investigación disponibles se recomienda:

3.1.1. En plantaciones nuevas:

14. Instalar plantaciones en suelos agrícolas que tengan menos de 1,4 mg/kg de Cd total (CCME de Canadá, 1999; DS 011-2017 MINAM Perú). Es más: los límites para el Cd en el suelo en nuevas plantaciones deberían estar

relacionados con las propiedades del suelo: principalmente el pH, el cloruro y el Zn del suelo serían importantes en las decisiones del lugar de instalación, mientras que serían menos importantes la materia orgánica, la arcilla, y los óxidos de Fe y Mn.

15. Utilizar un diseño de plantaciones mixtas (agroforestales) con diversas variedades de cacao y con diferentes tipos de sombra (plátanos, inga, etc.), adaptadas a cada ambiente ecológico, en vez de monocultivo de cacao, sin sombra. Comentario de Suiza: Aunque Gramlich (2017) demostró que podría haber un efecto positivo, se necesita más investigación en este campo. El representante de la Asociación de Exportadores ADEX – Perú expresa que, según evaluaciones realizadas en fincas ya en producción, el sistema agroforestal funciona bien en los primeros 2-3 años de plantación, pues las plantas jóvenes se desarrollan mejor bajo sombra, lo que les ayuda a resistir mejor los períodos de sequía naturales de la zona. En plantas adultas, la sombra favorece la proliferación de enfermedades (moniliasis y escoba de brujas).

Fuentes: <http://www.senasa.gob.pe/senasa/moniliasisdel-cacao/>; <http://www.agrobanco.com.pe/wp-content/uploads/2017/07/010-f-cacao CULTIVOS.pdf>

16. Instalar las plantaciones en áreas alejadas de carreteras o tomar medidas para prevenir el contacto de los cacaotales con los gases que emite la combustión de los vehículos, porque pueden contener cadmio. Asimismo, se ubicarán en áreas alejadas de vertederos urbanos o de zonas mineras. A este respecto, en las granjas grandes de cacaotales, las carreteras deben ser una consideración importante y estar a una distancia de al menos 200 metros (SMIARC Technoguide 2014). La FDA de EE. UU. observa que el tráfico rodado no es una fuente práctica de Cd. y que los neumáticos son muy bajos en Cd pero muy ricos en Zn y no hay riesgo de Cd. También indica, que durante un período comprendido entre la década de 1970 y aproximadamente el año 2000, algunos radiadores de automóviles utilizaron soldaduras de Cd, pero ahora ya han dejado de usar Cd. Como la gasolina no contiene Cd, los gases de escape no causan contaminación de Cd. La FSVO de SUIZA enfatiza que los sedimentos del agua contaminada de las zonas mineras podrían constituir un problema lejos del centro minero ya que, dependiendo del tamaño de la partícula emitida, la distancia de deposición puede estar lejos de la fuente emisora.
17. En nuevas plantaciones, debe considerarse el uso de cultivos de cobertura de leguminosas perennes. Los cultivos de cobertura mejoran la materia orgánica del suelo. Los cultivos de cobertura pueden proteger el suelo de la erosión y reducir la pérdida de nutrientes, mejorando así la productividad del suelo a través de una mayor disponibilidad de nutrientes esenciales y de la reducción de la toxicidad de los metales pesados (comentario de la FDA de los EE.UU.).

3.1.2. **En plantaciones ya instaladas:** Estrategias para inmovilizar el cadmio en el suelo y disminuir su disponibilidad en el suelo

18. Guo, G., y otros (2006) mencionan que las enmiendas orgánicas para la inmovilización del cadmio son: serrín de corteza (de la industria maderera), chitosán (de la industria de enlatado de carne de cangrejo), gallinaza (de granjas avícolas), estiércol de ganado (de granjas ganaderas), cáscara de arroz (del procesado del arroz), lodos residuales, hojas y paja. Al mismo tiempo, aporta las siguientes enmiendas inorgánicas: cal (de fábricas de cal), sales de fosfato (de plantas fertilizadoras), hidroxapatita (de fosforita), cenizas volantes (de plantas de energía térmica) y escoria (de plantas de energía térmica).
19. Incrementar los niveles de Zn y Mn en el suelo. Se ha demostrado que cuando hay deficiencia de estos micronutrientes, el Cd tiene más probabilidades de entrar en la planta y el grano del cacao. El análisis científico muestra que el desequilibrio entre los micronutrientes y el Cd tiene un gran impacto en la absorción de Cd y el alto contenido de Cd en el grano de cacao. Para las plantaciones "orgánicas", no hay fuentes comerciales "orgánicas" de Zn, excepto los minerales molidos, pero los minerales contienen Cd en aproximadamente el 1 % del contenido de Zn y no deben utilizarse como fertilizantes de Zn "orgánicos". Además, puede ser posible que la aplicación de ZnSO₄ u otras sales solubles de Zn o quelatos en las hojas de los árboles de cacao puedan ser capaces de inhibir la transferencia de Cd a los frutos. Se ha demostrado que los aerosoles de Zn reducen la translocación de Cd a varios granos de cacao en las pruebas de campo. La capacidad del aerosol de Zn para inhibir el movimiento de Cd a los frutos de cacao podría evaluarse mediante un ensayo de campo de varios años. La acción del aerosol de Zn en las hojas es independiente de los posibles efectos del uso de fertilizantes de Zn para inhibir la absorción de Cd por las raíces (téngase en cuenta nuevamente la necesidad de incluir piedra caliza para contrarrestar la acidificación resultante de la aplicación de ZnSO₄ u otras sales de Zn a los suelos).
20. Aplicar niveles de encalado en bajas dosis (3 t/ha/año) y de preferencia dolomita [CaMg (CO₃)₂] para incrementar gradualmente el pH e incorporar calcio y magnesio que son esenciales para el crecimiento del cacao y pueden precipitar al Cd disminuyendo su biodisponibilidad. Esto requiere una investigación más amplia, debido a que existen variedades de cacao que crecen bien en suelos ligeramente ácidos, y podrían verse afectadas por

el incremento del pH. Es importante reconocer que la aplicación superficial de “productos de cal” en fincas cacaoteras establecidas no puede aumentar el pH de la zona de las raíces durante décadas, debido a la baja solubilidad en agua del CaCO_3 y, en consecuencia, a la baja tasa de lixiviación de alcalinidad desde las enmiendas calizas aplicadas en la superficie. Varios estudios de métodos para elevar el pH de las capas de suelo subsuperficiales han constatado que la combinación de materia orgánica biodegradable con productos de cal permite que el metabolismo de la materia orgánica proporcione una manera de obtener la lixiviación de la alcalinidad en el suelo subsuperficial (véase Brown et al., 1997; Tester et al., 1990; Liu y Hue et al. 2001; y Tan et al., 1986). Ramtahal et al., 2019, concluyó al estudiar el biochar y las enmiendas de caliza con experimentos in vitro, en invernaderos y en el campo, que su estudio implica que las dos enmiendas con complementarias en su acción respectiva y pueden usarse en los niveles recomendados para reducir la bioacumulación de Cd. No obstante, se necesitan más estudios sobre el uso de enmiendas para mejorar su eficacia y longevidad, especialmente en condiciones de campo. Además, es importante ajustar los niveles de cal partiendo de análisis de suelo realizados por un laboratorio de análisis reconocido. El Cd en suelos no puede ser obligado a precipitar, excepto en suelos altamente calcáreos. En cambio, elevar el pH hace que el Cd del suelo sea absorbido más fuertemente por los óxidos de Fe y Mn y la materia orgánica en el suelo. Debe evitarse el sobreencalado. La FSVO (Oficina de veterinaria e inocuidad alimentaria) de Suiza menciona que no se han publicado investigaciones de campo en plantaciones existentes para mostrar la dosis, etc., y su efecto sobre la absorción de Cd y la concentración de Cd en el grano.

21. Un experimento de campo ejecutado durante 18 meses, para evaluar la eficacia del encalado sobre el pH, la biodisponibilidad de Cd en suelos y su asimilación por parte de los tejidos de cacao, concluyó que parece viable la remediación de suelos contaminados con Cd, mediante técnicas de encalado, para reducir la asimilación de Cd, partiendo de los resultados de laboratorio y pruebas de campo en Trinidad y Tabago (Ramtahal, G. et al. 2018).
22. Incrementar el contenido de materia orgánica del suelo y mejorar su actividad microbiológica utilizando fertilizantes o abonos orgánicos tales como estiércoles tratados de ganado estabulado en granjas, compost, bocashi, entre otros. Para esta acción es importante conocer previamente los contenidos de Cd en los insumos a utilizar. El Cuadro N.º 2 muestra aportes estimados, rango mínimo a máximo de Cd agregados a suelos agrícolas por diferentes fuentes (mg/kg) y el Cuadro N.º 3 exhibe la concentración de cadmio en rocas.

Cuadro 3. Aportes estimados de metales pesados agregados a suelos agrícolas por diferentes fuentes (mg/kg): Rangos mínimos a máximos.

Metal pesado	Fertilizantes fosfatados	Fertilizantes nitrogenados	Fitosanitarios (plaguicidas)	Estiércol	Lodos de aguas residuales
Cd	0,1- 170	0,05-8,5	1,38-1,94	0,3-0,8	2-1500

Fuente: Sánchez, 2003; Mico, 2005; Peris, 2006; Delgado, 2008. Citados por Rueda, Rodríguez y Madriñán, 2011

Cuadro 4. Concentración de cadmio en rocas

Tipo de roca	Rango mg/kg	Promedio mg/kg
Rocas ígneas		
Riolitas	0,03-0,57	0,230
Granitos	0,01-1,60	0,200
Basalto	0,01-1,60	0,130
Rocas sedimentarias		
Esquistos y arcillas	0,017-11	-
Esquistos negros	0,30-219	-
Piedras areniscas y conglomerados	0,019-0,4	-

Tipo de roca	Rango mg/kg	Promedio mg/kg
Carbonatos	0,007-12	0,065
Fosforitas	<10-980	-
Carbón	0,01-300	-
Yacimientos minerales de azufre		
Esfalerita (SZn)	0,02-0,4 (<5 %)	-
Galena (SPb)	<0,5 %	
Tetrahedrita, tennantita (CuSZn)	0,24 %	
Metacinnabar (HgS)	11,70	

Fuente: Alloway, 1995

23. Para proporcionar más información sobre la influencia de las prácticas agrícolas, se han revisado los medios aritméticos (que son una mejor medida de la tendencia central) con el fin de explicar mejor la inferencia estadística de las concentraciones de cadmio expuestas en el Cuadro 2. Los siguientes párrafos muestran algunas fuentes citadas por Rueda, Rodríguez y Madriñán (2011);
24. De Meeûs, C.; Eduljee, G.H.; Hutton, M. (2002), citados por Mico (2005), descubrieron en 1989 que la contribución media de Cd proveniente de fertilizantes de fosfato era aproximadamente de 2,5 g de Cd por Ha y año, para suelos agrícolas de la Unión Europea, lo que viene a suponer el 50 % de la contribución total en suelos no afectados por otras actividades contaminadoras como, por ejemplo, la industria.
25. Mico (2005) citaba algunos estudios (por ejemplo: Jinadasa, K.B.P.N.; Milham, P.J.; Hawkins, C.A.; Cornish, P.S.; Williams, P.A.; Kaldor, C.J.; Conroy, J.P.; 1997) que corroboran los resultados citados en el párrafo anterior, pues encuentran contenidos superiores de Cd en suelos cultivados (una media de 1,3 mg/kg) que en suelos no cultivados (una media de 0,36 mg/kg), debido al uso intensivo de fertilizantes de fosfato.
26. Mico (2005) descubrió en su estudio comparativo de contenidos totales de metales pesados (en mg/kg de suelo seco) en suelos con diferentes texturas ($\bar{X} \pm DE$) los siguientes valores de Cd para: Texturas finas (n=36) $0,34 \pm 0,17$; texturas medias (n=15) $0,35 \pm 0,25$; texturas gruesas (n=3) $0,26 \pm 0,22$; concluyó que la secuencia de acumulación de metales pesados sigue el siguiente orden, dependiendo de la textura del suelo: Cd: Texturas medias > Texturas finas > Texturas gruesas, y que, en el caso del Cd, los suelos con texturas medias contienen un valor medio ligeramente superior que aquellos con texturas finas, aunque ambos resultados son similares y pueden considerarse comparables.
27. Mico (2005) descubrió que los contenidos extraíbles de Cd en la zona de estudio iban de 0,01 mg/kg (MPA - 02 y 28) a 0,14 mg/kg (MPA - 18 y MPA - 47), con un valor medio de 0,08 mg/kg. Además, informa de que, en el terreno internacional, McLaughlin, M.J.; Maier, N.A.; Ryament, G.E.; Sparrow, L.A.; Berg, G.; McKay, A.; Milham, P.; Merry, R.H.; Smart, M.K. (1997) han obtenido un valor medio de 0,18 mg/kg en suelos cultivados con patatas en Australia; mientras que McGrath (1996) ha obtenido un valor medio de 0,52 mg/kg en suelos agrícolas en Irlanda.
28. Peris (2006) estudió los suelos con cultivos hortícolas en la provincia de Castellón, España, de 77 muestras extraídas en parcelas elegidas aleatoriamente. Las parcelas fueron caracterizadas por el análisis de las características del suelo y las propiedades edáficas y por el contenido total y extraíble de metales pesados (Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn) en los suelos. Además, se analizaron en 30 parcelas los contenidos de metales en tres cultivos característicos del área de estudio, como son la acelga, la lechuga y la alcachofa. Los resultados obtenidos fueron:
 - Los suelos son generalmente básicos (pH=8,1 de valor medio; con una variación entre 7,5 y 8,5) y carbonados (32,8 % de valor medio; con una variación entre 8,8 y 65,7 %).
 - En el 66 % de las parcelas, la conductividad eléctrica del extracto de la pasta de suelo saturado indica que son suelos sin problemas de salinidad (<2 dS/m), en el 31 % de las parcelas puede haber problemas de salinidad, dado que los suelos son ligeramente (2-4 dS/m) o moderadamente salinos (4-8 dS/m), y en el 3 % de las parcelas, los suelos son fuertemente salinos (>8 dS/m).

- El contenido de materia orgánica es alto e incluso muy alto en algunas parcelas (4,2 % de valor medio, con una variación del 1,8 al 10,2 %). La capacidad de intercambio catiónico de suelos es de muy baja a alta (18,3 cmolc (+)/kg de valor medio; con una variación de 3,4 a 39.6 cmolc (+)/kg) y la textura es principalmente franca, franca-arcillosa o franca-limosa.
- Las concentraciones medias de metales “pseudototales” (mg/kg) en el área de estudio son: 0,328 para Cd, 55,8 para Pb y 78,5 para Zn. Estos resultados reflejan en su mayor parte niveles normales para suelos agrícolas, partiendo de la comparación con otros estudios descritos en la literatura. Por consiguiente, las prácticas agrícolas en la zona no parecen aportar generalmente un nivel excesivo de metales.
- Los resultados de análisis multivariados muestran la existencia de dos grupos de metales pesados con un origen distinto. El primer grupo está formado por Fe, Ni, Co y Mn, y su origen en las parcelas analizadas se debe principalmente a la alteración del material original. Por consiguiente, este grupo se ha denominado factor litogénico. El segundo grupo está formado por Cd, Pb, Cu, Cr y Zn, que se agrupan por tener generalmente un origen antropogénico en las parcelas, por lo que se denomina factor antropogénico.
- El contenido de fracciones extraíbles de ácido etilendiaminotetraacético (EDTA), con respecto a su contenido “pseudototal” es menor al 10 % para Co, Cr, Fe y Ni, del 10 % para Mn y de más del 10 % para Cd (38 %), Pb (19 %), Zn (17 %) y Cu (15 %). Estos resultados indican que los metales con el mayor potencial de transferencia (movilidad) en los suelos estudiados son Cd, Cu, Pb y Zn, probablemente debido a su origen antropogénico en el área de estudio.
- Además del contenido “pseudototal”, la concentración de la fracción extraíble también está influida por las características y las propiedades del suelo. Esto es: las correlaciones o las líneas de regresión indican que la fracción extraíble de EDTA de Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Pb está positivamente relacionada con la CEC y negativamente relacionada con los carbonatos. No obstante, la característica edáfica que más influye al Zn extraíble es la arcilla. Además, para algunos metales, son importantes las relaciones establecidas entre la fracción extraíble con EDTA y el contenido “pseudototal” de otros metales. En general, las fracciones extraíbles están relacionadas con los contenidos “pseudototales” de metales con un origen similar. Esto es: las fracciones extraíbles de metales que tienen un origen litogénico están relacionados con los “pseudototales” de metales de origen litogénico, mientras que los metales de origen antrópico están relacionados entre ellos.
- Se tomaron muestras en las parcelas con lechuga, acelga o alcachofa. Las concentraciones de metales en los cultivos se agrupan en cultivos de hoja (lechuga y acelga) y cultivos de inflorescencia (alcachofas). Esto es: los contenidos medios de metales, expresados en mg/kg de peso en seco, en cultivos de hoja son de 1,47 para Cd, 0,57 para Co, 3,35 para Cr, 13,2 para Cu, 431 para Fe, 63 para Mn, 3,84 para Ni, 1,99 para Pb y 41,7 para Zn, mientras que para cultivos de inflorescencia son de 0,24 para Cd, no puede cuantificarse para Co, 0,68 para Cr, 8,7 para Cu, 65 para Fe, 21 para Mn, 1,32 para Ni, 0,28 para Pb y 44,3 para Zn. Por consiguiente, los elementos con la concentración más alta son los micronutrientes (Cu, Fe, Mn y Zn). Los resultados obtenidos de las concentraciones de metales en los cultivos incluidos en el muestreo parecen indicar que, en general, no deben tener problemas para desarrollarse adecuadamente. No obstante, algunos cultivos presentan valores demasiado altos de algunos metales, específicamente una muestra de Cd, otra de Pb y 3 de Ni y otros presentan valores deficientes de Mn o Zn. Además, en parcelas que no pudieron ser analizadas para cultivos, los valores de las fracciones extraíbles de micronutrientes (Cu, Mn y Zn) reflejan que los posibles cultivos que se desarrollen en esas parcelas no carecerán de esos elementos, tal y como se ha indicado arriba.
- Las posibles diferencias entre especies en la absorción o acumulación de metales en los cultivos fueron analizadas comparando los contenidos de metales de dos tipos de cultivos analizados. Los resultados muestran que los contenidos de Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni y Pb son superiores en cultivos de hoja. Las diferentes concentraciones observadas entre los dos tipos de cultivo se deben principalmente a diferencias fisiológicas, que hacen fundamentalmente que los cultivos de hoja sean acumuladores de metales, dado que no hay diferencias significativas en el contenido de metales de los suelos de los dos tipos de cultivo, o cuando existen concentraciones superiores en cultivos en suelos con una concentración inferior. Además, en el caso de metales como el Cd y el Pb, puede entrar por las hojas una cantidad mayor de deposición atmosférica. Por otro lado, el valor medio de Zn es ligeramente superior en cultivos de inflorescencia que en cultivos de hoja, aunque la diferencia no es estadísticamente significativa, a pesar de existir concentraciones mucho mayores en suelos con cultivos de inflorescencia. Esto refleja las diferencias fisiológicas entre los dos tipos de cultivos: los cultivos de hoja son acumuladores.
- Las relaciones establecidas entre el contenido “pseudototal” de metales pesados en el suelo y en los cultivos son negativas en todos los cultivos para Cd y Ni, en los cultivos de hoja para Cd, Co y Mn, y en la alcachofa para Cd. Esas relaciones negativas parecen reflejar la mayor importancia que tiene la entrada de metales (como Cd) a los cultivos por deposición atmosférica, frente a las transferencias del suelo. Por otro lado, la no existencia

de relaciones entre la fracción extraíble de metales y el contenido de los cultivos es quizá indicativa de que el método de extracción de EDTA no es el más adecuado para valorar la biodisponibilidad de metales en estos suelos, para estos cultivos.

- Existen correlaciones (positivas y negativas) entre los diferentes elementos, que indican que la absorción de un metal por parte de la planta aumenta o disminuye en presencia de otros metales en el suelo. Por ejemplo, en el conjunto de cultivos, el contenido de Cd es inferior cuanto mayor es la concentración de Zn en los suelos. Por consiguiente, para estudiar la posible acumulación de elementos tóxicos en cultivos, es tan importante conocer las interacciones que pueden ocurrir entre los elementos, como conocer la concentración de los metales en el suelo y en el cultivo.
29. Tang, J. *et al.* (2020), en su investigación de los efectos del biochar, el compost y sus combinaciones en la disponibilidad de metales pesados y las características físico-químicas y actividades de las enzimas en el suelo, mostró que añadir enmiendas al suelo contaminado alteró significativamente las propiedades del suelo y, si se comparaba con la adición por separado de biochar o compost, su aplicación combinada era más eficaz para mejora el pH del suelo, la materia orgánica, el carbono orgánico y el potasio disponible. Además, todas las enmiendas redujeron significativamente la disponibilidad de Cd y Zn, pero activaron ligeramente As y Cu; el compost activó las actividades de las enzimas del suelo y el biochar inhibió esas actividades, pero las respuestas a sus combinaciones fueron muy variables. El análisis de correlación de Pearson indicó que la conductividad eléctrica y el potasio disponible eran los factores ambientales más importantes que afectaban a la disponibilidad de metales y a la actividad de las enzimas en el suelo, incluidos deshidrogenasa, catalasa, β -glucosidasa, ureasa, fosfatasa ácida y alcalina, arilsulfatasa, excepto proteasa e invertasa.
- La disponibilidad de As, Cu, Cd y Zn afectó a las actividades de la deshidrogenasa, catalasa y ureasa. Esos resultados indicaron que el biochar, el compost y sus combinaciones tienen efectos significativos en las características físicoquímicas del suelo, la disponibilidad de metales y las actividades de las enzimas en suelos muy contaminados por metales.
30. Respecto a la actividad microbiológica, el efecto de los microorganismos en la disminución del ingreso de cadmio en el cacao está bien documentado: Bravo et al (2018), y Revoredo, A. y Hurtado, J. (2018), han demostrado que los inóculos microbianos son efectivos en cultivos de cacao. Revoredo y Hurtado, determinando la actividad de biorremediación de las cepas de 3 estreptomices: *Streptomyces variabilis* (AB5 y X) y *Streptomyces sp.* (C2), usando dos concentraciones diferentes de Cd: 100 y 200 ppm, concluyeron que la cepa C2 tiene actividad de biorremediación, porque reduce la absorción de Cd en plantas de cacao en una media del 39,67 % en el tratamiento con Cd 100 ppm y una media del 21,13 % en el tratamiento con Cd 200 ppm.
31. Evitar la fertilización con fertilizantes fosfatados y roca fosfórica sedimentaria, debido a que suelen tener como impureza el Cd, siendo este menor en las fosforitas de origen ígneo. Smolders (2017) expresa que para una producción exitosa de cacao es vital agregar fertilizantes de fosfato porque los suelos tropicales tienen un contenido de fósforo nativo muy limitado. Lo que debe ser la base de la orientación no es el tipo de fertilizante con fosfato, sino la concentración absoluta de Cd. Según se informa, estas plantaciones tienen niveles muy bajos de P disponible para las plantas de acuerdo a los estudios publicados sobre la fertilidad del P en el suelo, por lo que los fertilizantes con P pueden ser útiles para aumentar el crecimiento y, por ende, la dilución del aumento de Cd en las plantas. La UE, los EE. UU. y muchas otras naciones tienen límites de Cd en fertilizantes fosfatados, incluidos los fosfatos de roca que pueden venderse comercialmente. Smolders (2017) resume los mejores consejos actuales sobre los límites apropiados de Cd para los productos fertilizantes que contienen P. Un problema importante en las naciones latinoamericanas y caribeñas que producen cacao es la falta de verificación de Cd en los productos fertilizantes y la falta de una regulación estricta del contenido de Cd en los fertilizantes. Tales regulaciones deben desarrollarse y aplicarse en los fertilizantes de cacao.
32. Utilizar fertilizantes nitrogenados y potásicos, debido a que normalmente tienen muy bajos contenidos de cadmio y, preferiblemente, abonos compuestos como el 20-20-20 (N-P205 y K20), verificando su análisis de metales pesados. Está demostrado que en suelos bien provistos de nutrientes las probabilidades de bioacumulación del cadmio son menores. Hay que enfatizar que los fertilizantes nitrogenados y potásicos no se deben usar en plantaciones de cacao orgánico.
33. Preparación y uso de carbono activado, utilizando diferentes tipos de materiales, de preferencia locales (biomasa residual o rastrojos), que se puede aplicar para disminuir la disponibilidad de Cd en el suelo por el mecanismo de adsorción. Sin embargo, el carbón activado o biochar son enmiendas caras para el suelo y probablemente no son económicas para las plantaciones de cacao, especialmente para las más pequeñas. Se debe tener presente que el carbón activado no se debe utilizar en plantaciones de cacao orgánico.
34. El Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (2017b) enfatiza que existen elementos que

indican que una poda adecuada y permanente de los árboles reduce significativamente la presentación de Cd en la cáscara. La poda superficial del árbol de cacao tiene un impacto significativo en la arquitectura de las raíces y es un elemento significativo para bloquear la absorción de Cd del suelo, especialmente en suelos volcánicos.

35. Aplicar vinaza (subproducto de la industria de la caña), fertilizante líquido rico como fuente de potasio, puede fomentar además la instalación de hongos que forman micorrizas en las raíces del cacaotal e incrementa la eficiencia en la nutrición de fósforo en este cultivo, da protección contra enfermedades, inmoviliza el cadmio e incrementa la resistencia a la sequía.
36. Utilizar micorrizas de preferencia nativas de la zona y otros biorremediadores que "capturen" el Cd presente en el suelo para que no se encuentre disponible para que lo asimile el cacao.

3.2. Fitoextracción de metales pesados (Cd).

37. Es una técnica que consiste en sembrar plantas (árboles, arbustos, herbáceas, cultivos de cobertura) en suelos contaminados con metales pesados con la finalidad de extraerlos a través del sistema radicular y transferirlo hacia la masa foliar, la cual es cosechada e incinerada para convertirla en cenizas (450 °C) y decidir si va a confinamiento o a un laboratorio de química analítica o industrial para que se puedan reutilizar estos metales. Cabe mencionar que la aplicación de esta técnica requiere contar con un sistema implementado de bioseguridad para evitar que los follajes sean utilizados para alimentación o como piensos. Chaney, R.L y Baklanov. 2017 reportan que desafortunadamente, las especies de plantas con una demostrada acumulación de Cd muy alta no están adaptadas a los ambientes tropicales. Y sembrar otro cultivo bajo los árboles de cacao y recoger anualmente la biomasa para eliminar el Cd puede ser muy difícil en las plantaciones de cacao.
38. Jebara, S.H., *et al* 2019 expresó que las leguminosas coinoculadas con bacterias resistentes al cadmio y favorecedoras del crecimiento de las plantas (PGPB) contribuyen a un tipo de fitorremediación para mitigar la contaminación de Cd en el suelo. Además, se ha informado de que las simbiosis de leguminosas-PGPB influyen en la biodisponibilidad de Cd en leguminosas por varios mecanismos, como bioacumulación, precipitación, complejación y quelación. La toxicidad del Cd ha inducido una amplia gama de mecanismos fisiológicos y bioquímicos de tolerancia en leguminosas, como la expresión genética de proteínas aglutinantes de metales implicadas en la quelación, y el transporte de Cd, como la fitoquelatina sintasa (PCS) y la metalotioneína (MT) y la activación del sistema de defensa antioxidante.

3.3. Manejo agronómico del cultivo de cacao y bioacumulación de Cd

39. En el manejo agronómico eficiente del cultivo son importantes los siguientes factores: la poda, la densidad (número de plantas por hectárea), los sistemas de sombra, el régimen de humedad en el suelo, la forma de aplicación de fertilizantes y enmiendas, las dosis y los momentos de realizar estas labores, que permiten que el metabolismo del cacao sea el adecuado y que existan menos probabilidades de que el cadmio entre por las raíces, porque normalmente este metal se bioacumula en mayores cantidades en suelos de baja fertilidad, arenosos, pobres en materia orgánica, bajos en concentraciones de zinc y manganeso, fuertemente ácidos (pH < 5,5) y con un mal manejo.
40. Cuando la fisiología del cacao es adecuada, la producción y funcionamiento de enzimas van a favorecer sus procesos metabólicos normales, con lo que disminuye la bioacumulación del cadmio en los granos del cacao al existir mecanismos de autodefensa de las plantas frente a los contaminantes que se activan cuando las plantas están sanas y bien nutridas. Comentario de EE.UU.: No se conocen actividades fisiológicas especiales de plantas normales con crecimiento correcto que reduzcan la acumulación de Cd. Retrasar el crecimiento, especialmente por la acidez del suelo, ocasiona una acumulación superior de Cd. A continuación, en el Cuadro 5 se presenta una relación de condiciones que favorecen la bioacumulación de Cd en los granos de cacao y las medidas de mitigación propuestas:

Cuadro 5. Condiciones de suelo y agua que favorecen la bioacumulación de Cd en los granos de cacao.

<p>Condiciones de suelo y agua que favorecen la bioacumulación de cadmio en los granos de cacao. Los EE.UU. indican que es muy poco probable que las aguas de riego con solución salina sean un problema en la producción de cacao y Cd. Es apropiado proporcionar una advertencia sobre los altos niveles de cloruro en el agua de riego, los fertilizantes y otras enmiendas del suelo. Y es específicamente el cloruro del suelo, no la salinidad, lo que provoca una mayor acumulación de Cd en todas las especies de plantas. (McLaughlin, 2016).</p> <p>Además, los consejos sobre el pH del suelo deben ser más específicos. Los estudios de las propiedades del suelo en las plantaciones de cacao en varias naciones han informado de un pH del suelo tan bajo como 4,5, que promovió fuertemente la acumulación de Cd. Los suelos en la zona de enraizamiento deben ser encalados para alcanzar un pH de 6,5 si es necesario reducir los niveles de Cd en el cacao. Y si el suelo tiene niveles</p>	<p>Medidas de atenuación propuestas</p>
<p>Suelos de baja fertilidad natural</p>	<p>Fertilizar el suelo con buen contenido</p>
<p>Bajo contenido de materia orgánica en el suelo</p>	<p>Incrementar la materia orgánica (> 4% MOS)</p>
<p>Baja concentración de Zn</p>	<p>Incorporación de Zn</p>
<p>Suelos arenosos</p>	<p>Evitar sembrar en suelos arenosos, usar preferiblemente suelos de francos a arcillosos</p>
<p>Aguas salinas (2 mS/cm) con alto contenido de cloruros. En la unidad mencionada S significa Siemens</p>	<p>Tratar el agua para bajar su salinidad y disminuir los cloruros</p>
<p>Suelos fuertemente ácidos</p>	<p>Encalar los suelos hasta niveles moderadamente de ácidos a neutros</p>

41. Áreas de siembra: Como prevención, la siembra de los árboles de cacao debe realizarse en áreas donde no haya mucho contenido de Cd, por lo que los suelos agrícolas no deben tener más de 1,4 mg / kg de Cd (CCME del Canadá, 1999; DS 011-2017 MINAM Perú).
42. Gramlich, A., *et al.* (2017), refiriéndose a la asimilación de Cd por parte de los árboles de cacao en sistemas agroforestales y de monocultivo con gestión convencional y orgánica, determinó que los sistemas de producción y los cultivares por sí solos no tienen una influencia significativa en el Cd en las hojas. No obstante, encontraron contenidos más bajos de Cd en las hojas en sistemas agroforestales que en monocultivos, cuando se analizaron en combinación con la determinación de Cd por técnicas de gradiente de difusión en capa fina (DGT), el cultivar de cacao y la materia orgánica del suelo. Por lo demás, este modelo explicó el 60 % de la desviación de las concentraciones de Cd en hojas. Es más: explica las concentraciones inferiores de Cd en hojas en los sistemas agroforestales, en comparación con la asimilación de Cd de otras plantas, y también que el efecto del cultivar puede ser explicado por las capacidades específicas de asimilación del cultivar o por un efecto de crecimiento traducido a diferentes tasas de asimilación, dado que los cultivares eran de distintos tamaños.

43. Gramlich, A., et al. (2018), en su estudio sobre la asimilación de Cd del suelo por parte del cacao en Honduras resaltó que: a) el Cd del grano excede los estándares europeos en algunas áreas, aunque los suelos no estuvieran contaminados, b) el Cd disponible en el suelo por DGT (Cd_{DGT}) preveía mejor el Cd en grano y hoja. Además, las concentraciones de Cd en granos de cacao eran más altas en sustratos aluviales. Por otra parte, dado que no encontraron influencia de la aplicación de fertilizantes ni de la vecindad de terrenos industriales, concluyeron que las diferencias de Cd en el suelo entre diferentes lugares se debían a variación natural y que de todos los factores, incluido $Cd_{disponible\ en\ suelo\ por\ DGT}$, era el que mejor predecía la existencia de Cd. Cd ($R^2 = 0,5$) y cuando no se consideraba el DGT, el Cd en grano se podía predecir mejor a través del Cd "total" del suelo, el pH y la geología.

4. MEDIDAS DE PRODUCCIÓN DE CAMPO PARA PREVENIR Y REDUCIR LA CONTAMINACIÓN POR CADMIO EN GRANOS DE CACAO

44. También es importante conocer las fuentes y la distribución del Cd en el suelo. Varios estudios de Cd en suelo-planta, realizados en países latinoamericanos, han encontrado un enriquecimiento sustancial de Cd en algunos de los suelos nacionales utilizados en la producción de cacao. El Cd algo más alto en el suelo superficial que en los suelos subsuperficiales podría derivarse tanto de la aplicación de fertilizantes (particularmente productos de fosfato), como de las emisiones de aerosoles de fuentes industriales. El enriquecimiento natural del metal del suelo puede surgir de la mineralización (tanto Zn como Cd) que se enriquecen cerca de las minas de Zn, Cu y Pb (relación Cd: Zn típicamente de 0,005 a 0,01 $\mu g\ Cd / \mu g\ Zn$). La roca marina de esquisto puede producir Cd con una alta proporción de Cd:Zn, que tiene una mayor disponibilidad de plantas que el tipo de contaminación del mineral Zn. Se ha encontrado que varias áreas en América Latina tienen una contaminación de Cd local significativa e incluso extrema por estas fuentes de lutita marina (Garrett et al., 2008); algunos de los suelos jamaicanos tienen Cd más alto que Zn, un evento extremadamente raro. Donde el Cd está por encima de los niveles de fondo (por ejemplo, 0,2-0,5 mg Cd/kg de suelo seco), otros elementos (Zn) ayudan a aclarar la fuente. Los suelos desarrollados a partir de depósitos de fosfato son ricos en P, Cd y Zn con una proporción típica de Cd:Zn de 0,1. Por lo tanto, al menos se deben medir los niveles de Zn y P de los suelos sospechosos de Cd alto para ayudar a aclarar la fuente. (Garrett, R.G., A.R.D. Porter, P.A. Hunt y G.C. Lalor. 2008. Rodríguez, et al (2019), usando datos de un estudio existente sobre el área de producción de cacao del centro de Colombia, eligió varias fincas con una alta concentración de Cd y, en dichas fincas, estudió la variabilidad espacial de Cd en el suelo y en los tejidos de las plantas, junto con otras propiedades químicas del suelo. Algunas de las conclusiones fueron: A profundidades crecientes del suelo, se producía una reducción en el Cd total y en los niveles disponibles del elemento, la modelación de la regresión espacial explica el Cd, relacionado con las propiedades químicas edáficas de los granos de cacao, la ubicación y la profundidad del suelo.

45. Los análisis de suelo deben ser un requisito para que los actuales y los nuevos productores que se dedican al cultivo de cacao identifiquen los suelos y el agua con niveles más bajos de cadmio. Aquellas áreas con niveles más altos deben designarse para otros tipos de cultivos comerciales, como el café o aquellas plantas con una menor absorción de cadmio. La Asociación de Exportadores del Perú - ADEX expresa que el café y el cacao se producen en diferentes niveles ecológicos, por lo que no se puede sugerir cambiar las plantaciones de cacao por café. El café de calidad crece por encima de los 1000 metros sobre el nivel del mar - <http://www.minagri.gob.pe/portal/especial-iv-cenagro/24-sector-agrario/cafe/204-cafes-especiales-en-el-peru> y el cacao entre los 300 a 900 msnm - <https://www.sierraexportadora.gob.pe/programas/cacao/que-significa.php>. La FSVO de Suiza manifiesta que el muestreo del suelo también se debe abordar, ya que los contenidos de Cd no son homogéneos. Además, factores como el pH o la materia orgánica del suelo también deben considerarse. Dávila, C. b (2018) para la caracterización de los suelos contempla en sus análisis: pH, conductividad eléctrica, carbonato de calcio, materia orgánica, fósforo, potasio, análisis mecánico (arena, limo, arcilla), clase textural, capacidad de intercambio de cationes, cationes cambiables (Ca, Mg, K, Na, Al + H), suma de cationes, suma de bases, saturación de bases).

46. Para el análisis de Cd podrán utilizarse varios métodos no incluidos en el CODEX STAN 228/2001, pero el método seleccionado debe satisfacer los criterios de desempeño requeridos para los niveles máximos sobre 0,1 mg/kg establecidos en el Manual de procedimiento de la Comisión del Codex Alimentarius, que son los mismos que los establecidos en la regulación de la Unión Europea (EFSA, 2009) para el límite de detección (LOD), el límite de cuantificación (LOQ) y la precisión. La recuperación debe tener un intervalo entre el 80 % y el 110 %.

47. Métodos de análisis para determinar el Cd en los granos de cacao:

Técnica	Límite de detección ($\mu g/L$)
Espectrometría de Absorción Atómica por Llama (FAAS)	0,8-1,5

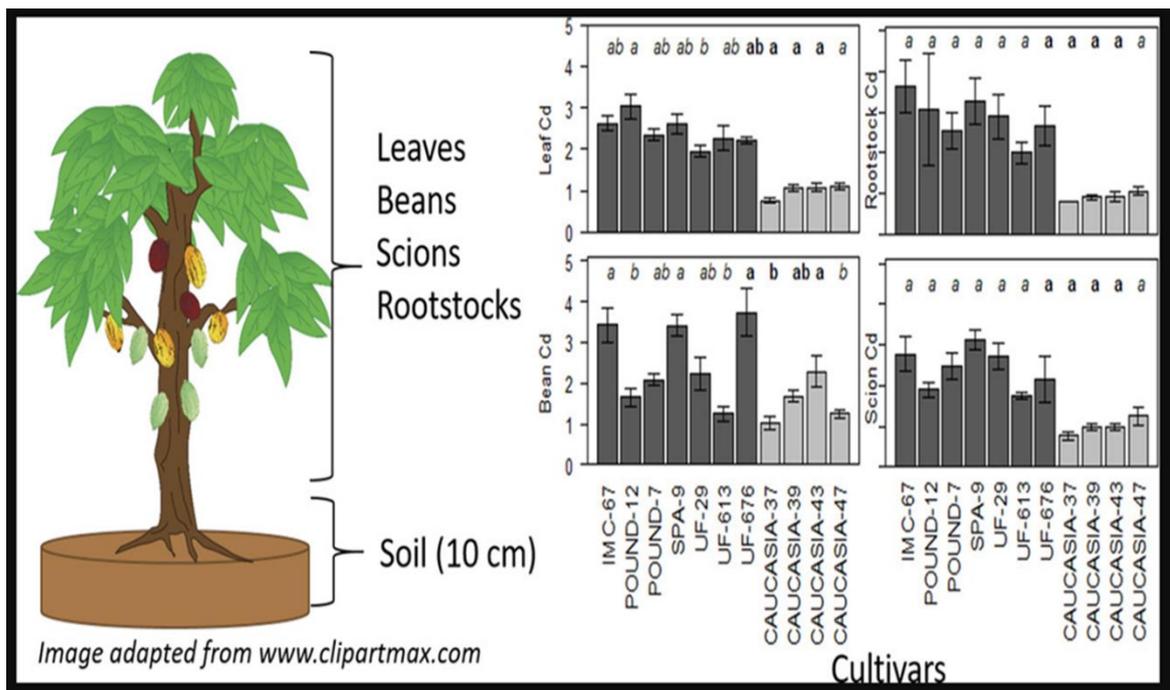
Espectrometría de Emisión Óptica de Plasma de acoplamiento inductivo (ICP-ES) ICP-OES	0,1-1,0
Espectrometría de absorción atómica en horno de grafito (GFAAS)	0,002-0,02
Espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICPMS) ICP-MS	0,00001-0,001

EFSA, 2009

48. Utilizar los resultados de los análisis de suelo para determinar si existe la necesidad de aplicar fertilizantes o enmiendas del suelo, para asegurar un pH adecuado y la nutrición de las plantas para evitar el estrés de las plantas, especialmente durante la etapa de desarrollo de las semillas, salvo que el productor pueda probar que su plan de acción propuesto reduce el riesgo a niveles permisibles. Se puede decir que el cacao es una planta que prospera en una amplia diversidad de tipos de suelo. van Vliet y Giller 2017, revisando la Nutrición Mineral del Cacao, establece que, entre las restricciones de producción que enfrentan los productores de cacao, está la limitación de nutrientes. En su revisión, recopila los conocimientos actuales sobre el ciclo de los nutrientes en los sistemas de producción de cacao, las necesidades de nutrientes del cacao y la respuesta a la aplicación de fertilizantes en relación con factores como el manejo, el clima y las condiciones del suelo.
49. Los suelos que presentan mayor capacidad de intercambio catiónico (59,0 – 60,6 meq/100g) tendrían mayor capacidad de fijar metales (Cargua, J. *et al.* 2010). La FDA de los EE.UU. comenta que el "CEC 59,0 a 60,6 meq/100 g" no parece ser correcto. La CEC típica de los suelos de cacao es <15 en la bibliografía publicada. Los suelos arenosos tienen una CEC baja, algunos tan baja como <5. Además, no es la CEC per se lo que reduce la fitodisponibilidad de Cd, es el área de superficie de los óxidos de Fe y Mn y la capacidad de quelación de la materia orgánica la que adsorbe Cd y reduce la fitodisponibilidad. Las arcillas en suelos de CEC más alta generalmente están recubiertas con óxidos hidratados de Fe y Mn, por lo que las arcillas se correlacionan con la adsorción de Cd.
50. Cargua, J. *et al.* 2010 cita a Miliarium (2009), quien también observó que la arcilla tiende a adsorber a los metales pesados que quedan retenidos en sus posiciones de cambio y que, por el contrario, los suelos arenosos carecen de capacidad de fijación de los metales pesados, que pasan rápidamente al subsuelo y pueden contaminar los niveles freáticos.
51. Antes de la cosecha, hay que asegurarse de que todo el equipo que se utilizará para la cosecha, el secado, la limpieza y el almacenamiento de los cultivos se encuentra en buen estado de funcionamiento y que se limpian lo más posible los residuos, granos y polvo de los cultivos. Una avería del equipo durante este período crítico puede causar pérdidas en la calidad de los granos y aumentar la aparición de cadmio. Hay que asegurarse de que el equipo necesario para las mediciones del contenido de humedad está disponible y calibrado.
52. Cosecha: evitar cosechar frutos de cacao inmaduros, ya que tienen una pulpa sólida sin mucílago y los granos de cacao son difíciles de separar de la vaina y no fermentan adecuadamente. Es más: el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA, 2017b) informa de que la reducción de la contaminación de Cd en granos de cacao depende considerablemente de la gestión de la cosecha; existen evidencias claras de que las concentraciones más altas de cadmio se encuentran en la vaina, por lo que se recomienda separar tempranamente los granos de las vainas.
53. Fertilización: El uso de fertilizantes fosfatados a largo plazo ocasiona niveles elevados de Cd en las capas arables el suelo (IPCS 2010); aunque la FDA de EE.UU. comenta que es importante mantener una adecuada fertilización con P para que los árboles no atrasen su crecimiento por el bajo contenido de P y acumulen un alto grado de Cd en los árboles atrofiados. Es mejor recomendar el uso de fertilizantes con P con límites de Cd en los productos. Lo que se necesita es procurar regulaciones que regulen el muestreo, el monitoreo y la aplicación de los límites de fertilizantes con P. Dichos límites también pueden ser necesarios para los productos fertilizantes con Zn, ya que algunos productos de fertilizantes con Zn derivados de subproductos contienen mucho más Cd que cualquier fertilizante fosforado.
54. Rentabilidad de las medidas de atenuación de Cd: El tratamiento de suelos contaminados con metales mediante la inmovilización con enmiendas químicas tales como la dolomita o la piedra caliza pueden proporcionar alternativas menos costosas y viables para reducir la disponibilidad de metales (Trakal *et al.* 2011). Es más, en la comunicación personal de los investigadores internacionales participantes en el Foro (MINAGRI - IICA 2018) enfatizaron que el uso de dichas enmiendas químicas incrementa la producción del cultivo de cacao. La producción se incrementa porque se reduce la limitación de nutrientes.
55. La Guía de Manejo Fitosanitario y de Inocuidad en el Cacaotal (MINAGRI-SENASA-IICA, 2017) menciona que el manejo del cultivo de cacao con un sistema agroforestal, disminuye la concentración de cadmio. De otro lado,

permite brindar servicios ambientales diferenciados a la sociedad, constituye una alternativa ambiental y contribuye en la mitigación del cadmio. Véase “Uso de recursos forestales maderables y no maderables del sistema agroforestal cacao” (*Theobroma cacao* L.) [https://www.academia.edu/28727375/USODERECURSOS FORESTALES MADERABLES Y NO MADERABLES DEL SISTEMA AGROFORESTAL CACAO Theobroma cacao L. USE OF TIMBER AND NON-TIMBER FOREST RESOURCES IN THE CACAO Theobroma cacao L. AGROFORESTRY SYSTEM](https://www.academia.edu/28727375/USODERECURSOS_FORESTALES_MADERABLES_Y_NO_MADERABLES_DEL_SISTEMA_AGROFORESTAL_CACAO_Theobroma_cacao_L_USE_OF_TIMBER_AND_NON-TIMBER_FOREST_RESOURCES_IN_THE_CACAO_Theobroma_cacao_L_AGROFORESTRY_SYSTEM)

56. Engbersen, N. *et al.* (2019) usó en su investigación el cultivar de cacao a largo plazo CEDEC-JAS en el norte de Honduras para investigar las diferencias entre 11 cultivares en la asimilación de Cd. El muestreo de portainjertos, injertos, hojas y granos se llevó a cabo en cada sitio en tres árboles reproducidos por cultivar y en el suelo que los rodeaba. Los resultados indican que las concentraciones de Cd disponible en el suelo estaban más estrechamente correlacionadas con las concentraciones de Cd en los portainjertos ($R^2 = 0,56$), injertos ($R^2 = 0,59$) y las hojas ($R^2 = 0,46$) que con las concentraciones de Cd en el grano ($R^2 = 0,26$). Además, las concentraciones de Cd de portainjertos, injertos y hojas mostraron estrechas relaciones con las concentraciones de Cd disponible en el suelo, sin diferencias significativas entre los cultivares. En contraste, las concentraciones de Cd en los granos mostraron solo correlaciones débiles con el Cd disponible en el suelo y con las concentraciones de Cd en las partes vegetativas de las plantas, pero una variación significativa entre los cultivares. Tres cultivares que fueron analizados en mayor detalle mostraron diferencias significativas en concentraciones de Cd en granos maduros, pero no en granos inmaduros. Estos resultados sugieren que las diferencias de concentraciones de Cd en el grano relacionadas con el cultivar concreto se derivan principalmente de diferencias en la carga de Cd durante la maduración del grano, posiblemente debido a las diferencias específicas de cada cultivar en la transferencia de Cd de xilema a floema. Los resultados muestran que la selección de cultivares con una transferencia baja de Cd de las partes vegetativas en el grano tiene un alto potencial para mantener la acumulación de Cd en granos de cacao en niveles seguros para el consumo. la siguiente figura muestra la acumulación de Cd y la distribución en diferentes cultivares de cacao.



- Hojas
- Granos
- Injertos
- Portainjertos
- Suelo (10 cm)
- Imagen adaptada de www.clipartmax.com
- Cd de hojas
- Cd de portainjertos
- Cd de granos
- Cd de injerto
- Cultivares

57. Chávez, E., Z.L.He, P.J Stofella, R.S. Mylavarapu, Y.C.Li, B. Moyano y V.C. Baligar (2015), citados por McLaughlin, Mike, 2016, muestran en el Cuadro 5 la relación ente los parámetros del suelo y la concentración de Cd en los granos de cacao, en profundidades de 0 - 5 y de 5 - 15 cm, en el sur de Ecuador.

Cuadro 6

Table 5
Relationship between soil parameters and Cd concentration in cacao beans for the 0-5 and 5-15 cm depth.

Soil properties (0-5 cm)	R ²	Soil properties (5-15 cm)	R ²
M3, EC, pH, % clay, Total C, TR, CEC	0.77	M3, total C, % clay, pH, TR, EC, CEC	0.84
M3, EC, pH, % clay, total C, TR	0.77	M3, total C, % clay, pH, TR, EC	0.84
M3, EC, pH, % clay, total C	0.76	M3, total C, % clay, pH, TR	0.82
M3, EC, pH, % clay	0.76	M3, total C, % clay, pH	0.79 ^{*,+}
M3, EC, pH	0.73 ^{*,+}	M3, total C, % clay	0.72
M3, EC		M3, total C	

Nomenclature: TR = total recoverable Cd, Total C = total carbon, CEE = effective cation exchange capacity, EC = electrical conductivity.

* P<0.05.

+ Best model.

Cuadro 5

Relación ente los parámetros del suelo y la concentración de Cd en los granos de cacao, en profundidades de 0-5 y 5-15 cm.

Propiedades del suelo (0-5 cm)	R ²	Propiedades del suelo (5-15 cm)	R ²
M3, EC, pH, % de arcilla, C total, TR, CEC		M3, C total, % de arcilla, pH, TR, CE, CEC	
M3, EC, pH, % de arcilla, C total, TR		M3, C total, % de arcilla, pH, TR, CE	
M3, EC, pH, % de arcilla, C total		M3, C total, % de arcilla, pH, TR	
M3, EC, pH, % de arcilla		M3, C total, % de arcilla, pH	
M3, EC, pH.		M3, C total	
M3, EC		M3, EC	

Nomenclatura: TR = Cd total recuperable, C total = carbono total, CEE = capacidad efectiva de intercambio catiónico, EC = conductividad eléctrica

* P < 0,05.

+ Mejor modelo.

58. El Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, IICA (2017b) indica que los experimentos realizados por el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias – INIAP en el Ecuador muestran que la contaminación por Cd es más evidente en los primeros 5 cm del suelo.
59. Chupillon-Cubas J, Arévalo-Hernández, C; Arévalo-Gardini, E; Farfán-Pinedo, A; Baligar V. (2017), estudiando la acumulación de Cd en seis genotipos de cacao usados como portainjertos, concluyeron que el clon IMC67 presentaba el contenido más bajo de Cd en la parte aérea y en las raíces, con diferencias significativas con el testigo, siendo el clon más adecuado para su uso por parte de los cultivadores.

5. MEDIDAS POSTCOSECHA PARA PREVENIR Y REDUCIR LA CONTAMINACIÓN POR CADMIO

El Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (2017b) menciona que estudios recientes han descubierto que la mayor cantidad de Cd está en el mucílago, por lo que deben adoptarse medidas en la fase postcosecha. Se calcula que el mucílago tiene 4,5 veces más Cd que la testa y 5,7 más que el grano.

60. El escurrido del mucílago mejora la calidad sensorial de los granos de cacao en el proceso de fermentación al reducir su acidez. El efecto del tiempo de escurrido del grano se estudió en una tesis de 0, 2, 4 y 6 horas de cacao criollo de Perú (Inga, J. 2017) que concluyó que el mejor, con una fermentación superior al 80 %, fue el de 4 horas de escurrido, mientras que otra tesis que estudiaba el efecto del tiempo de escurrido sobre el clon CCN51 (granos de cacao que contienen más agua) incluyendo 0, 12, 24, 36 horas concluyó que el de 36 horas fue el mejor con $86,00 \pm 9,63$ de fermentación, mientras que el escurrido de 12 horas tuvo un porcentaje de fermentación de $83,83 \pm 1,48$. (Sotelo, V. 2012) Un estudio experimental demostró que el escurrido de la pulpa o del mucílago durante 12 horas (un tiempo más largo de lo normal) redujo significativamente el contenido de Cd en los granos de cacao de una variedad sin afectar a la calidad física u organoléptica del cacao en el momento de la evaluación. El drenaje del mucílago durante 12 horas en el proceso de fermentación redujo significativamente el contenido de cadmio en los granos de cacao de la variedad CCN-51. Dávila, C. 2018a. Esto coincide con las conclusiones de Sotelo V. 2012.
61. Las concentraciones de cadmio disminuyen a medida que avanza la fermentación. Ruth Vanderschueren, Vincent De Mesmaeker, Sandra Mounicou, Isaura Marie-Pierre, Emmanuel Doelsch, *et al.*, 2020
62. Secado: asegurar que los granos no puedan ser contaminados por humos o gases provenientes de los secadores o de vehículos. Los granos de cacao deben secarse en una plataforma elevada para que no estén en contacto directo con la tierra, suelo, asfalto o cemento y que no sean accesibles a los animales. (CAOBISCO/ECA/FCC.2015).
63. Almacenamiento: garantizar que los almacenes no estén contaminados por derrames de combustible, gases de escape o humos. (CAOBISCO/ECA/FCC.2015).
64. El riesgo de contaminación de cadmio después de la cosecha durante los períodos de almacenamiento de los granos se puede gestionar de manera más predecible mediante Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) y Buenas Prácticas de Fabricación (BPF) que aseguren que los niveles de humedad en el grano almacenado se mantengan por debajo de los niveles que son propicios para mitigar la presencia de cadmio según las condiciones ambientales presentes en la región. El contenido de humedad de los granos de cacao almacenados debe ser medido periódicamente y mantenido bajo el 8 %. (CAC/RCP 72-2013)
65. Aunque se practica con algunas compras grandes de granos de cacao, analizar el envío de lotes de granos de cacao antes del proceso debe convertirse en una práctica estándar, para así mezclar granos con niveles más altos de cadmio con granos de niveles más bajos de cadmio. Esta práctica se viene siguiendo en algunos países de América del Sur. ADEX añade que esta práctica es común durante el procesamiento de grano a derivados de cacao, no solo para la disminución de niveles de cadmio sino, principalmente, para conseguir las características organolépticas solicitadas por el mercado de destino. El representante del Ministerio de Agricultura y Riego del Perú precisa que, en la medida de lo posible, deberá evitarse la mezcla de granos ya que es una solución comercial de corto plazo pero no se resuelve el problema, se pierde identidad y el origen que caracteriza a países productores de cacao fino de aroma y sabor. Asimismo, indica que es necesario implantar una rastreabilidad del contenido de cadmio.
66. Transporte: a) cubrir las zonas de carga y descarga de cacao en grano para protegerlas de la lluvia; b) asegurarse de que los vehículos se limpian de residuos de cargas anteriores antes de ser cargados con cacao (especialmente en lo que respecta a los cultivos alergénicos); c) comprobar que los vehículos están bien mantenidos y que el suelo, las paredes laterales y los techos (en vehículos cerrados) no tienen puntos en los que los gases de escape o el agua de lluvia puedan canalizarse hacia la carga de cacao; d) los operadores deben seleccionar proveedores de servicios de transporte fiables que adopten las buenas prácticas de transporte recomendadas. (CAOBISCO/ECA/FCC.2015).

6. **MEDIDAS VALIDADAS APLICADAS EN PAÍSES PRODUCTORES DE CACAO Y OTRAS OBTENIDAS CON EL APOYO DE PAÍSES INDUSTRIALIZADOS**

67. COLOMBIA

El Comité Nacional del Codex Alimentarius de Colombia, en respuesta a la carta circular CL 2018/73-CF, remitió la información solicitada con los siguientes datos:

Resumen de la medida demostrada: estudio de la diversidad microbiana asociada a suelos cacaoteros con presencia de cadmio (Cd) y evaluación de su potencial biorremediador.

Descripción de la medida: caracterizar las poblaciones asociadas a suelos cacaoteros con presencia de Cd y evaluar el potencial de biorremediación de algunos microorganismos aislados, tanto a nivel del laboratorio como en bioensayos en invernadero. Se emplearán técnicas dependientes del cultivo (aislamiento, caracterización fenotípica y genotípica y análisis del potencial de la actividad biológica) y técnicas independientes del cultivo (técnicas de secuenciación de última generación [NGS] y análisis de genes marcadores (RNAr 16S)) que son complementarias entre sí y permiten estudiar, por una parte, la diversidad estructural de estas comunidades microbianas y, por otra, permiten realizar una bioprospección de los organismos aislados. Para la caracterización de los microorganismos implicados, se emplearán métodos de microbiología dependientes del cultivo y técnicas moleculares para dilucidar la identidad y las características de las especies implicadas en el proceso.

Ubicación del estudio:

Finca 1: Latitud 06-55-24,3 Longitud 073-28-40,5; Finca 2: Latitud: 06-53-10,2 Longitud 073-23-13,8; Finca 3: Latitud: 06-54-14,3 Longitud 073-22-15,6; Finca 4: Latitud: 06-54-49,4 Longitud 073-44,1-178.

Finca 1 pH suelo ácido/ alto Cd total suelo. Finca 2 pH ácido suelo y bajo Cd total suelo. Finca 3 pH suelo neutro/básico y alto Cd total suelo. Finca 4 pH suelo neutro/básico y alto Cd total suelo.

El estudio se inició en el año 2015 y finalizó el año 2019.

Área de estudio y tamaño de parcela: Total de árboles 3200, aproximadamente 3,5 ha.

Las variedades de cacao estudiadas son: ISC95, ISC60-39, CCN51, nuevas variedades (SYS).

Tiempo de plantación: Finca 1: 15-20 años, Finca 2: 40-50 años, Finca 3: 5-10 años, Finca 4: 6-80 años.

Fecha de muestreo con respecto a la aplicación de la medida: Semestre I, 2017. Tres muestreos por finca, espaciados aproximadamente cada dos meses.

Número de muestras tomadas: un total de 12 muestras (tres muestras por finca). Cada muestra compuesta se conformó a partir de submuestras (n = 18), seleccionando al azar durante el recorrido en zigzag árboles de cacao con buen estado fitosanitario, limpiando la superficie del terreno (bajo la gotera del árbol) e introduciendo un barreno a la profundidad indicada. Para la recolección y el manejo final de las muestras, se siguió la NTC 4113-6 (2). Cada muestra compuesta (2 kg).

Concentraciones de Cd en las muestras: La concentración de Cadmio en suelo es variable, se encontraron muestras con cantidades de 44 mg/100 gr de muestra, hasta 0,01 mg/100 gr. Esto es el antes. El después aún no se ha desarrollado. Los EE. UU. mencionan que las concentraciones enumeradas son confusas: 44 mg/100 g es 440 ppm, que estaría muy altamente contaminado; pero "hasta 0,01 mg/100 g" es igual a 0,1 mg/kg, lo que sería una concentración de Cd en suelo relativamente baja.

68. COLOMBIA

Gutiérrez E. y León C. 2017:

Estudio «Evaluación de enmiendas con el objeto de solucionar los problemas de concentraciones de Cd en suelo y grano seco». De 2010 a 2012 - Santander: Se precisan los siguientes detalles:

Se siguieron las Directivas de Kelley para la clasificación de suelos contaminados con cadmio, cuyos valores en mg/kg de suelo seco varían de:

Valores típicos para suelos no contaminados (mg/kg de suelo)	Contaminación baja (mg/kg de suelo)	Contaminación (mg/kg suelo)	Contaminación alta (mg/kg de suelo)	Contaminación inusualmente alta (mg/kg de suelo)
0-1	3-5	5-10	10-20	> 20 Estos rangos sugeridos de Cd en diferentes clases de contaminación del suelo son confusos. Los suelos con más de 1,0 mg Cd/kg ya son inusuales. Algunos autores definen los suelos de fondo generalmente como 0-0,7. Y como se señaló anteriormente, cuando los suelos son ricos en Cd pero no en Zn, ese Cd del suelo presenta un riesgo mucho mayor que cuando se producen las proporciones normales de Cd / Zn del suelo

Se tomaron 595 muestras en 59 municipios de 11 provincias.

En las muestras de suelos se efectuaron los siguientes análisis: Químico: Completo + elementos menores por debajo de 0-30 cm, Físico: Densidad aparente, real y textura por Bouyucos a 0 -30 cm, Cadmio Total y Cadmio disponible a 0 -30 cm y Cadmio Total y Cadmio disponible a 30-60 cm.

En el muestreo de vainas se analizaron: Grano de cacao seco con cáscara y grano de cacao seco sin cáscara.

Laboratorio de servicios - Área: Para la química analítica se utilizaron: espectrofotómetros de AA (240FS / 280FS) y espectrofotómetro (ICP-OES) ICAP 6500 de Thermo Scientific.

Los resultados obtenidos fueron:

Línea base definida por la concentración total de Cd, presente en los suelos de las zonas cacaoteras: De las 207 muestras analizadas, se encontraron niveles de Cd altamente variables en las diferentes zonas muestreadas (de 0-1 mg/kg hasta >10 mg/kg).

Las muestras de grano de cacao para las cuales existe un límite máximo permitido de cadmio de 0,5 mg/kg: 175 (84,5 %) se encontraban por debajo de este límite legal y 32 (15,4 %) lo sobrepasaron. En estas últimas zonas se encontró una correlación altamente significativa ($r=0,652$ y $p>0,001$) entre el contenido de cadmio del grano con respecto a cadmio disponible en el suelo.

En una evaluación del estado nutricional de los suelos cacaoteros se encontró:

El valor promedio de pH en los municipios cacaoteros es de 5,6, considerado moderadamente ácido, y el 40 % de los suelos presenta altos contenidos de aluminio intercambiable.

El 76 % de los suelos presenta bajo contenido de materia orgánica.

El 49 % de los suelos cacaoteros presenta deficiencias de fósforo, respuesta comúnmente encontrada en más del 70 % de los suelos del país debido a la acidez del suelo.

Con referencia a las bases de suelo K, Ca, Mg y su relación, encontramos que el 85 % de los suelos cacaoteros presenta deficiencia de K, el 16 % de los suelos presenta bajo contenido de Mg y el 65 % de los suelos presenta una relación adecuada Ca/Mg.

Se evaluaron los efectos de tres tratamientos (compost o biofertilizantes de ECOCACAO), biofertilizante orgánico (vermicompost o gallinaza) +micorrizas + cal dolomítica, y una combinación de cal dolomítica, fuente fosfórica, fuente potásica, suelo micorrizado y abono orgánico. La evaluación se realizó en seis fincas en una parcela de experimentación de aproximadamente 1.200 m² (144 árboles de cacao).

Los niveles de aplicación de cada una de las fuentes de fertilización son cal dolomítica (1,5- 2,5kg/planta), K (300-350 gr/planta), P (35-50 gr/planta) y materia orgánica (350 gr - 1 kg/planta) y suelo micorrizado (20: 1.

El análisis de la variación no muestra diferencias estadísticas en las propiedades del suelo debido al efecto de los tratamientos de remediación aplicados al suelo y no muestran cambios en las propiedades del suelo.

Para la presencia de cadmio total y disponible en suelos, en granos de cacao y tejido foliar (hojas), el análisis de variación no identifica diferencias entre los tratamientos en los municipios evaluados.

69. ECUADOR

SENESCYT (2011). Proyecto: Recuperación de suelos contaminados por la presencia de cadmio en las áreas más contaminadas de las provincias de Manabí, Santa Elena y El Oro.

Los detalles del estudio son:

El estudio se realizó de julio de 2012 a diciembre de 2014.

Las muestras se tomaron en la Provincia El Oro, localidad Pasaje y en la finca Río Grande; Provincia Península de Santa Elena, localidad Cerecita, finca La Mejor y en la provincia Manabí, localidad Canuto y finca Experimental. Las parcelas experimentales contenían 20 plantas cada una, de las cuales se identificaron seis plantas centrales para monitorear en el tiempo los contenidos de Cd.

Se evaluaron ocho enmiendas: Co3Mg, vinaza, zeolita, humus, carbón vegetal, SO4Ca, cachaza y SO4Zn; aplicadas en dos dosis en las variedades de cacao CCN51 en las provincias de Santa Elena y El Oro y en la variedad Nacional en la provincia de Manabí.

La aplicación de las enmiendas se realizó dependiendo de las características de los suelos.

Resultados obtenidos:

En la Península Santa Elena, El Oro y Manabí, el suelo respondió a la aplicación de 1 Tm/Ha y 2 Tm/Ha de las ocho enmiendas, ya que se logró reducir los contenidos de Cd significativamente en las cuatro profundidades evaluadas (0-5 cm, 6-10 cm, 11-15 cm, y 16-20 cm) en comparación con los contenidos del testigo (tratamiento sin aplicar enmienda).

En el suelo de la Península Santa Elena, la aplicación de la dosis de 1 Tm/Ha de humus y sulfato de calcio disminuyó los contenidos de Cd de 1,76 mg/kg presente en el testigo a 1,10 mg/kg de Cd en los primeros 5 cm del suelo. Con la aplicación de 2 Tm/ha se redujo de 1,76 mg/kg presentes en el testigo a 1,02 mg/kg al utilizar carbón vegetal.

De manera general se observó que todas las enmiendas aplicadas al suelo influyeron en la disminución de las concentraciones de Cd en los granos de cacao. Al finalizar el estudio se determinó que el sulfato de calcio y la cachaza lograron reducir en 46 y 44 %, respectivamente, las concentraciones de cadmio en los granos de cacao en la Península de Santa Elena.

En El Oro, cuando se aplicó 1 Tm/Ha de vinaza los contenidos de cadmio en el suelo se reducen de 4,87 mg/kg a 2,38 mg/kg y cuando se aplicó 2 Tm/Ha, la zeolita baja estos contenidos a 2,29 mg/kg.

Para el caso de El Oro las enmiendas de dolomita y vinaza bajaron el 48 y el 45 % los contenidos de cadmio en los granos de cacao, respectivamente.

En Manabí, el testigo presentó 1,35 mg/kg de Cd en los primeros 5 cm del suelo, disminuyendo paulatinamente a medida que aumenta la profundidad. Con 1 Tm/Ha de carbonato de calcio, se logró bajar los contenidos a 0,57 mg/kg y con la dosis alta (200 kg/ha) de sulfato de zinc se redujeron los contenidos a 0,59 mg/kg.

Finalmente, en Manabí todas las enmiendas (con excepción del carbonato de magnesio) tuvieron similar comportamiento, reduciendo en un 30 %, los contenidos de cadmio en las almendras de cacao.

70. BRASIL

Carrillo, M., *et al.* 2010.

Estudio: *Efeito of different conditioners na mobilidade of cádmio em dois latossolos brasileiros.*

Los detalles del estudio son:

El objetivo del estudio era evaluar el movimiento de Cd en el perfil del suelo afectado mediante la adición de tres acondicionadores orgánicos (vermicompost, torta de caña de azúcar y torta de palmiste) y tres minerales (piedra caliza, apatita y zeolita) en dos oxisoles brasileños («Tiro de Guerra» y Tres Marías) de textura arcillosa y media, respectivamente, para conocer la retención del Cd en los suelos utilizando el método de columnas de lixiviación.

Resultados:

La cal y la torta de caña de azúcar presentan mayor potencial para reducir el flujo del Cd en el perfil del suelo.

Alternativamente, otra opción es la zeolita en suelos con alto contenido de arena y la apatita en suelos de textura arcillosa.

71. INTERNATIONAL CONFECTIONERY ASSOCIATION - ICA

La Asociación Internacional de Confiteros (International Confectionery Association) con sede en Bruselas, en sus comentarios en respuesta a la carta circular CL 2018/73-CF sobre investigaciones en mitigación, hace referencia a un estudio realizado de 2014 a 2017 en el Centro de Investigación del Cacao, Universidad de West Indies y apoyado por el Fondo de Investigación Conjunta de la ECA/ CAOBISCO/FCC, el cual lleva a un mejor entendimiento de los diferentes factores que afectan la disponibilidad del Cd y la absorción del metal.

Se han propuesto tres posibles soluciones de mitigación:

Injertar plantas con portainjertos de bajo contenido en cadmio.

Obtener nuevas variedades que no sean tan propensas a la absorción de cadmio y modificar los suelos para reducir la absorción de cadmio por las plantas.

De otro lado, en el resumen de las medidas demostradas, especifica:

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

También parece haber una alta correlación entre la absorción de cadmio por las plantas de cacao y la acidez del suelo. Una alta acidez en el suelo generalmente se corresponde con un mayor nivel de acumulación de cadmio.

Parece haber alguna correlación entre el uso de fertilizantes fosfatados y la absorción de cadmio por parte de la planta de cacao.

Los granos de cacao de diferentes áreas de cultivo en el mismo país y en diferentes países tienen una amplia gama de niveles de cadmio.

Se cita lo siguiente como remedio para las medidas arriba mencionadas:

Los análisis de suelo deben ser un requisito para que los actuales y los nuevos cultivadores de cacao identifiquen los suelos con los niveles más bajos de cadmio. Las áreas con altos niveles de cadmio deben ser asignadas a otros tipos de cultivos comerciales como el café, o a aquellas plantas con una menor absorción de cadmio, o usarse para el cultivo de cacao después de que se reduzcan los niveles de Cd del suelo a un nivel aceptable. Se debe minimizar el uso de fertilizantes fosfatados.

72. FOODDRINK EUROPE

FOODDRINK EUROPE con sede en Bruselas,

especifica lo siguiente en su resumen de las medidas demostradas:

La contaminación con cadmio de los granos de cacao depende en gran medida del contenido de cadmio en el suelo y de su biodisponibilidad.

La biodisponibilidad del cadmio depende de:

- pH del suelo
- Contenido de materia orgánica.
- Deficiencia de nutrientes específicos.
- Iones Cl⁻ en el suelo.

El trabajo del Centro de Investigación del Cacao, apoyado por el Fondo de Investigación Conjunta de la FCC/CEA /CAOBISCO, se está centrando en la gestión de todos los parámetros mencionados, excepto los iones Cl⁻ en el suelo.

Los métodos más eficaces desarrollados hasta ahora son el encalado de suelos por debajo de pH 5,5.

Se ha demostrado que aumentar el pH en 1 unidad reduce el Cd del grano en 1/10.

La aplicación de biochar también ha demostrado reducir la biodisponibilidad del Cd en los granos de cacao. Las tasas de reducción son comparables al encalado y tienen una influencia aditiva al encalado.

La contaminación con cadmio de los granos de cacao también es una función de la variedad de cacao. En el estudio de CRC mencionado anteriormente, se han identificado 10 genotipos con baja bioacumulación de Cd que pueden reducir los niveles de Cd en granos en siete veces.

Además de las medidas anteriores que reducen la contaminación del grano con cadmio, debido a la contaminación geológica natural del cacao, la contaminación de los suelos puede provenir de:

- Fuentes de fertilizantes contaminadas.
- Agua de riego contaminada.
- Agua de inundación contaminada.

Cualquier contaminación adicional debe evitarse mediante una cuidadosa selección de fertilizantes, agua de riego y prevención de inundaciones y cita como descripción de la medida:

Manejo del pH del suelo mediante encalado.

Como primer paso, deben registrarse los siguientes parámetros del suelo: cadmio total, biodisponibilidad del cadmio, pH del suelo, composición física del suelo, contenido de materia orgánica y capacidad de intercambio de cationes, con el apoyo de laboratorios certificados. Sobre la base de este requisito se puede calcular el encalado y, dependiendo de su efectividad, se pueden ajustar las tasas de encalado.

En la segunda fase del proyecto se están realizando ensayos de campo para determinar mejor efectividad del uso de cal y biochar, incluidas la frecuencia de aplicación y las metodologías de aplicación. Se están investigando parámetros adicionales, como la disponibilidad de nutrientes y la productividad.

Los genotipos con baja bioacumulación de Cd identificados en nuestro estudio (Lewis et al., 2018) pueden utilizarse como portainjertos en la producción de material de propagación, para reducir la absorción de cadmio.

Se están realizando estudios adicionales en experimentos hidropónicos, para comprender si las diferencias observadas por Lewis et al. 2008 se deben a diferencias en la morfología de la raíz o a la genética. Las variedades bioacumuladoras de bajo contenido de cadmio se están probando como portainjertos por su eficacia.

73. PERÚ

García, J. y García L. 2018. Selección genética contra la acumulación de cadmio.

Con la finalidad de estudiar la cinética de la acumulación de los metales pesados Cd y Pb en diferentes clones de cacao y de identificar aquellos con reducida acumulación en órganos vegetativos y reproductivos, de junio a noviembre de 2017 se ejecutó este ensayo en la Estación Tulumayo, Tingo María. El material genético (clones) del cacao elegido fue el resultado de un proceso de selección individual-hibridación-selección genealógica, llevado a cabo por el Programa de Mejoramiento Genético del Cacao iniciado en 1995 y dirigido por el Dr. Luis García, profesor principal de Universidad Nacional Agraria de la Selva - Tingo María, Huánuco (Perú). Con la excepción del clon C-60 (selección en el campo de agricultor) de San Martín, los otros clones están identificados y tienen sus respectivas genealogías y ya fueron caracterizados morfoagronómicamente y publicados en el Catálogo de Cultivos de Cacao del Perú. Los clones S-8 y S-12 son híbridos del cruce entre dos clones Trinitarios. El clon S-23 es un híbrido biclonal del cruce entre 2 clones de Forastero Alto Amazónico, uno de Iquitos y el otro de Cusco. El clon S-28 es un híbrido biclonal del cruce entre dos clones: el primero Trinitario y el segundo Frastero de la Alta Amazonía (Ucayali).

N.º	CÓDIGO	GENEALOGÍA	LUGAR DE SELECCIÓN
1	S-8	(ICS-95 x UF-296), 8	Estación Tulumayo
2	S-12	(ICS-95 x UF-296), 12	Estación Tulumayo
3	S-23	(IMC-67 x U-68), 16	Estación Tulumayo
4	S-28	(ICS-1 x SCA-6), 20	Estación Tulumayo
5	S-60	Se desconoce	Campo de la finca San Martín

Se observó como resultado una tendencia a la reducción del Cd de junio a septiembre (meses de baja precipitación) y un aumento en octubre y noviembre (meses de alta precipitación). En general y por término medio, la acumulación de Cd era mayor en las hojas (1,288 ppm) y menor en las semillas (0,894 ppm). Igualmente, hubo respuestas diferenciales entre clones: los clones S-08 y C-60 tuvieron la menor acumulación de Cd, con 0,650 ppm y 0,815 ppm en el grano, respectivamente. Además, se encontraron interacciones sinérgicas relevantes entre Cu/Zn, Mn/Fe, Fe/Zn y Cu/Pb, e interacciones antagónicas entre Cd / Zn and Cd / Cu.

Deberán realizarse estudios futuros de la acumulación de Cd y otros metales pesados en los granos de cacao durante todo el año y para cada fase fenológica, incluidos otros clones de cacao de origen genético diferente y con potencial hipoacumulativo.

74. PERÚ

Dávila, C. a. 2018. Paquete tecnológico para disminuir el contenido de cadmio en los granos de cacao.

La Cooperativa Agroindustrial Cacao Alto Huallaga (CAICAH) realizó el diagnóstico del Cd de los granos de cacao de sus asociados y se determinó un contenido medio de 0,84 ppm.

Hasta la fecha, la CAICAH ha venido desarrollando una serie de tecnologías a nivel de campo, para disminuir el contenido de cadmio en los granos de cacao.

Tras dos años de investigación, podemos mencionar las tecnologías más eficientes para tal fin:

Encalado del suelo (pH menor de 5,5). En suelos ácidos, el Cd presenta una mayor disponibilidad y puede ser fácilmente absorbido por las plantas. El encalado proporciona calcio a la solución del suelo, que es antagónico al Cd; además, permite incrementar el pH al aumentar las cargas negativas del suelo y, por consiguiente, facilita la adsorción y la complejación del cadmio en el suelo y lo hace no disponible para las plantas. Los materiales de encalado que se pueden utilizar para incrementar el pH del suelo, pueden ser: cal agrícola [Ca (OH)₂, SiO₂, CaSO₄], cal apagada [Ca (OH)₂], dolomita [Ca Mg (CO₃)₂]. El área de proyectos de la CAICAH evaluó el efecto de la dolomita en la disminución del cadmio de los granos de cacao. Se usaron tres tratamientos (1,80 kg de dolomita/planta, 2,70 kg dolomita/planta y 3,60 Kg dolomita/planta) y se obtuvieron los siguientes resultados al cabo de un año: 0,52 ppm, 0,47 ppm y 0,45 ppm, respectivamente de cadmio en grano de cacao, sin cascara, utilizando el método oficial 999.11-AOAC.

Conclusión: La aplicación de dolomita en las plantaciones de cacao disminuye el contenido de cadmio en los granos. Efecto positivo.

Aplicación de materia orgánica (compost, gallinaza, humus, estiércol, etc.)

La materia orgánica reacciona con el Cd gracias a sus grupos funcionales (OH, COOH, NH₂, CONH₂, CO, quinonas, etc.) de las sustancias húmicas, dando lugar a complejos de Cd o quelatos; de esta forma el Cd puede quedar en posición no disponible para las plantas. La materia orgánica proporciona carbono a los microorganismos del suelo, hecho que permite incrementar la población microbiana y su actividad enzimática; los microorganismos del suelo permiten: precipitar, secuestrar, volatilizar y complejizar el cadmio, favoreciendo así la adsorción del Cd en el suelo. Se puede utilizar compost, gallinaza, humus, estiércol, etc.; las cantidades de estos materiales que se deben aplicar por hectárea dependerá del contenido de materia orgánica (M.O.) del suelo, indicado en el análisis de caracterización; en general, el suelo debe manejarse con un nivel medio de M.O. de 3 a 4 %, para conservar las características físicas, químicas y biológicas. El CAICAH evaluó el efecto del compost y la gallinaza en la reducción del Cd en los granos de cacao.

Se emplearon los tratamientos siguientes: compost - dosis de 27,00 kg/planta o 30,00 Tm/ha, 54,00 kg/planta o 60,00 Tm/hay 81 kg/planta o 90,00 Tm/ha; gallinaza - dosis de 27,00 kg/planta o 30,00 Tm/ha, 54 kg/planta o 60,00 Tm/hay 81,00 kg/planta o 90,00 Tm/ha y testigo - dosis de 00,00 kg/planta o 0,00 Tm/ha; al cabo de un año de evaluación el contenido de cadmio observado para cada tratamiento de compost fue 0,08 ppm, 0,17 ppm, 0,11 ppm; de gallinaza 0,09 ppm, 0,22 ppm, 0,28 ppm y en el testigo 0,19 ppm. Conclusión: La aplicación de materia orgánica en las plantaciones de cacao disminuye el cadmio de los granos, llegando a valores muy pequeños de hasta 0,08 ppm. Los Estados Unidos comentan que el Cd no puede ser volatilizado por debajo de los 800 °C. El Cd del suelo puede ser fuertemente adsorbido, puede ser filtrado, pero no volatilizado. Además, la materia orgánica permite incrementar la capacidad de intercambio de cationes.

Uso de sulfato de zinc en las fórmulas de abonado

El zinc (Zn) tiene un efecto antagónico con el Cd; estudios venezolanos determinaron que la relación Zn/Cd superior a 1.000 significó una disminución de la adsorción de Cd en los granos de cacao, determinándose hasta 0,05 ppm.

La CAICAH realizó estudios utilizando tres (03) dosis de sulfato de zinc para disminuir el contenido de Cd en granos de cacao, utilizando los tratamientos siguientes: 0,00 kg. de sulfato de zinc/planta, 0,09 de sulfato de zinc/planta, 0,18 de sulfato de zinc/planta y 0,27 de sulfato de zinc/planta. Tras un año de evaluación se obtuvieron los siguientes resultados: 1,92 ppm, 1,83 ppm, 1,86 y 1,49 ppm respectivamente.

Conclusión: El sulfato de zinc tiene un efecto positivo en la disminución del contenido de cadmio de los granos de cacao. La aplicación del sulfato de zinc se realizó con la fertilización balanceada que se aplica anualmente a la plantación de cacao, según los requerimientos del cultivo y del suelo (análisis de caracterización).

Tratamiento postcosecha del grano de cacao

El cacao CCN-51 es un clon con alto contenido de mucílago, superior a los cacaos criollos. Estudios realizados en la CAICH arrojaron cantidades de Cd en el mucílago superiores a la cáscara y el cotiledón. Es lógico suponer que durante el proceso de fermentación del grano podría haber ingreso de Cd del mucílago a los cotiledones. Para esclarecer esta hipótesis, se realizó un escurrido del mucílago de los granos de cacao durante 24 horas en mallas, antes de ingresar a los cajones fermentadores; se obtuvo una reducción del 29,12 % del contenido de Cd en los cotiledones con respecto al testigo o control (granos de cacao sin escurrir el mucílago). Los resultados obtenidos sobre contenido de Cd en los granos de cacao fueron: T1 (levadura LB', sin escurrido = 0,48 ppm), testigo (sin levadura, sin escurrido = 0,46 ppm), T2 (escurrido 24 horas = 0,33 ppm), T3 (levadura LB', sin escurrido, lavado de grano = 0,63 ppm).

Conclusión: El escurrido del mucílago tuvo un efecto positivo en la disminución del cadmio de los granos de cacao.

Nota: La cantidad de mucílago evacuado de los granos de cacao, no afectó a la calidad física u organoléptica del cacao en el momento de la evaluación.

75. PERÚ

Dávila, C. 2018c. "Efecto del compost y la gallinaza en las propiedades fisicoquímicas del suelo y en el contenido de cadmio en los granos secos de cacao (*Theobroma cacao* L), CCN-51".

Se estudió la materia orgánica como fuente de captura y complejación de cadmio y con un nivel en los granos de cacao no superior a 0,50 ppm.

Se evaluó el efecto del compost y la gallinaza en las propiedades fisicoquímicas del suelo y en el contenido de Cd en granos de cacao seco CCN-51, en la finca San Pedro, en la finca Trampolín, en el distrito Daniel Alomía Robles, provincia Leoncio Prado, región Huánuco, durante los meses de febrero a noviembre de 2015.

El estudio se realizó en una plantación del clon de cacao CCN-51, con 8 años de producción, en suelos degradados donde se había cultivado cacao previamente. Con niveles iniciales de cadmio en granos de 3,55 ppm (el nivel máximo permitido de Cd es de 0,55 ppm), actualmente esta plantación tiene certificación orgánica, con una producción aproximada de 500,00 kg/ha/año. La unidad fisiográfica se corresponde con Lomada, clima de bosque tropical muy húmedo (vhf-T), con una temperatura media de 25,53 °C, una precipitación media de 219,13 mm/mes, una humedad relativa media del 83,4 %, con 158,63 horas medias de sol (con la mayor cantidad en el mes de agosto), en una altitud de 740 metros por encima del nivel del mar y con las siguientes coordenadas geográficas: mN 8981978, mE 395270.

Para su análisis fisicoquímico, el suelo es de textura franca, con pH ligeramente ácido, materia orgánica media, nivel medio de N, alto nivel de P y bajo nivel de K, con una capacidad de intercambio catiónico igual a 10,03 meq/100 g de suelo; con disponibilidad de Cd de 2,72 ppm.

El desbroce se hacía manualmente (machete) y mecánicamente (motoguadaña); el tratamiento consistió en usar compost y gallinaza en diferentes proporciones: 27,00, 54,00, 81,00 kg / planta de cada uno, usando 30,00, 60,00, 90,00 TM/ ha para cada combinación, con 6 tratamientos y un grupo testigo. La fertilización estándar usada fue la fórmula de fertilización 60 - 70 - 60, calculada para una producción estimada de 1.000 kg de granos secos por ha para el año 2015. Los insumos usados como macronutrientes fueron sulpomag, guano de las islas, cuyo contenido de P₂O₅ cubrió las necesidades de la plantación porque el suelo tenía un pH > 5,5. Los micronutrientes usados fueron ulexita (B) en dosis de 20,00 kg/ha, sulfato de Zn, sulfato de Fe y sulfato de Cu, cada uno de ellos con una dosis de 5,00 kg/ha.

El diseño del experimento fue con bloques completamente aleatorios (DBCA), con 7 tratamientos y 4 repeticiones; para el análisis de la variación y la comparación de medias se usó el test Duncan, con un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$.

El análisis del cadmio total en las muestras de cacao se realizó por el método húmedo, excluyendo la testa de la semilla, conforme al protocolo, y la cuantificación del Cd disponible en el suelo se realizó conforme al método WETERMAN.

Se mostró que el Cd aumentó en el suelo al aumentar las dosis de compost y gallinaza, sin superar el estándar ambiental de suelo agrícola, que es de 1,40 ppm de Cd (Ministerio del Ambiente, 2017). En los granos de cacao,

el efecto del compost y la gallinaza en el contenido de Cd no presenta significancia estadística entre tratamientos, pero matemáticamente se determinó que el tratamiento T1 (compost: 30 TM/ha) tenía un contenido inferior de Cd en los granos, con 0,076 ppm (descenso del 59,114 % de Cd con respecto al testigo) y materia orgánica del 3,74 %, lo que explica que un mayor contenido de materia orgánica en el suelo previene la absorción de Cd por parte de las plantas en varios órganos. El pH registrado fue de 4,87, confirmando que, en condiciones de acidez, la materia orgánica del suelo es la variable más importante que gobierna la biodisponibilidad de Cd en el suelo.

Por lo que respecta a la gallinaza: el tratamiento más eficaz para reducir el contenido de Cd en los granos de cacao fue el T4 (gallinaza: 30 TM/ha) con 0,086 ppm de Cd, que es el resultado de tener el más alto contenido de materia orgánica en el suelo (3,82 %), corroborando que las plantas absorben menos Cd cuando el suelo tiene un alto contenido de materia orgánica. Las dosis superiores a 30 TM/ha de compost y gallinaza aumentaron el contenido de Cd en granos de cacao secos, con respecto al tratamiento T1.

Los tratamientos T5 y T6 muestran el más alto contenido de Cd en los granos de cacao aplicando cantidades superiores a 30 TM/ha de gallinaza, que contribuye a la absorción de Cd por el cacao, lo que indica que no son necesarios volúmenes de compost y gallinaza superiores a 30 TM/ha para reducir los niveles de Cd en los granos de cacao, de forma que deben usarse cantidades inferiores.

El investigador recomienda continuar las investigaciones de biorremediación de Cd en el cultivo y la producción de cacao en otros tipos de suelos y en diferentes lugares con contenidos significativos de Cd en los granos; indica que el proceso de humificación de la materia orgánica en el suelo es lento; también sugiere que los trabajos de esta naturaleza deberían evaluarse al menos dos o tres años para obtener mejores resultados.

76. PERÚ

Falcón, G y Dávila, C. 2019. "Efecto de la fermentación en el contenido de Cd y los polifenoles totales de los granos de cacao (*Theobroma cacao* L.) Clon CCN-51".

En la presente investigación, la fermentación de los granos se efectuó bajo determinadas circunstancias, como el escurrido del jugo y el uso de levaduras; teniendo en cuenta que el jugo y la pulpa del cacao contienen una media de 6,80 ppm de cadmio (IPNI, 2015) y microorganismos como las levaduras, tienen la propiedad de capturar Cd en sus paredes celulares y, en consecuencia, de disminuir la concentración de Cd en los granos de cacao.

Objetivo general: Evaluar el efecto del proceso de fermentación en el contenido de Cd y los polifenoles totales de los granos del clon de cacao CCN-51.

Objetivos específicos: Determinar el efecto de la fermentación en el contenido de macronutrientes y micronutrientes (Cd) de los granos del clon de cacao CCN-51.

La presente investigación se efectuó en los meses de octubre, noviembre y diciembre del año 2018, en el centro de aprovechamiento de la Cooperativa Agroindustrial Cacao Alto Huallaga (CAICAH), situada en el distrito de Castillo Grande, provincia de Leoncio Prado, región de Huánuco. De acuerdo con la clasificación del científico estadounidense Holdridge, esta área se corresponde con un clima de bosque tropical muy húmedo (vhf - T), una temperatura media de 26 ° C, una humedad relativa del 84 %, las coordenadas geográficas: mE 0389535 y mN 8974399, y una altitud de 654 por encima del nivel del mar.

La parcela de la que se extrajeron los granos de cacao se llama "El Mirador", pertenece a doña Cecilia Huancho Hualinga, y está situada en el poblado de Venenillo, distrito de José Crespo y Castillo, provincia de Leoncio Prado, región de Huánuco. Es una parcela de 8 ha, tiene cultivo sin sombra de CCN-51 de 12 años; actualmente la parcela tiene certificación orgánica y una producción estimada de 1000 kg/ha/año de grano seco. La unidad fisiográfica donde está instalada la plantación se corresponde con una terraza media, cuyo contenido inicial de Cd disponible en el suelo y de Cd total en granos de cacao era de 0,18 y de 1,80 ppm, respectivamente. Los datos meteorológicos obtenidos de la Estación Meteorológica Experimental José Abelardo Quiñones, de Tingo María, correspondientes al año 2018 muestran los siguientes valores medios: temperatura 25,41 °C, precipitación 297,94 mm/mes, humedad relativa 84,08 % y horas de sol 145,59, con la mayor cantidad en el mes de agosto.

El Cuadro 7 muestra el análisis fisicoquímico del suelo de la parcela El Mirador.

Cuadro 7: Análisis fisicoquímico del suelo (parcela)

Parámetro	Valor	Método utilizado
Análisis físico:		
Arena (%)	16,00	Hidrómetro
Arcilla (%)	19,00	Hidrómetro
Lodo (%)	65,00	Hidrómetro
Clase de textura	Franco-limosa	Triángulo textural
Análisis químico:		
pH (1: 1) en agua	7,15	Potenciómetro
M.O. (%)	1,48	Walkey y Black
N - Total (%)	0,07	% M.O. x 0,05
Fósforo disponible (ppm)	10,00	Olsen modificado
Potasio disponible (ppm)	71,00	Acetato de amonio
Pb disponible (ppm)	-	-
Cd disponible (ppm)	0,18	EDTA - EAA
Ca cambiable (cmol+)/kg)	9,66	EAA
Mg cambiable (cmol+)/kg)	1,41	EAA
K cambiable (cmol+)/kg)	0,06	EAA
Na cambiable (cmol+)/kg)	0,94	EAA
Al cambiable (cmol+)/kg)	Yuan
H cambiable (cmol+)/kg)	Yuan
CIC	12,07	EAA
Bas. Camb. (%)	100,00	Ca + Mg +K+ Na/CIC x 100
Ac. Cam. (%)	0,00	CIC - Bas. Camb.
Sat. Al (%)	0,00	

Fuente: Laboratorio del Suelo de la Universidad Nacional Agraria de la Selva - UNAS.

Métodos - Componentes en el estudio

Se usaron granos de cacao frescos CCN-51, escurridos y no escurridos, que habían alcanzado la madurez fisiológica óptima de una plantación adulta de 12 años.

La levadura usada en esta investigación es la cepa *Saccharomyces cerevisiae*, que tiene una alta afinidad para metales pesados, obtenida en el mercado de Tingo María.

La descripción de los tratamientos estudiados se presenta en el Cuadro 8.

Cuadro 8: Descripción de los tratamientos estudiados

Tratamientos	Descripción
T ₀	Grano fermentado no escurrido
T ₁	Grano fermentado escurrido durante 36 horas
T ₂	Grano fermentado no escurrido + <i>Saccharomyces cerevisiae</i> al 1 % p/p
T ₃	Grano no fermentado (testigo)

Ejecución de la investigación

Elección de la parcela de cacao, clon CCN-51

Antes de empezar el estudio, se realizó un muestreo y una cuantificación del Cd total de varias parcelas de cacao, para identificar una con un contenido de Cd superior a 1,50 ppm. La parcela de cacao seleccionada tenía un total de Cd de 1,80 ppm, excluida la cáscara.

Recolección de granos de cacao

Se recolectaron las vainas fisiológicamente maduras de la parcela de cacao seleccionada. Se abrieron las vainas usando un machete sin filo; se depositaron los granos de cacao en cubos de plástico, evitando en todo momento el escurrido del mucílago; por la tarde, en torno a las 4.00 PM, los granos se pasaron a timbos (contenedores de madera) de 200 L, del centro de recolección de la CAICAH. Los granos se transportaron el mismo día de la cosecha, usando unidades motorizadas.

Aplicación del tratamiento - fermentación

El tratamiento se aplicó conforme a la siguiente metodología:

Tratamiento T₀:

Los granos frescos de cacao llegados del campo fermentaron en las cajas de madera; la masa de cacao estaba cubierta con sacos de yute, al igual que todos los tratamientos. La primera retirada de granos se hizo a las 48 horas, y después cada 24 horas. Fermentaron durante un total de 6 días. Se usaron 60,00 kg de granos frescos para cada repetición. Este método de fermentación de la CAICAH se usó para los volúmenes de cacao.

Tratamiento T₁:

Para este trabajo se usó una simple malla de un diámetro de 0,50 cm; se suspendió la malla con los granos frescos en soportes de madera durante 36 horas, para garantizar el escurrido de los granos. Después de ello, la masa de cacao que debía fermentar se colocó en las cajas de madera; la primera retirada se efectuó a las 48 horas y después cada 24 horas. Fermentó durante un período de 6 días. Se usaron 60 kg de granos frescos para cada repetición.

Tratamiento T₂:

Se aplicaron las cepas de *Saccharomyces cerevisiae* a los granos frescos llegados del campo. Para eso, se pesaron 60 g de levadura, se activó durante un período de 20 minutos en 120 g de azúcar diluido en 420 ml de agua a una temperatura de 37 °C; una vez aplicadas las cepas de levadura, la masa fresca fue cubierta con sacos de yute, comenzando su proceso de fermentación. El primer volteo de la masa se hizo a las 48 horas, y se voltearon cada 24 horas. El tiempo de fermentación de los granos de cacao fue de 5 días. Se usaron 60 kg de granos frescos para cada repetición.

Tratamiento T₃:

Granos frescos de cacao procedentes del campo se secaron por radiación solar directa. Se usaron tres (3) kg de granos frescos para cada repetición.

Durante el experimento, se anotó la temperatura diaria para cada tratamiento.

Secado de los granos de cacao

Usando bolsas nuevas de polipropileno, las muestras de cacao se secaron por radiación directa del sol, hasta una humedad aproximada del 7 %. Las muestras de granos en el momento del secado fueron identificadas correctamente por tratamiento, usando rotulador permanente y cinta adhesiva. Cuando las muestras de granos de cada tratamiento se habían secado, fueron codificadas y enviadas al laboratorio para sus respectivos análisis de Cd y polifenoles.

Contenido de Cd en los granos de cacao

El contenido total de Cd en los granos de cacao se cuantificó mediante espectrometría de absorción atómica con llama (FAAS), usando el método oficial de AOAC 999.11. Los análisis se realizaron en el laboratorio de química agraria "Valle Grande", Cañete, Lima. El método usado para la cuantificación del Cd total del grano excluye la testa o la cáscara.

El valor del coeficiente de variación (C.V.) para el contenido de Cd fue del 17.97 %.

El tratamiento T₃ (grano no fermentado) tiene el contenido medio de Cd más alto, con un valor de 1,21 ppm; el valor más bajo de Cd se muestra en el tratamiento T₂ (grano fermentado no escurrido + *Saccharomyces cerevisiae* al 1 %) con 0,54 ppm.

El contenido de Cd obtenido en esta investigación es similar al reportado por Tantalean (2017), que realizó la caracterización nutricional de granos de cacao de suelo aluvial en el Valle Alto Huallaga, con un contenido medio de 0,84 ppm.

En general, el tratamiento T₃ (grano no fermentado - testigo) contiene el mayor contenido de macro y microelementos con respecto a los otros tratamientos; este tratamiento alcanzó el grado más bajo de fermentación (68 %), que tendría influencia en el contenido de nutrientes; esto es: cuanto menor es el contenido de fermentación, mayor es el contenido de nutrientes en el cotiledón del grano del cacao; parece que cuando los porcentajes de fermentación son bajos, los compuestos orgánicos presentes en el cotiledón del grano del cacao no se degradan y, por consiguiente, no habría liberación de sustancias al entorno externo del grano.

Debemos recordar que durante la fase de fermentación el grano permanece por encima del 35 %, permitiendo la actividad enzimática (Thompson *et al.*, 2001, citado por Pancardo, 2016). El tratamiento T₂ (grano fermentado no escurrido + *Saccharomyces cerevisiae* al 1 %) obtuvo el contenido más bajo de cadmio (0,54 ppm); esto quizá está relacionado con la actividad biológica de las levaduras, que tienen la propiedad de absorber metales pesados (Cd, Pb y Zn) en sus paredes celulares, gracias a compuestos orgánicos llamados peptidoglicanos, específicos del *Saccharomyces cerevisiae*. La cepa de *Saccharomyces cerevisiae* es una de las cepas nativas que interviene en la fermentación del cacao, por lo que aumentar su población durante ese proceso puede mejorar la absorción de Cd y mejorar el cacao (la inocuidad). La capacidad de biosorción de estos microorganismos se debe a la cantidad de compuestos orgánicos capaces de capturar o intercambiar iones de metal, entre los cuales están los polisacáridos, las glicoproteínas, los flavonoides, etc., en los cuales los centros de atracción de cationes son los grupos de aminoácidos funcionales, hidroxilo, carboxilato, fosfato y sulfhidrilos (Chávez *et al.*, 1993). Lanza *et al.* (2016), encontró diferencias al analizar el contenido de Cd de los cotiledones de un cacao híbrido de Venezuela fermentado y sin fermentar; sus valores fueron: cacao fermentado (1,74 ppm) y cacao sin fermentar (2,09 ppm). Durante el proceso de fermentación, los metales pueden estar moviéndose del cotiledón a la cáscara del grano por flujo de masa. La composición química (contenido de macro y micronutrientes) de los granos de cacao puede variar dependiendo del tipo de grano, de la fermentación, del secado y del procesado subsiguiente (Arvelo *et al.*, 2017).

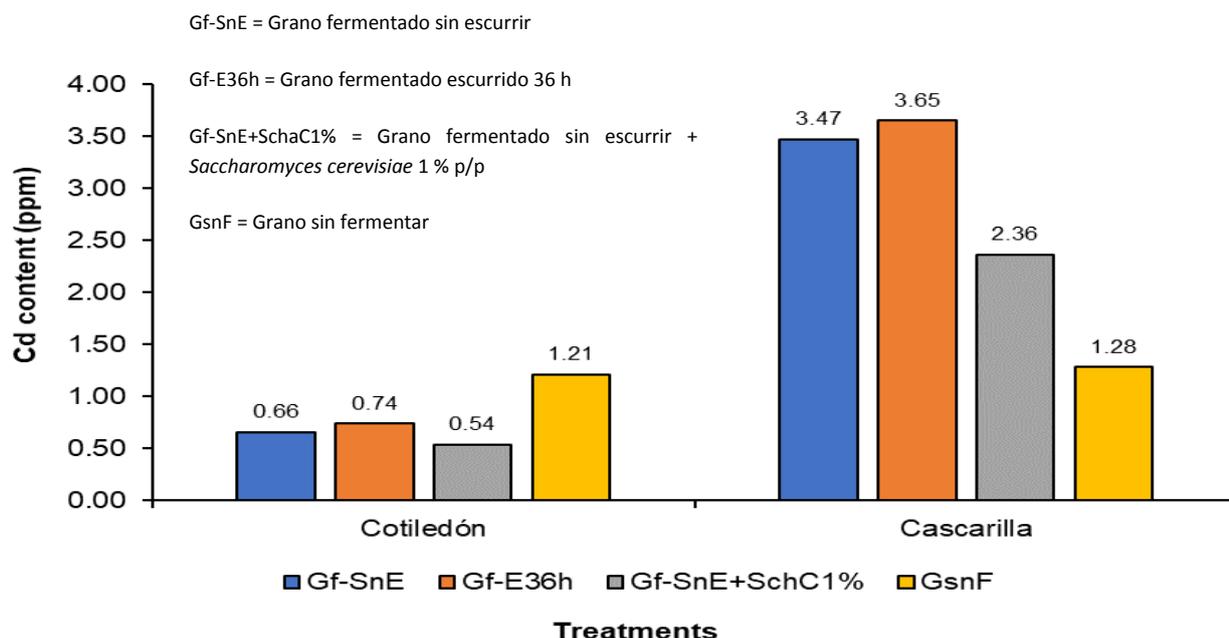
Contenido de Cd en la corteza de los granos de cacao en relación con los tratamientos estudiados.

Los tratamientos T₀, T₁ y T₂ tienen los valores más altos de Cd en la corteza, que posiblemente aumentan su concentración debido a su migración de los cotiledones del grano de cacao como resultado del proceso bioquímico de fermentación. El tratamiento T₃ (tratamiento con granos sin fermentar) tiene los contenidos más altos de Fe, probablemente porque esos granos sufrieron cambios químicos importantes por la fermentación, sin pérdida de sustancias orgánicas en la corteza. Finalmente, es evidente que la corteza contiene más Fe, seguido de Zn, Cu y Cd.

En años recientes, uno de los microelementos del cacao que ha adquirido relevancia mundial es el Cd, que ha sido analizado independientemente en el cotiledón y en la corteza del grano de cacao. En la Figura 1 se muestra que el contenido de cadmio es mayor en la corteza que en el cotiledón del grano de cacao. Por término medio, se obtuvo 0,79 ppm en el cotiledón y 2,69 ppm de Cd en la corteza, con una proporción corteza/cotiledón igual a 3,40. Cuando los granos de cacao alcanzan un porcentaje de fermentación superior al 80 %, como es el caso del presente estudio, el contenido de cadmio de los cotiledones se reduce como resultado de la migración a la testa y al entorno externo. Los granos no fermentados tienen contenidos de Cd muy similares, tanto en el cotiledón (1,21 ppm) como en la corteza (1,28 ppm).

La Figura 1 muestra claramente que la fermentación del grano en cualquier modalidad de tratamiento reduce el contenido de Cd de los cotiledones del grano de cacao.

Figura 1. Contenido de cadmio en el cotiledón y en las cortezas del grano de cacao, con respecto a los tratamientos objeto de estudio.



Contenido de Cd (ppm)

Gf-SnE = Grano fermentado sin escurrir

Gf-E36h = Grano fermentado escurrido 36 h

Gf-SnE+SchaC1% = Grano fermentado sin escurrir + *Saccharomyces cerevisiae* 1 % p/p

GsnF = Grano sin fermentar

Cotiledón

Cascarilla

Gf-SnE

Gf-E36h

Gf-SnE+SchaC1%

GsnF

Tratamientos

77. PERÚ

Ardules, M. 2012. "Prospección de cadmio y plomo en tres cultivares de cacao en suelos del Valle Kumpirushiato, Echarati", La Convención. Cusco

Estudio del entorno: Ubicación: distrito de Echarati, sectores de Kuviriari, Alto Kepashiato, Cigakiato, Puguientimari en el Valle Kumpirushiato, Echarati-La Convención-Cusco. Clima lluvioso templado con inviernos secos, con precipitaciones anuales de 1211,5 mm y una temperatura media de 24,9 °C. Las lluvias se distribuyen en un período seco entre los meses de mayo y julio y un período con precipitaciones abundantes en los meses de diciembre a marzo. Existen áreas con intervención antrópica en las que se lleva a cabo una intensa actividad agrícola, zonas de bosque húmedo subtropical, de topografía accidentada con pendientes predominantes en los sectores de Kuviriari (45 %), Alto Kepashiato (33 %), Cigakiato (42 %), Puguientimari (48 %), que están distribuidas de forma muy dispersa en todo el valle.

Metodología y resultados: Trabajó con 12 muestras de granos de cacao (*Theobroma cacao*): tres CCN-51 (Castro Naranjal Collection -51), tres ICS-1 (Institute College Selection -1 Collection), tres ICS -95 (Institute College Selection Collection - 95) de cada uno de los sectores, y con 04 muestras de suelo: una de cada sector, extraídas a 30 cm. de profundidad, conforme a lo establecido en el estándar mexicano NMX-AA-132-SCFI-20 (muestreo de suelo para identificar y cuantificar metales, metaloides y manejo de muestras), y concluyó que en los cuatro sectores estudiados, no se había detectado cadmio en el suelo o, en su defecto, se encontraron niveles no perceptibles. Esos resultados están por debajo de los estándares de calidad ambiental para el suelo decretados

en el D.S. 002-2013-MINAG (2013). El método usado para la determinación del cadmio es el método EPA 6010B "Determinación de metales y oligoelementos, residuos, desechos, lodos, sedimentos y otros desechos sólidos por Espectrometría de Emisión Atómica con Plasma acoplado Inductivamente". Rev. 2. Enero de 1995. Las muestras fueron analizadas en el laboratorio Envirolab-Perú. Solo se detectó cadmio en los granos de cacao de los cultivares ICS-95 (0,3 mg / kg) y CCN-51 (0,2 mg / kg), en la parcela del sector de Cigakiato.

78. PERÚ

Marie Zug, K, Huamaní Yupanqui, H, Julia Susanne Frank Meyberg y Cierjacks Arne Cierjacks. 2019. Acumulación de cadmio en el cacao peruano (*Theobroma cacao* L.) y oportunidades de mitigación. de la contaminación del agua, el aire y el suelo.

Los cultivos son la principal fuente de Cd tóxico para humanos, debido a la asimilación de suelos contaminados de forma natural o antropogénica. La ingestión crónica de Cd causa daños renales, hepáticos y óseos, así como un riesgo aumentado de cáncer. El cacao es conocido por acumular Cd y, por consiguiente, puede ser potencialmente dañino para la salud humana. En consecuencia, debe evitarse la producción de cacao en suelos intensamente contaminados. Los productos de cacao de América del Sur suelen exceder los límites de Cd, pero los factores que fomentan la asimilación del Cd todavía están muy poco estudiados. En este estudio, hemos medido las concentraciones de Cd en polvo desgrasado de semillas no fermentadas en 40 árboles diferentes de 20 fincas en la región de Huánuco (Perú), y se han asociado con los niveles de Cd en el suelo de las fincas, el manejo del campo y la diversidad de la vegetación próxima.

La concentración media de Cd encontrada en el cacao de la región del estudio fue de 2,46 mg kg⁻¹, con una variación de 0,2–12,56 mg kg⁻¹. El contenido máximo medio fue una orden de magnitud superior al límite permitido de 1,5 mg kg⁻¹ y fue el más alto recogido hasta el momento en la literatura. El contenido de Cd del suelo era el impulsor más relevante de la concentración de Cd en el cacao. Además, los fertilizantes usados ocasionaron una concentración significativamente superior de Cd en el cacao. La biodiversidad superior de hierbas mostró una correlación positiva con los contenidos de Cd en el cacao. El estudio muestra que, además de la conocida correlación de las condiciones del suelo con la acumulación de Cd en las semillas de cacao, los cambios en la fertilización y en la composición de la planta pueden ser medidas prometedoras para contrarrestar la contaminación por Cd en regiones con un alto contenido de Cd en el suelo.

La versión online de este artículo (<https://doi.org/10.1007/s11270-019-4109-x>) contiene material suplementario, disponible para usuarios autorizados.

79. PERÚ

Condori, D. 2018. Perú. Informe de Estudio: "Cadmio en el cultivo del cacao"

OBJETIVOS: a) Realizar una revisión bibliográfica actualizada de las fuentes, causas, efectos, contenidos e implicaciones del contenido de Cd en el cultivo del cacao, y b) Describir propuestas de mitigación o remediación del cadmio en áreas de cultivo y en los granos de cacao.

La liberación de Cd en el medio ambiente ha aumentado por la actuación del hombre (quema de combustibles fósiles, metalurgia, fabricación de baterías, pigmentos, incineración de residuos), por el uso de fertilizantes fosfatados y productos agroquímicos; además, fumar también se ha identificado como un contribuyente significativo de la exposición al Cd.

El aumento de los niveles de Cd en la planta puede deberse a varios factores, como:

Factores edáficos (suelo)

- pH: la adsorción aumenta cuando disminuye el pH
- Salinidad del suelo: la adsorción aumenta con la salinidad
- Contenido de Cd: la adsorción aumenta su concentración
- Micronutrientes: la deficiencia de Zn aumenta la adsorción de Cd
- Contenido de materia orgánica: la adsorción desciende con su aumento

Factores del cultivo

- Cultivos: ciertos tipos de cacao adsorben más Cd que otros
- Tejido de la planta: hoja> almendra (mucílago> testa> cotiledón)> raíces
- Edad de las hojas: hojas viejas>hojas jóvenes

Factores antropogénicos

- Uso excesivo de plaguicidas que contienen trazas de Cd: eliminan microorganismos eficaces en el suelo

- Uso excesivo de fertilizantes de fosfato: contienen trazas de Cd (0,1 – 170,00 mg / kg)
- Uso excesivo de guano de las islas: puede contener trazas de Cd (2,44 – 5,50 mg / kg)
- Riego con ríos contaminados: especialmente en zonas mineras o de antiguas minas.

Propuestas para la mitigación o remediación del contenido de Cd en el cultivo del cacao

La remediación del suelo puede ser una de las herramientas viables para reducir la solubilidad del Cd, previniendo de esta forma la asimilación excesiva y la acumulación de Cd en las plantas. Partiendo de resultados de varios estudios, se han presentado una serie de recomendaciones preliminares para ayudar a los productores de cacao a afrontar la contaminación potencial de Cd en el cultivo de cacao.

Antes de la mitigación o la remediación:

Análisis químicos del suelo (pH, macro y micronutrientes)

Evaluación del contenido de Cd en el suelo, el agua de riego y los granos de cacao

Estrategia en plantaciones nuevas:

Instalar plantaciones en suelos agrícolas que tengan menos de 1,4 ppm de Cd total y agua de riego cuyos contenidos no superen 0,005 mg / L.57.

Instalar las plantaciones en áreas alejadas de carreteras o tomar medidas para prevenir el contacto del cacao con los gases que emite la combustión de los vehículos. Así mismo, se ubicarán en áreas alejadas de vertederos de las ciudades o de zonas mineras.

Estrategia en plantaciones ya instaladas:

Incrementar los niveles de Zn y Mn en el suelo. El sulfato de zinc tiene un efecto positivo en la disminución del contenido de Cd de los granos de cacao. La aplicación de sulfato de Zn debería hacerse de forma equilibrada, conforme a los requisitos del cultivo y el suelo.

Aplicar niveles de caliza en bajas dosis (dolomita - CaCO₃.MgCO₃) para aumentar gradualmente el pH e incorporar Ca y Mg, y reducir la absorción de Cd. También se puede aplicar cal para corregir el pH y obtener el mismo resultado.

Incrementar el contenido de materia orgánica del suelo y mejorar su actividad biológica utilizando fertilizantes o abonos orgánicos (compost, humus, bocashi, entre otros).

Evitar el uso de fertilizantes fosforados y roca fosfórica que pueden contener altas concentraciones de Cd, y verificar el contenido de metales pesados. El valor de EC recomendado es de un máximo de 30 ppm Cd / Kg.

Usar fertilizantes de nitrógeno y potasio (NPK), pero verificar previamente el contenido de metales pesados.

Usar carbón activado o biochar (biocarbón), que puede adsorber cadmio y reducir su biodisponibilidad para la planta.

Usar biofertilizantes con base de levaduras, como el producto FERTILEV®, EM® (microorganismos eficientes) u hongos micorrícicos, porque estos organismos tienen la capacidad de adsorber cadmio y bioacumularlo o inmovilizarlo.

En plantaciones con un alto contenido de Cd en la hoja, retirarlas de la parcela tras la poda.

Reducir o evitar el uso de plaguicidas como fungicidas o insecticidas, como se hace en la agricultura orgánica. Los plaguicidas pueden aumentar el contenido de Cd, y tener un efecto negativo en los microorganismos nativos del suelo.

Seleccionar variedades de cacao que no acumulen altos niveles de metales pesados.

Durante la fase postcosecha del cacao

Ecurrir los granos antes de la fermentación (de 12 a 14 horas) reduce el contenido de mucílago del cacao y, en consecuencia, en contenido de Cd en el grano.

Usar levaduras durante la fermentación; las levaduras como la *Saccharomyces cerevisiae* u otras usadas para la producción de vino o champagne, reducen el contenido de Cd en el grano.

Evitar secar los granos de cacao en los caminos o exponerlos al humo de vehículos; estas prácticas pueden aumentar el contenido de Cd en el grano.

La mitigación o remediación del Cd debe afrontarse de forma integrada y estas recomendaciones para reducir los niveles de Cd debe aplicarse progresivamente a las prácticas agrícolas y las operaciones postcosecha.

Es importante mencionar que el Perú, como miembro de la FAO y la OMS, está desarrollando un código de prácticas para evitar y reducir la contaminación por Cd del cacao, que está siendo evaluado por la JECFA. El desarrollo de un CDP ayudará a prevenir y reducir la contaminación de Cd en el cacao y los productos del cacao, ayudando de esta forma a reducir la exposición a ese contaminante y las posibles alteraciones en el comercio internacional.

Conclusiones

El cacao peruano está en proceso de desarrollo y crecimiento y sus principales mercados son Europa (granos de cacao) y América del Norte (chocolate).

En algunas cacaoteras del Perú y en la región, el contenido de cadmio en los granos de cacao es alto (> 0,8 a 3,14 ppm) en relación con el nivel máximo (NM) descrito en el Reglamento europeo 488/2014 (0,8 ppm) y solicitado por los importadores.

El contenido de cadmio en los diversos tipos de chocolates comercializados en el país parece cumplir los NM del Reglamento europeo 488/2014 (0,8 ppm). Se necesitan todavía más datos para verificar esta conclusión.

La aplicación del Reglamento europeo 488/2014 podría limitar las exportaciones peruanas de granos de cacao, generando un impacto social y económico negativo en las familias productoras de cacao y en las instituciones exportadoras.

Un alto contenido de Cd en el cacao y sus derivados es un problema real y actual y deben darse soluciones para cada fase de la cadena de valor.

La mitigación o remediación del Cd en la cadena del cacao debe enfocarse de forma integrada y progresiva, comenzando por las prácticas agrícolas y continuando con las operaciones postcosecha.

El establecimiento de NM parece tener dos connotaciones. La primera está relacionada con la inocuidad, para reducir la exposición del consumidor al Cd, a través de los alimentos. La segunda es de naturaleza económica, para la negociación comercial de materia prima.

80. PERÚ

Rojas, R., Rodríguez, C., Ruiz, C., Portales, R., Neyra, E., Patel K., Mogrovejo J., Salazar G., Hurtado, J. 2017. Cacao Chuncho de Cusco

La publicación CACAO CHUNCHO DEL CUSCO resume las principales conclusiones obtenidas durante la ejecución del proyecto "Del cacao al Chocolate: Estudio Morfológico, Genómico, Metabólico y Sensorial del Cacao Chuncho del Cusco para el aseguramiento de su calidad y la innovación de la Industria Chocolatera Peruana" (Convenio 159-PNICP-PIAP-2015), que fue cofinanciado por Innóvate Perú.

La entidad solicitante del proyecto fue la Universidad Peruana Cayetano Heredia (UPCH) y las entidades asociadas son el Instituto de Investigación para el Desarrollo (IRD), APPCACAO, La Fábrica de Chocolates La Ibérica, Chocomuseo y el Centro de Innovación del Cacao (CIC).

El objetivo del estudio era caracterizar morfológicamente, genéticamente, químicamente y sensorialmente 11 cultivares de cacao "Chuncho" de Quillabamba, provincia de La Convención, Cusco.

Nota: Para este trabajo, de la publicación mencionada solo se han extraído los puntos relativos a la propuesta de desarrollo de un código de prácticas para la prevención y la reducción de la contaminación por cadmio en los granos de cacao, pero teniendo siempre en mente los beneficios nutraceúticos y la mejora genética de los cultivos de cacao que ha mostrado el Cacao Chuncho de la región de Cusco.

Proceso de fermentación y secado, y elaboración de la pasta de cacao

La cosecha y el aprovechamiento de los 11 cultivares de cacao se llevaron a cabo con el apoyo de los productores, realizando la cosecha de las vainas por tipo de cacao y planta por planta, solo se usaron vainas maduras, se evitó cosechar vainas enfermas, sobremaduras y verdes. Seguidamente, los granos de cacao se introdujeron en sacos de tela y en los cajones de fermentación; el proceso duró entre 4 y 5 días, dependiendo del tamaño de las almendras. Los cajones de fermentación fueron facilitados por los productores, se ubicaron en lugares protegidos en Calzada y Cacaopampa, para garantizar un proceso correcto de fermentación.

El proceso de secado se realizó en la ciudad de Quillabamba, usando palés de madera, durante un período de 5 días, con 2 a 4 horas diarias de exposición al sol. El secado se realizó conforme a los criterios de buenas prácticas de cosecha y aprovechamiento del cacao, adaptados para el cacao Chuncho. Al final del proceso de secado, se embolsó el cacao en sacos de yute, con las etiquetas correspondientes de identificación de las 11 muestras de cacao Chuncho.

Las muestras se sometieron al proceso de tostado, a una temperatura de 120 °C, durante un período de 20 minutos. Después de retirar la corteza y obtener el cacao sin cáscara, continuó el proceso de molido repetido durante un período de 14 horas, hasta obtener licor de cacao. Para ello se usó un molino manual y un equipo de molido de Cocoa Town.

Metales pesados

Los Laboratorios CERPER S.A. realizaron otros análisis de minerales/metales pesados (Cd, Al, antimonio (Sb), As, bario (Ba), berilo (Be), boro (B), cerio (Ce), estroncio (Sr), Litio (Li), mercurio (Hg), níquel (Ni), plata (Ag), Pb, titanio (Ti) y vanadio (V)), usando la técnica ICP-AES (Método EPA 200.7. 1994. Método de espectrómetro de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente, para análisis de trazas de elementos del agua y los residuos)

Análisis genético

Tras la caracterización morfológica de los cultivares seleccionados de cacao, se tomaron entre 2 y 6 muestras de hojas de cada uno de ellos; a continuación, las hojas fueron transportadas en bolsas ziploc® con gel de sílice, a la Unidad de Genómica de la UPCH, con los siguientes códigos:

Cultivar	Código	Repeticiones
Chuncho común	Muestra 1	M1-1, M1-2, M1-3, M1-4, M1-5
Común	Muestra 2	M2-1, M2-2
Chuncho	Muestra 3	M3-1, M3-2, M3-3, M3-4, M3-5
Común liso	Muestra 4	M4-1, M4-3, M4-5, M4-7, M4-8
Común rugoso	Muestra 5	M5-1, M5-3, M5-4, M5-5
Común manzana	Muestra 6	M6-1, M6-2, M6-3, M6-4, M6-5
Cáscara de huevo	Muestra 7	M7-1, M7-2, M7-3, M7-4, M7-5
Señorita	Muestra 8	M8-2, M8-3
Achoccha	Muestra 9	M9-1, M9-2, M9-3, M9-4, M9-5, M9-6
Chuncho de montaña	Muestra 10	M10-1, M10-4, M10-5
Pamuco rugoso	Muestra 11	M11-1, M11-2, M11-3, M11-4

Para el análisis genético con la técnica AFLP (polimorfismos en la longitud de fragmentos amplificados), se siguió el protocolo Doyle & Doyle (1990) con algunas modificaciones:

Resultados y discusión

Contenido de cadmio en granos

CULTIVAR	PRODUCTOR	ZONA	Concentración (Cd mg/kg)
Chuncho	Ricardo Quintanilla Gamarra	Santa Ana – Cacaopampa	0,11
Común	Ricardo Quintanilla Gamarra	Santa Ana – Cacaopampa	0,11
Señorita	Francisco Torres Baca	Echarati-Pispita	0,07
Achoccha	Francisco Torres Baca	Echarati-Pispita	0,10
Cáscara de huevo	Francisco Torres Baca	Echarati-Pispita	0,05
Común manzana	Lorenzo Bedoya Farfán	Santa Ana - San Pedro	<0,05
Común liso	Orlando Tupayachi Muñoz	Santa Ana – Cacaopampa	0,07
Común rugoso	Orlando Tupayachi Muñoz	Santa Ana – Cacaopampa	0,08
Chuncho de montaña	Francisco Torres Baca	Echarati-Pispita	0,08
Chuncho común	Demetrio Villavicencio Pereira	Echarati - Chahuares	<0,05
Pamuco rugoso	Francisco Torres Baca	Echarati-Pispita	0,09

Análisis genético

El proceso de extracción con CTAB (bromuro de hexadeciltrimetilamonio) fue exitoso, y se obtuvo una concentración de ADN del orden de 57,9 a 211,6 ng / μ L con un ratio de A260 / A280 cercano a 2, obteniendo pues un ADN de calidad para trabajar en las reacciones AFLP. El análisis de la matriz básica de datos de presencia y ausencia de bandas consideró un total de 21 bandas polimórficas en el rango de 80 a 350 pb.

En conclusión, el uso de la técnica AFLP permitió la generación de patrones moleculares para diferenciar genéticamente los cultivares de cacao. Los cultivares "Chuncho Común" y "Común" son los más distantes genéticamente de los otros cultivares. Se pueden proponer nichos para los siguientes cultivares como: "Señorita" con "Achoccha", "Pamuco rugoso" con "Chuncho de Montaña" y "Chuncho" con "Común Liso".

Estudio microbiológico del proceso de fermentación del cultivar "Cáscara de huevo".

Durante el proceso de fermentación del cultivar de cacao de Chuncho "Cáscara de huevo", se observó una variación en los valores del pH de la masa, debido a la acción de los microorganismos presentes en la caja de fermentación. El pH inicial de la masa de fermentación era de 4,0, que es coherente con lo publicado en otros estudios científicos que han reportado valores del pH en el rango entre 3,5 y 4,5. Posiblemente, la variación en el pH se debe al consumo de ácido cítrico de las levaduras que, por su parte, permite el crecimiento de la bacteria del ácido láctico (BAL). Además, se observó un aumento de la temperatura hasta alcanzar los 42,8 ° C en el día 4 de la fermentación; esto se debe a que las reacciones metabólicas son altamente exotérmicas en las levaduras y las bacterias durante el desarrollo de la fermentación.

En el análisis microbiológico se observó una sucesión de microorganismos a través del proceso de fermentación. El segundo día, era evidente un mayor número de microorganismos en el medio MRS (agar de Man, Rogosa y Sharpe), que incluían lactobacilos y levaduras. Seguidamente, se produjo un aumento notable en el crecimiento del medio Sabouraud, que indicaba la presencia de levaduras. A partir del cuarto día, había aumentado el crecimiento en el medio GYC (agar de cloranfenicol glucosa), que está relacionado con el aumento en bacterias de ácido acético (BAA), y se mantuvo dicho crecimiento hasta el final de la fermentación.

Aislamiento y caracterización de levaduras

Durante el proceso de fermentación del cacao del cultivar de Chuncho "Cáscara de huevo", se aislaron 26 levaduras; se identificó la presencia de *Saccharomyces cerevisiae*, *Kloeckera apiculata* (anamorfa o *Hanseniaspora uvarum*) y *Candida sp.* La levadura *S. cerevisiae* domina el curso de la fermentación; por consiguiente, puede encontrarse en las muestras, tiene un rápido crecimiento y un pH ligeramente alto y puede tolerar altas concentraciones de etanol y temperatura.

7. CONCLUSIONES

La prevención y la reducción de Cd en los sistemas de producción requiere un enfoque exhaustivo para comprender los factores del suelo que llevan a una asimilación alta de Cd por parte de los cultivos de cacao, con el fin de definir estrategias para evitar su bioacumulación. Los elementos disponibles o extraíbles son aquellos

que pueden participar en reacciones químicas o biológicas. Las raíces de las plantas de cacao solo pueden absorber iones cuando están disponibles en la solución del suelo.

En 1999, McLaughlin, M. y Singh B. R. prevén que la prevención y la reducción de Cd en los sistemas de producción requiere un enfoque exhaustivo para comprender los factores del suelo que llevan a una asimilación alta de Cd por parte de los cultivos de cacao, con el fin de definir estrategias para evitar su bioacumulación. Los elementos disponibles o extraíbles son aquellos que pueden participar en reacciones químicas o biológicas. Las raíces de las plantas de cacao solo pueden absorber iones cuando están disponibles en la solución del suelo. Además, la disponibilidad de Cd en el suelo para los cultivos alimenticios depende de los procesos físicos, químicos y biológicos que controlan la solubilidad y la forma del Cd en la solución del suelo, especialmente en la rizosfera. Factores no bióticos importantes incluyen el pH del suelo, el contenido de arcilla, los carbonatos, los óxidos de hierro y manganeso, el potencial de oxidación-reducción, el tipo y el contenido de materia orgánica, los ligandos complejos y el contenido de agua, así como las prácticas de gestión del suelo, incluidas las rotaciones de cultivos y las enmiendas del suelo, como los fertilizantes de fosfato, el estiércol, los lodos residuales y la cal agrícola. Factores bióticos importantes conocidos incluyen las especies de plantas, los mecanismos de asimilación del Cd por parte de las plantas, los cultivares, la actividad radicular, los patrones radiculares y los microorganismos de la rizosfera asociados a las raíces (como los hongos micorrízicos); todos estos factores interactúan para influir en la disponibilidad de Cd para las plantas; se necesitan más investigaciones sobre los mecanismos de asimilación por parte de las raíces, la translocación, la retranslocación y el depósito de Cd en las plantas. Y, por último, aunque no por ello menos importante, los factores que controlan la biodisponibilidad de Cd de las plantas alimenticias y las interacciones de los diversos constituyentes de la dieta y debe estudiarse en mayor detalle el estatus nutricional individual de la biodisponibilidad de Cd de esos alimentos antes de poder evaluar y entender plenamente el significado de los niveles actuales de Cd en alimentos para la salud y el bienestar.

8. OBSERVACIONES GENERALES SOBRE EL ANTEPROYECTO DE CÓDIGO DE PRÁCTICAS PARA LA PREVENCIÓN Y LA REDUCCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN POR CADMIO EN LOS GRANOS DE CACAO

El Canadá apoya el desarrollo de este Código de prácticas teniendo en cuenta que ya se han establecido niveles máximos (NM) del Codex para ciertos productos del chocolate o están siendo considerados por parte del CCCF.

Colombia considera imprescindible la adopción de un Código de prácticas para la prevención y la reducción de la contaminación por cadmio (Cd) en los granos de cacao para el sector del cacao colombiano, siempre que estas prácticas sean realizables y económicamente viables para los pequeños, medianos y grandes cacaoteros. Además, también es esencial garantizar la participación de todas las instituciones que componen la cadena de valor del cacao para que este Código de prácticas sea efectivamente funcional y se aplique realmente.

Iraq está de acuerdo con el anteproyecto de Código de prácticas sin ninguna observación al respecto.

A Tailandia gustaría expresar su agradecimiento a el Perú, Ghana y el Ecuador por preparar el anteproyecto de CDP para la prevención y la reducción de la contaminación por cadmio en los granos de cacao.

Uganda expresa su agradecimiento por el trabajo realizado, que ayudará al sector.

Los Estados Unidos de América apoyan los progresos realizados en el desarrollo del Código de prácticas, que constituirá una importante contribución a la hora de reducir los niveles de cadmio en los granos de cacao y como apoyo al comercio internacional de granos de cacao.

La Asociación Europea del Cacao (ECA) quiere agradecer su trabajo a los presidentes y miembros del grupo de trabajo por medios electrónicos en aras del desarrollo de un anteproyecto de Código de Prácticas para la prevención y la reducción de la contaminación por cadmio en los granos de cacao y no desea plantear ninguna observación más sobre el documento en este momento.

La Asociación Internacional de Confiteros desea agradecer al GTE presidido por el Perú y copresidido por el Ecuador y Ghana su anteproyecto de Código de prácticas. Creemos que es importante investigar plenamente las posibilidades de atenuación de este problema. Nos hacemos eco de nuestro sólido apoyo a unas normas globales razonablemente viables y a unas medidas orientativas sustentadas en datos científicos objetivos y una evaluación de riesgos global, así como para evitar residuos innecesarios en el suministro de alimentos.

9. RECOMENDACIONES

Debe informarse a las autoridades locales, nacionales e internacionales pertinentes, así como a las ONG que asesoran a los productores de cacao (pequeños, medianos o grandes), sobre la aplicación y el cumplimiento de este Código de prácticas para la prevención y la reducción de la contaminación por cadmio en los granos de cacao.

10. RECONOCIMIENTOS

El presidente del GTE (SENASA Perú), ing. Javier Aguilar Zapata, y los copresidentes de Ghana y el Ecuador desean expresar su más sincero agradecimiento a la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA) de los Estados Unidos, la Asociación Europea del Cacao, el Ministerio de Economía, Industria y Comercio de Costa Rica, la Agencia de Regulación Sanitaria del Brasil, la Agencia de Regulación y Control Fitosanitario y Zoonosanitario del Ecuador, la División de Seguridad Alimentaria del Ministerio de Salud de Malasia y el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego del Perú por sus valiosas observaciones para la elaboración del Anteproyecto de Código de prácticas para la prevención y la reducción de la contaminación por cadmio en los granos de cacao; así como a la Secretaría del Codex por facilitar las observaciones recibidas a través del Sistema de presentación de comentarios en línea del Codex (OCS) presentadas por el Canadá, Chile, Colombia, Costa Rica, la Unión Europea, Iraq, Kenya, la República Árabe Siria, Tailandia, Uganda, los Estados Unidos de América, la Asociación de Comercio de Tripas de Colágeno (CCTA), la Asociación Europea del Cacao (ECA) y la Asociación Internacional de Confiteros (ICA).

REFERENCIAS

- Alloway, B.J. 1995. Heavy Metals in Soils. Blackie Academic and Professional, London, UK.
- Ardiles, M. 2012. «Prospección de cadmio y plomo en tres cultivares de cacao en suelos del valle de Kumpirushiato, Echarati» La Convención. Cusco. Tesis para optar al título de Ingeniero Agrónomo Tropical. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Facultad de Ciencias Agrarias Tropicales. Carrera Profesional: Agronomía Tropical.
- 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. *Sci Total Environ* 649: 120-127. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.08.292.
- Baker, D.E., M.C. Amacher y R.M. Leach. 1979. Sewage sludge as a source of Cd in Soil-Plant-Animal Systems. *Environmental Health Perspectives* Vol. 28 45-49.
- Barraza, F., Moore, R., Rehkemper, M., Schreck, E., Lefevre, G., Kreissig, K., Coles, B., and Maurice, L. 2019. Cadmium isotope fractionation in the soil –cacao systems of Ecuador: a pilot field study. *The Royal Society of Chemistry. Adv.* 2019. 9. 34011-34022
- Bravo, D., S. Pardo Díaz, J. Benavides Erazo, G. Rengifo Estrada, O. Braissant, C. León Moreno. 2018. Cadmium and cadmium-tolerant soil bacteria in cacao crops from northeastern Colombia. *Appl. Microbio.* 124:1175-1194.
- Brown, S., R.L. Chaney y J.S. Angle. 1997. Subsurface liming and metal movement in soils amended with lime-stabilized biosolids. *J. Environ. Qual.* 26:724-732.
- CAOBISCO/ECA/FCC. 2015. Cocoa Beans: Chocolate and Cocoa Industry Quality Requirements. September 2015 (End, M.J and Dand, R., Editors).
- CAC/GL 50-2004. General Guidelines on Sampling
- CAC/GL 69-2008. Directrices para la validación de medidas de control de la inocuidad de los alimentos CAC/RCP1. Principios generales de higiene de los alimentos
- CAC / RCP 49-2001. Código de prácticas sobre medidas aplicables en el origen para reducir la contaminación de los alimentos con sustancias químicas.
- CAC/RCP 72-2013 Código de prácticas para prevenir y reducir la contaminación del cacao por ocratoxina A.
- Cargua, J. 2010. Determinación de las formas de Cu, Cd, Ni, Pb y Zn y su Biodisponibilidad en Suelos Agrícolas del Litoral Ecuatoriano. Tesis de grado Ingeniera Agropecuaria. Universidad Tecnológica Equinoccial. Santo Domingo (Ecuador). 1-109 págs.
- Cargua, J., Mite, F., Carrillo, M. y Durango W. 2010. Determinación de las formas de Cu, Cd, Ni, Pb, y Zn y su biodisponibilidad en suelos agrícolas del litoral ecuatoriano. XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. Santo Domingo, 17-19 de noviembre 2010.
- Carrillo, M., Alves R., Matos A., F. Fontes, M. 2010. Efeito de diferentes condicionadores na mobilidade de cádmio em dois latossolos brasileiros. XXXIII Congresso Brasileiro de Ciencia do Solo. Minas Gerais. 31 de julio - 5 de agosto de 2010.
- CCME 1999. Canadian Council Minister Environmental. Recommended soil quality guidelines, marzo de 1997, 1999. <http://www.ccme.ca/ccme/index.html>
- CODEX STAN 228/2001. Métodos de Análisis generales para los contaminantes.
- Comité del Codex sobre etiquetado de los alimentos (GL 32-1999): “Directrices para la Producción, Elaboración, Etiquetado y Comercialización de Alimentos Producidos Orgánicamente.”
- Condori, D. 2018. M.Sc. Informe de Estudio: “Cadmio en el cultivo del cacao”. Fábrica de Chocolates La Ibérica. Octubre 2018. Perú
- Chaney, R.L y Baklanov. 2017. Phytoremediation and Phytomining: Status and Promise. *Adv. Botan. Res.* 83:189-221.
- Chaney, R.L., C.E. Green, H. Ajwa y R. Smith. 2009. Zinc fertilization plus liming to reduce cadmium uptake by Romaine lettuce on Cd-mineralized Lockwood soil. *Proc. Int. Plant Nutrition Colloquium XVI* (25-28 de agosto 2009, Sacramento, CA): Paper 1252. (<http://repositories.cdlib.org/ipnc/xvi/1252>)

- Chicón, L. 2006. Especiación de metales pesados en lodos de aguas residuales de origen urbano y aplicación de lodos digeridos como mejoradores de suelos. Investigación Programa Doctorado en Ingeniería Ambiental de la Universidad de Málaga.
- Chupillon-Cubas J, Arévalo-Hernández, C; Arévalo-Gardini, E; Farfán-Pinedo, A; Baligar V3. 2017. Acumulación de cadmio en seis genotipos de cacao utilizados como patrón. Simposio Internacional sobre Investigación Cacaotera (SIIC), Lima, Perú, 13-17 de noviembre de 2017
- Dávila, C. 2018a. Paquete tecnológico para disminuir el contenido de cadmio en los granos de cacao. Área de Proyectos. Cooperativa Agroindustrial Cacao Alto Huallaga. Castillo Grande, Tingo María, Perú. Octubre, 2018.
- Dávila, C. 2018b. Cadmio en el cultivo de Cacao. Diagnóstico y Desarrollo de Tecnologías para enfrentar esta amenaza. Área de Proyectos. Cooperativa Agroindustrial Cacao Alto Huallaga. Castillo Grande, Tingo María, Perú.
- Dávila, C. 2018c. "Efecto del compost y la gallinaza en las propiedades fisicoquímicas del suelo y en contenido de cadmio de los granos secos del cacao (*Theobroma cacao* L), CV. CCN-51". Tesis para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Facultad de Agronomía. Departamento Académico de Ciencias Agrarias. Tingo María, Huánuco. Perú.
- EFSA. 2009. Dictamen científico de la Comisión Técnica sobre contaminantes en la cadena alimentaria a petición de la Comisión Europea acerca del cadmio en los alimentos. The EFSA Journal, 980, 1-139.
- Engbersen, N, Gramlich, A, López, M., Schwarz, G, Hattendor, B, Gutiérrez. O., Schulín, R. 2019. Cadmium accumulation and allocation in different cacao cultivars. *Science of the Total Environment*. Volume 678, 15 August 2019, Pages 660-670. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.001>
- Falcón, G y Dávila C. 2019. "Efecto de la fermentación en el contenido de cadmio y polifenoles totales de los granos de cacao (*Theobroma cacao* L.) Clon CCN-51. Tesis: Maestría en Ciencias Agrícolas. Mención cultivos tropicales. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Escuela de posgrado. Tingo María. Huánuco. Perú.
- García, J. y García L. 2018. Selección genética con reducida acumulación de cadmio. Tesis para optar el Título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María. Huánuco.
- Garrett, R.G., A.R.D. Porter, P.A. Hunt y G.C. Lalor. 2008. The presence of anomalous trace element levels in present day Jamaican soils and the geochemistry of Late-Miocene or Pliocene phosphorites. *Appl. Geochem.* 23:822-834.
- Gramlich, A., Tandy, S., Gauggel, C., López, M., Perla, D., González, V., Schulín, R. 2018. Soil cadmium uptake by cocoa in Honduras. *Science of the Total Environment*, Volume 612. pages 370-378.
- Gramlich, A., Tandy, S., Andrés, C., Chincheros Paniagua, J., Armengot. L., Schneider. M, Schulín, R. 2017. «Cadmium uptake by cocoa trees in agroforestry and monoculture systems under conventional and organic management». *Science of the Total Environment*, volumen 580:677-686.
- Guo, G., Zhou, Q., and Ma, L. Q "Availability and assessment of fixing additives for the in-situ remediation of heavy metal contaminated soils: a review," *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 116, no. 1-3, pp. 513-528, 2006
- Gutiérrez E y León C. 2017. Investigación en Cadmio en Colombia: Cadena de Cacao. CORPOICA, FEDECACAO, MINAGRICULTURA. Taller Científico Internacional sobre Metales Pesados en Cacao, Lima, del 17 al 21 de julio de 2017, organizado por el Ministerio de Agricultura y Riego de Perú y la Organización Internacional del Cacao (ICCO).
- Hazelton PA, Murphy BW 2007 *Interpreting Soil Test Results: What Do All the Numbers Mean?* CSIRO Publishing: Melbourne.
- Inga, Jubert. 2017. Studies of drainage, fermentation and removal times of Cacao Criollo. Tesis para obtener el título de Ingeniero de la Industria Alimentaria. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María. Huánuco.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), 2017. Guía de manejo fitosanitario y de inocuidad en el cacaotal. Erika Soto, Patricia Mendoza, Carlos Leyva, y Juan Guerrero. Lima, Perú IICA. 2017. 24 p.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, IICA 2017b. Manual Técnico del Cultivo de Cacao. Buenas Prácticas para América Latina. Miguel Ángel Arvelo Sánchez, Diego González León, Steven Maroto Arce, Tanya Delgado López y Paola Montoya López. – San José, C.R.: IICA, 2017. 165 p.
- International Programme on Chemical Safety (IPCS). 2010. Environmental health criteria. EHC 135: Cadmium – environmental aspects.
- Jebara, S.H., Souhir Abdelkrim Ayed, Manel Chiboub, Imen Challougui Fatnassi, Omar Saadani, Ghassen Abid, Moez Jebara. 2019. Phytoremediation of Cadmium-Contaminated Soils by Using Legumes Inoculated by Efficient and

- Cadmium-Resistant Plant Growth-Promoting Bacteria in Cadmium Toxicity and Tolerance in Plants from Physiology to Remediation. Academic Press. Chapter 19, pages 479-493.
- John, D. and Leventhal, S. 1995. Bioavailability of metals. Preliminary compilation of Descriptive Geoenvironmental Mineral deposit Models. Edward A. du Bray, editor. U.S. Geological Survey Open-File Book 95-831. [Pubs.usgs.gov/of/1995/ofr-95-0831](https://pubs.usgs.gov/of/1995/ofr-95-0831)
- KABATA-PENDIAS, A. and PENDIAS, H. 2001. Trace elements in soils and plants. 3rd ed.: Florida. CRC Press, 413 p.
- Lewis, C., A.M. Lennon, G. Eudoxie and P. Umaharan. 2018. Genetic variation in bioaccumulation and partitioning of cadmium in *Theobroma cacao* L. Sci. of the Total Environ. 640-641:696-703. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.365>.
- Leyva, C. 2019. Especialista en seguridad agroalimentaria. SENASA-PERÚ. Viajes de campo a la región de Cuzco en Perú como asesor de cacao en grano.
- Liu, J. and N.V. Hue. 2001. Amending subsoil acidity by surface applications of gypsum, lime, and composts. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 32: 2117-2132.
- Marie Zug, K, Huamaní Yupanqui Hugo, Julia Susanne Frank Meyberg and Cierjacks Arne Cierjacks. 2019. Water, Air, & Soil Pollution. Cadmium Accumulation in Peruvian Cacao (*Theobroma cacao* L.) and Opportunities for Mitigation. An International Journal of Environmental Pollution. March 2019, 230:72.
- McLaughlin MJ, Palmer LT, Tiller KG, Beech TA, Smart MK, 1994. Increased soil salinity causes elevated Cd concentrations in field-grown potato tubers. J Environ Qual 23:1013-1018.
- McLaughlin, M. and Singh, B.R. 1999. Cadmium in Soils and Plants. Developments in Plant and Soil Sciences. Editors. Springer Science+Business Media, B.V. 1st Edition 1999
- McLaughlin Mike. 2016. Heavy metals in agriculture with a focus on Cd. Ecuador Soil Congress. CSIRO Land and Water Fertilizer Technology Research Centre, Waite Research Institute, University of Adelaide.
- Micó Llopis, C. (2005). Estudios de metales pesados en suelos agrícolas con cultivos hortícolas de la provincia de Alicante. Tesis Doctoral. Universitat de Valencia.
- MINAGRI – IICA. 2018. Perú. Foro «Factores Asociados a la Bioacumulación de Cadmio en Cacao y sus Estrategias de Mitigación». Ministerio de Agricultura y Riego e Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Lima, Perú – 22 y 23 de noviembre 2018.
- Ministerio del Ambiente de Perú. 2017. Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para el suelo. Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM
- Ministerio del Ambiente. Perú. 2008. Estándares Nacionales de calidad para agua. D.S. N°002-08-MINAM
- O'Dowd Colin D and de Leeuw Gerrit. 2007 Marine aerosol production: a review of the current knowledge. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences. <http://doi.org/10.1098/rsta.2007.2043>
- Peris Mendoza, M. 2006. Estudio de metales pesados en suelos bajo cultivos hortícolas de la provincia de Castellón. Tesis doctoral, Universitat de Valencia Servei de Publicacions
- Ramtahal Gideon, Pathmanathan Umaharan, Anand Hanuman, Carisa Davis and Leon Ali 2019. The effectiveness of soil amendments, biochar and lime, in mitigating cadmium bioaccumulation in *Theobroma cacao* L. Science of the Total Environment Volume 693, 25 November 2019, 133563. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.369>
- Ramtahal Gideon, Chang Yen Ivan, Alisha Hamid, Isaac Bekele, Frances Bekele, Kamaldeo Maharaj & Lisa Harrynanan (2018). The Effect of Liming on the Availability of Cadmium in Soils and Its Uptake in Cacao (*Theobroma Cacao* L.) In Trinidad & Tobago. Communications in Soil Science and Plant Analysis, DOI: 10.1080/00103624.2018.1510955
- Código de Prácticas internacional recomendado. Principios Generales de Higiene de los alimentos (CAC/RCP 1-1969), APPCC Anexo, pero ha sido modificado para aplicar todas las medidas de control, se emplee o no un sistema APPCC.
- Resolución Ministerial. Ministerio de Agricultura y Riego. Perú. 2018. R.M. N° 0451-2018-MINAGRI del 15 de noviembre de 2018 aprueba “Lineamientos de muestreo para la determinación de niveles de cadmio en suelos, hojas granos y productos derivados de cacao”. Publicada en el Portal Institucional del Ministerio de Agricultura y Riego. <http://minagri.gob.pe/portal/resoluciones-ministeriales/rm-2018?start=65>

- Revoredo A. y J. Hurtado. 2018. Efecto del tratamiento con 3 cepas de streptomycetos en la acumulación de cadmio en plantas de *Theobroma cacao*. Proceedings of the International Symposium on Cocoa Research 2017. ICCO International Cocoa Organization. Recuperado de: <https://www.icco.org/about-us/icconews/388-proceedings-of-the-international-symposium-on-cocoa-research-2017.html>
- Rodríguez Albarracín Heidy Soledad, Aquiles Enrique Darghan Contreras, Martha Cecilia Henao. 2019 Spatial regression modeling of soils with high cadmium content in a cocoa producing area of Central Colombia. *Geoderma Regional* Volume 16, March 2019. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2019.e00214>
- Rojas, R., Rodríguez, C., Ruiz, C., Portales, R., Neyra, E., Patel K., Mogrovejo J., Salazar G., Hurtado, Jasmín. 2017. *Cacao Chuncho del Cusco*. Universidad Peruana Cayetano Heredia, 2017. 1a Ed. diciembre 2017. Lima, Perú
- Rueda, G., Rodríguez, J. y Madriñán, R. 2011. Metodologías para establecer valores de referencia de metales pesados en suelos agrícolas: Perspectivas para Colombia. *Acta Agronómica*, Vol. 60, n.º 3 (2011).
- Ruth Vanderschueren, Vincent De Mesmaeker, Sandra Mounicou, Isaure Marie-Pierre, Emmanuel Doelsch, et al., 2020. The impact of fermentation on the distribution of Cd in cacao beans. *Food Research International* págs. 108743. Doi:10.1016/j.foodres.2019.108743. cirad -02334046v2
- Sarabia, R. 2002. Toxicidad y acumulación de Cadmio en poblaciones de diferentes especies de artemia. Facultad de Ciencias Biológicas. Tesis de Doctorado. Universidad de Valencia, Burjassot Valencia, págs. 1- 125
- Schneider, L. 2016. Effects of liming on cadmium availability in soils and uptake by cocoa. Master thesis. ETH Zürich. Swiss Federal Institute of Technology. Zurich. Department of Environmental Systems Science (D-USYS). Institute of Terrestrial Ecosystems (ITES). Soil Protection Group.
- SENESCYT 2011. Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación. Informe Técnico Final del Proyecto – PIC-12-INIAP-018: "Recuperación de suelos contaminados por la presencia de cadmio en las áreas más contaminadas de las provincias de Manabí, Santa Elena y El Oro".
- SMIARC *Technoguide 2014*. Cacao Production Brochure 1. Mayo de 2014. XI-Southern Mindanao Integrated Agricultural Research Center. Department of Agriculture RFU.
- Smolders E, Lambregts RM, McLaughlin MJ, Tiller KG, 1998. Effect of soil solution chloride on cadmium availability to Swiss chard. *J Environ Qual* 27: 426-431
- Smolders, E. 2001. Cadmium Uptake by Plants. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, Vol. 14, No. 2, 177–183, 2001
- Smolders, E. 2017. Scientific aspects underlying the regulatory framework in the area of fertilisers – state of play and future reforms. IP/A/IMCO/2016-19 - PE 595.354. Unión Europea
- Sotelo, Verlinda 2012. Effect of mucilage draining time on fermentation, physical and organoleptic quality of cocoa clone CCN51. Tesis para obtener el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Facultad de Agronomía. Departamento Académico de Ciencias Agrarias. Tingo María. Huánuco. Perú
- Tan, K.H., J.H. Edwards y O.L. Bennett. 1985. Effect of sewage sludge on mobilization of surface-applied calcium in a Greenville soil. *Soil Sci.* 139:262-269.
- Tang, J., Zhang, L., Zhang, J., Ren, L., Zhong, Y., Zheng, Y., Luo, L., Yang, Y., Huang, H., and Chen, A. 2020. Physicochemical features, metal availability and enzyme activity in heavy metal-polluted soil remediated by biochar and compost. *Science of the Total Environment*. Volume 701, 20 January 2020, 134751. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134751>.
- Tester, C.F. 1990. Organic amendment effects on physical and chemical properties of a sandy soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54:827-831.
- Torres, O. 2016. Efecto de diferentes niveles de nitrógeno en el cultivo de cacao. Anteproyecto de práctica profesional supervisada presentada a la Universidad Nacional de Agricultura como requisito previo a la obtención del Título de Ingeniero Agrónomo. Catacamas. Olancho. Honduras
- Trakal, L., M. Neuberg, P. Tlustos, J. Száková, V. Tejnecký y O. Drábek. 2011. Dolomite limestone application as a chemical immobilization of metal-contaminated soil. *Plant, Soil and Environment* 57:173-179.
- Vanderschueren Ruth, Mesmaeker Vincent De, Mounicou Sandra, Marie-Pierre Isaure, Doelsch Emmanuel, 2020. The impact of fermentation on the distribution of cadmium in cacao beans. *Food Research International* 127 págs 108743. Doi 10.1016/j.foodres.2019.108743. cirad – 02334046v2
- Vliet, van J.A. y Giller, K.E. 2017. Mineral Nutrition of Cocoa: A Review. *Advances in Agronomy*, Vol.141, págs. 185-270. ISSN 0065-213.

APÉNDICE III**LISTA DE PARTICIPANTES**

Presidencia

Ing. Javier Neptali Aguilar Zapata
Especialista en Seguridad Agroalimentaria – Subdirección de Agroalimentación
Directorado de Insumos Agrícolas e Inocuidad de los Agroalimentos
Servicio Nacional de Sanidad Agraria – SENASA Perú
Ministerio de Agricultura y Riego

Copresidencias

Ecuador y Ghana

Bélgica

Lucía Hortelano
ASOCIACIÓN EUROPEA DEL CACAO

Brasil

Ligia Lindner Schreiner
ANVISA - Agencia Brasileña de Regulación
Sanitaria

Costa Rica

Amanda Lasso Cruz
Secretaría del Codex
Ministerio de Economía, Industria y Comercio

Cuba

Roberto Dair García de la Rosa
Ministerio de Salud Pública

Ecuador

Ana Gabriela Escobar
AGROCALIDAD

Unión Europea

Sra. Veerle VANHEUSDEN, Comisión Europea,
UE

Maria GIAPRAKIS
Punto de contacto del Codex en la Unión Europea
Comisión Europea
DG de Salud y Seguridad Alimentaria
Unidad D2 – Relaciones Internacionales
Multilaterales

Malasia

Rabia' Atuladabiah Hashim
Ministerio de Salud de Malasia. División de
Seguridad Alimentaria y Calidad

Nicaragua

Miriam Canda Toledo
Ministerio de Fomento, Industria y Comercio

Perú

Carlos Leyva Fernández
Consultor sobre el cadmio en los granos de cacao.

Juan Carlos Huiza Trujillo
Punto de contacto del Codex
DIGESA (Dirección General de Salud Ambiental) –
Ministerio de Salud

Carmen Rosa Chávez Hurtado
Especialista
Dirección General Agrícola
Ministerio de Agricultura y Riego

Juan Guerrero Barrantes
Docente especialista en suelos y medio ambiente
Universidad Nacional Agraria La Molina

Cesar Dávila Zamora
Investigador de metales pesados en cultivos
tropicales
Cooperativa Agroindustrial Cacao Alto Huallaga.
Tingo María. Huánuco.

Braulio La Torre Martínez
Docente
Departamento Académico de Suelos
Universidad Nacional Agraria La Molina

Suiza

Mrs. Lucia Klauser
Directora científica
Oficina de Seguridad y Alimentos Veterinarios de
Suiza (FSVO)

Martin Müller
Punto de Contacto del Codex en Suiza
Departamento Federal de Interior (FDHA)
Oficina de Seguridad y Alimentos Veterinarios de
Suiza (FSVO) Asuntos Internacionales

Estados Unidos de América

Henry Kim
FDA de EE.UU.

Lauren Posnick Robin
FDA de EE.UU.

Eileen Abt
Experta
FDA de EE.UU.

Sra. Debra L. Miller
Asociación Internacional de Confiteros

Asociación Europea del Cacao

Julia Manetsberger
Observadora
Asociación Europea del Cacao