



# **Revisión de normativas para límites críticos de nivel de Cd en fertilizantes en el cultivo de cacao**

**Gabriel Chimbo; Laura Ramírez; Kevin Carrillo; Daniel Bravo; Ruth Quiroga; Eduardo Chávez.**

**2022**



Plataforma Multiagencia  
**Cacao 2030-2050**





Códigos JEL: Q16

FONTAGRO (Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria) es un mecanismo único de cooperación técnica entre países de América Latina, el Caribe y España, que promueve la competitividad y la seguridad alimentaria. Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), FONTAGRO, de sus Directorios Ejecutivos ni de los países que representan.

El presente documento ha sido preparado por MSc. Gabriel Chimbo (ESPOL-Ecuador); MSc. Laura Ramírez (INTA-Costa Rica); MSc. Kevin Carrillo (INTA-Costa Rica); PhD. Daniel Bravo (AGROSAVIA-Colombia); Ing. Ruth Quiroga (AGROSAVIA-Colombia); PhD. Eduardo Chávez (ESPOL-Ecuador).

Copyright © 2022 Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial- SinObrasDerivadas (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) y puede ser reproducida para cualquier uso no comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas. Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI (UNCITRAL). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID no están autorizados por esta licencia CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional. Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia.

Esta publicación puede solicitarse a:

**FONTAGRO**

Correo electrónico: [fontagro@fontagro.org](mailto:fontagro@fontagro.org)

[www.fontagro.org](http://www.fontagro.org)



# Tabla de Contenidos

<b>Resumen</b> .....	<b>4</b>
Palabras Clave: <i>Cacao, cadmio, almendras de cacao, fertilizantes fosfatados, enmiendas orgánicas, normativa fertilizante</i> .....	4
<b>Glosario</b> .....	<b>5</b>
<b>Definiciones</b> .....	<b>5</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>7</b>
El cultivo de cacao.....	7
Problemas en la comercialización de cacao.....	10
El Cd y sus efectos adversos en los seres vivos .....	11
El Cd en el cultivo de cacao.....	12
Biodisponibilidad de Cd en suelos.....	14
El origen geogénico de Cd en los suelos latinoamericanos.....	16
Enriquecimiento de Cd en suelo por la aplicación de enmiendas y fertilizantes. ....	16
Normativa de regulación de contenido de Cd en fertilizantes.....	17
Legislaciones internacionales.....	18
Legislación vigente en los países de la plataforma .....	19
<b>Metodología</b> .....	<b>21</b>
Búsqueda e identificación de metodologías (recopilación de la información) .....	22
Evaluación de la normativa .....	22
Propuesta de investigación a futuro .....	23
<b>Resultados</b> .....	<b>24</b>
Análisis de las normativas Australiana, Europea y Estadounidense.....	24
Criterios de construcción de las normativas de Colombia, Costa Rica, y Ecuador. ....	26
Comentarios sobre la evaluación de normativas .....	29
Aplicación de una normativa para el caso de cacao usando un caso teórico-hipotético.....	30
Propuesta de investigación a futuro .....	32
<b>Conclusiones</b> .....	<b>33</b>
<b>Recomendaciones</b> .....	<b>34</b>
<b>Referencias Bibliográficas</b> .....	<b>35</b>



## Resumen

El alto contenido de cadmio (Cd) presente en almendras de cacao (*Theobroma cacao*) de América Latina es una amenaza para la comercialización de cacao y derivados a mercados regulados, como la Unión Europea. La concentración de Cd en almendras de cacao depende directamente de factores de suelo y se considera que la mayoría de Cd en plantaciones cacaoteras provienen de procesos naturales. La biodisponibilidad de este metal es afectada por características edáficas, como el pH y la materia orgánica. La aplicación de insumos, como fertilizantes con altos niveles de Cd, podría agravar el problema, especialmente en sitios con pH ácidos o baja materia orgánica. Para evitar el enriquecimiento de Cd en suelos, los países emiten legislaciones regulando el contenido del metal en los fertilizantes, sean estos de origen orgánicos, minerales o químicos. Esta nota técnica resume una revisión de literatura sobre las normativas existentes en los países miembros de la plataforma, así como países desarrollados (Australia, Unión Europea y California/USA). Como método de evaluación se verificaron puntos críticos de los cuales depende la robustez, validez y aplicabilidad de las normas. Las características identificadas fueron, *criterios para la construcción de la normativa (antecedentes), accesibilidad (disponibilidad) de la información, difusión, aplicabilidad, y métodos de evaluación y autoevaluación de la norma*. Además, se planteó un escenario teórico que comparaba legislaciones locales (en los países de la plataforma) con regulaciones más “estrictas” esto con el fin de cuantificar el aporte de un fertilizante en estos escenarios. También se plantean propuestas de investigación a futuro para reforzar las normativas. Se encontró que los límites o valores críticos establecidos en normativas de países desarrollados no son uniformes entre sí, es decir, cada país la formula y aplica de acuerdo con su realidad. Para la construcción de las normativas los entes reguladores utilizan información sobre las condiciones específicas de los suelos, historia de fertilización y la calidad de los fertilizantes, las enmiendas aplicadas en cada zona, y el potencial de transferencia de los cultivos. De igual forma, se evidenció que las normativas de los países de la plataforma presentan mucha variabilidad con niveles máximos de entre 0.5 a 89 mg de Cd por kg de fertilizante. Las deficiencias de las normativas locales son que desconocen los antecedentes para establecer estos límites, dificultad para acceder a las normativas, escasa difusión y ambigüedad en los procesos evaluación y monitoreo de productos comerciales. En esta nota técnica se enfatiza en la variabilidad de los suelos cacaoteros en los países productores y lo problemático de determinar la influencia de los fertilizantes en cada zona y con base a esto mejorar y corregir los límites actuales establecidos en las normativas. Finalmente, no existe evidencia concluyente que indique que la aplicación de fertilizantes podría ser una fuente significativa de aporte de Cd al sistema suelo- planta en cacao.

**Palabras Clave:** *Cacao, cadmio, almendras de cacao, fertilizantes fosfatados, enmiendas orgánicas, normativa fertilizante*



Glosario

**AGROCALIDAD:** Agencia de Control Fito y Zoo Sanitaria del Ecuador.

**ICCO:** International Cocoa Organization.

**MADR:** Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural Colombia.

**p.e.:** Por ejemplo.

**PROCOMER:** Promotora de Comercio Exterior de Costa Rica.

## Definiciones

**Almendra:** Se refiere a la semilla del fruto de cacao, esta puede estar fermentada o sin fermentar.

**Antropogénico:** De origen humano o derivado de la actividad del hombre.

**Biodisponibilidad:** Condiciones fisicoquímicas determinadas en el sistema suelo planta que le permita a un nutriente ser absorbido por la planta.

**Departamento:** Se refiere a una división político-administrativa en el estado colombiano. Colombia cuenta con 32 departamentos en total.

**Edáfico:** Relativo al suelo, especialmente en lo que respecta a la vida de las plantas.

**Especies reactivas de oxígeno:** tipo de moléculas inestables que contienen oxígeno y que son altamente reactivas con otras moléculas dentro de la célula.

**Fracción intercambiable:** Fracción de metales adsorbidos débilmente en la matriz del suelo, estos se liberan fácilmente mediante intercambio iónico.

**Fracción no intercambiable:** Fracción de metales adsorbidos fuertemente en la matriz del suelo, estos se mantienen fijados a las partículas del suelo.

**Geónico:** Proveniente de la roca parental.

**Plantas hiperacumuladoras de cadmio.** Plantas que son capaces de exhibir altas concentraciones de cadmio ( $>100 \text{ mg Kg}^{-1}$ ) con base en masa seca de tejido, generalmente asociado con hojas o partes aéreas (Kramer 2010 - 10.1146/annurev-



arplant-042809-112156).

**Organo-mineral:** Fertilizante que mezcla a uno orgánico con otro de origen mineral.

**Provincia:** Se refiere a una división político-administrativa en el estado ecuatoriano, se la define como la unión de dos o más cantones. Ecuador consta de 24 provincias.



# Introducción

## El cultivo de cacao

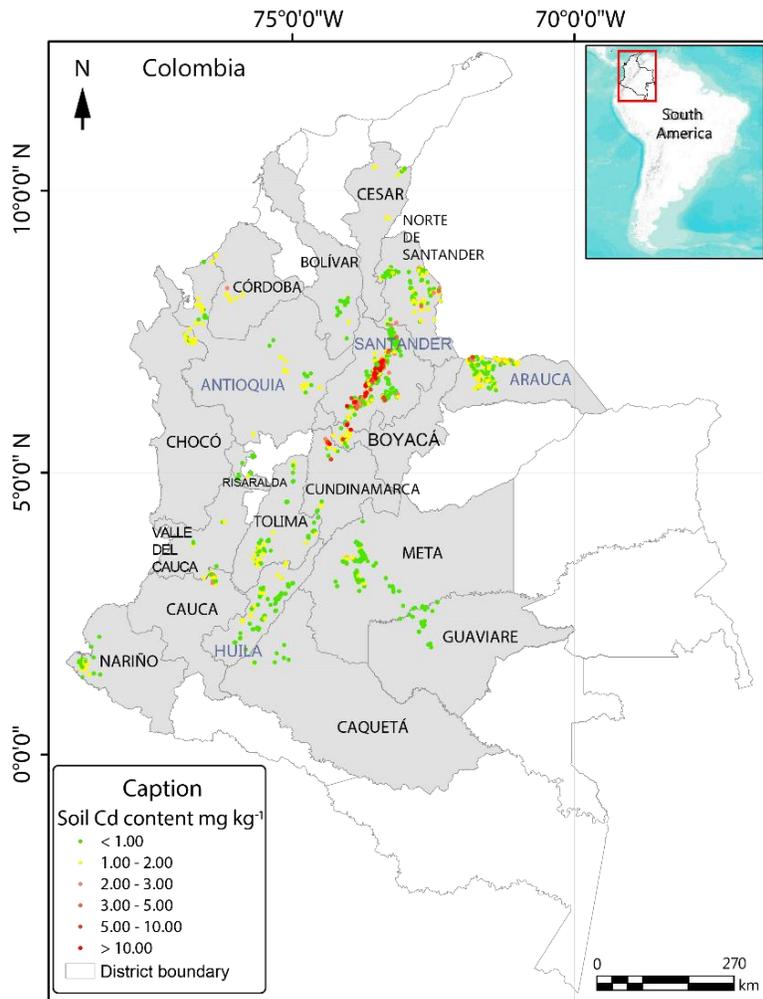
El cacao (*Theobroma cacao* L.) es una planta perteneciente a la familia *Malvaceae* que tiene su centro de origen en los bosques de Suramérica (Motamayor et al., 2002; Toxopeus, 2008). El cultivo se constituye como la tercera mercancía de tipo agrícola de mayor importancia a nivel mundial después del café y la caña de azúcar (Osorio-Guarín et al., 2017). El movimiento económico generado por el cultivo ha servido de sustento para millones de agricultores, y se calcula que alrededor de 6 millones de personas se benefician de la cadena de producción de cacao a nivel mundial (Acierno, 2020; World Cocoa Foundation, 2014).

El cacao es sembrado en países tropicales siendo las zonas de producción más importantes África (Costa de Marfil, Ghana, Nigeria y Camerún), Centro y Suramérica (Brasil, Colombia, Costa Rica, y Ecuador), y parte de Asia (Papua Nueva Guinea, Malasia, e Indonesia). La participación de estas zonas en el mercado mundial es de 77, 18 y 5%, respectivamente. (ICCO, 2021a, 2021b). Los mayores consumidores de este rubro han sido tradicionalmente Europa y Estados Unidos, sin embargo, en la actualidad los estados BRIC (Brasil, Rusia, India y China), o denominados también mercados emergentes, han logrado establecerse como un espacio importante en el comercio de este producto (Acierno, 2020; ICCO, 2021a; van Vliet y Giller, 2017).

En América Latina, la producción estimada del año 2021 alcanzó las 905.000 toneladas (Ton) (ICCO, 2021a). Los dos mayores productores son Ecuador y Brasil con alrededor de 350.000 y 200.000 Ton, respectivamente; mientras el resto de productores alcanzaron juntos unas 355.000 Ton en el mismo periodo (ICCO, 2021b). Dentro de los productores de cacao en el continente, Colombia y Costa Rica emergen como zonas estratégicas debido al potencial productivo de los suelos y el énfasis en la generación de investigación científica que mejore su calidad y niveles de productividad.

**Colombia** es el décimo productor de este cultivo a nivel mundial con el 1.2% de participación en el mercado (Alarcón, 2018). El

Gráfico 1 muestra los departamentos que conforman la zona de producción cacaotera que son principalmente Santander, Antioquia, Arauca, Huila, Tolima, Nariño, Cesar, Meta, y otros con menor área cultivada (Daniel Bravo et al., 2021; MADR, 2021). En total, se estima que el área cultivada alcanzó las 189.185 ha, y el rendimiento promedio fue de 450 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> para el año 2020 (MADR, 2021). En términos económicos, las exportaciones de este rubro significaron alrededor de 28'423.099 USD para el país. En adición, la actividad cacaotera generó trabajo e ingresos para alrededor de 65.341 familias (MADR, 2021).



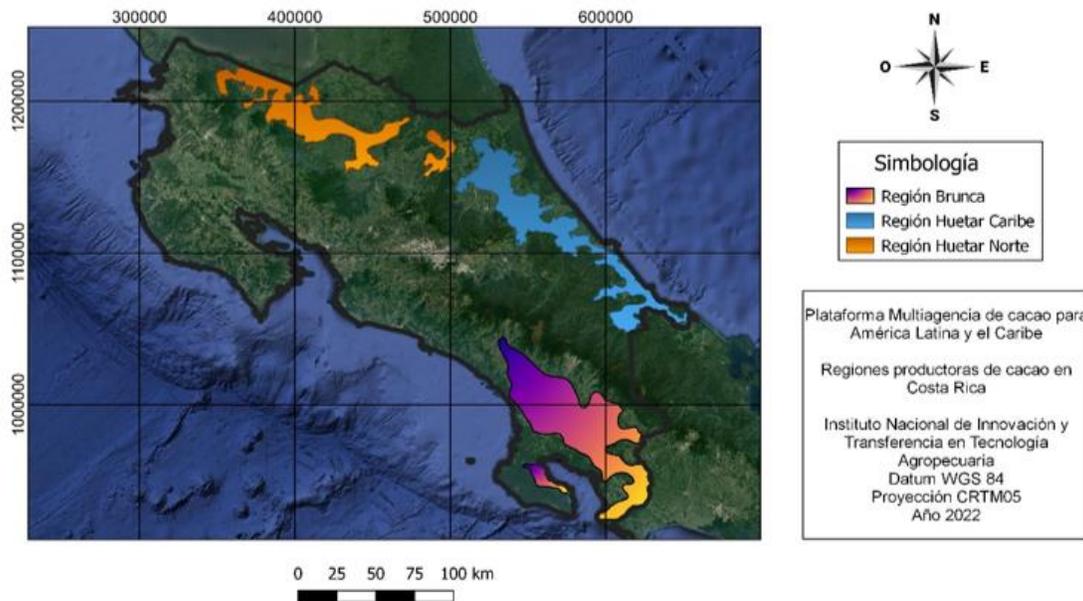
**Gráfico 1.** Zonas de producción de cacao en Colombia. Fincas evaluadas en zonas de producción cacaotera colombiana (Daniel Bravo et al., 2021). En fondo gris se presentan los departamentos cacaoteros (19 de 27), que fueron parte de la primera encuesta nacional de cadmio en suelos productores de cacao del país.

**Costa Rica** se constituye como una zona potencialmente importante para el cultivo de cacao. Históricamente, el país se ha destacado en la producción de cacao pero a partir de la aparición de la monilia (*Moniliophthora roreri*) que causó pérdidas importantes en la producción y que desalentó a los agricultores, el área sembrada se redujo considerablemente (Amburo, 2017; Comisión Interinstitucional de Cacao, 2018; PROCOMER, 2019). En este país, se tienen definidas tres zonas de producción cacaotera denominadas: Brunca (Sur), Huetar Caribe (Atlántica), y Huetar Norte (Comisión Interinstitucional de Cacao, 2018; Furcal-Beriguete y Torres-Morales, 2020; Nadurille, 2010) (

Gráfico 2). Se estima que 4.750 ha se destinan a la producción del cultivo con un 100%

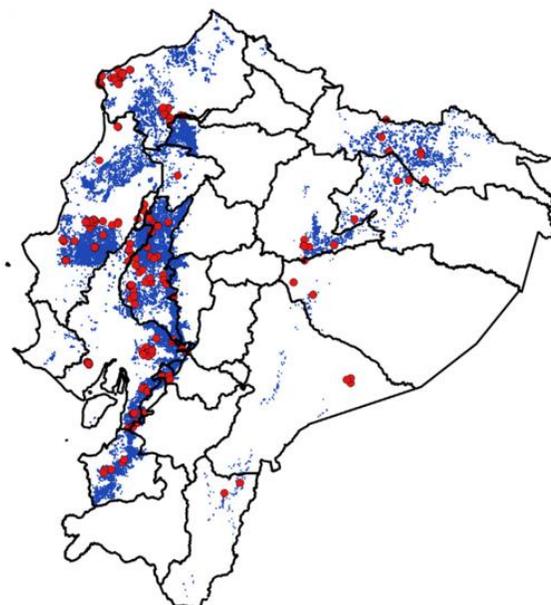


reconocidas como cacao fino de aroma (Furcal-Beriguete y Torres-Morales, 2020). La productividad en las fincas cacaoteras del país bordea los 250 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y se estima que el rubro genera ingresos cercanos a los 2'324.700 USD y sirve de sustento para al menos 3.041 familias (Comisión Interinstitucional de Cacao, 2018; PROCOMER, 2021).



**Gráfico 2.** Zonas de producción de cacao en Costa Rica

**Ecuador** es el mayor productor de cacao en América con una participación de 6.8% en el mercado mundial (ICCO, 2021b), además, es el mayor productor de cacao fino de aroma. El 80% de la producción se concentra en las provincias de Guayas, Los Ríos, Esmeraldas, Manabí, El Oro, y Santa Elena, mientras que el 20% restante se distribuye en el resto de las provincias de la costa y Amazonía (Argüello et al., 2019; Barrera et al., 2019; Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2017) (Gráfico 3). El área total que el cultivo ocupa dentro del país se aproxima a las 559.617 ha siendo el cultivo agrícola más extensivo. El rendimiento promedio oscila entre 390 a 510 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> dependiendo de la variedad (Barrera et al., 2019; Hütz-Adams et al., 2016). En la balanza comercial, el cacao representa el quinto producto de exportación no petrolera, generando 620 millones de dólares en el año 2021 y beneficiando a cerca de 100.000 familias de zonas rurales (Barrera et al., 2019; Ministerio de Producción comercio exterior inversiones y pesca, 2021).



**Gráfico 3.** Zonas de producción de cacao en Ecuador en la costa y Amazonía. Los puntos azules representan fincas cacaoteras evaluadas (Argüello et al., 2019).

### Problemas en la comercialización de cacao

El cacao es parte de las materias primas de mayor importancia a nivel mundial. No obstante, en la actualidad, atraviesa dificultades en su cadena de comercialización debido a condiciones establecidas por los principales países consumidores para su importación. Estas nuevas condiciones están orientadas a i) regulaciones **ambientales** con el fin de generar cultivos amigables con el medio ambiente con tendencia a “carbono neutral”, ii) **sociales** con la mejora de las condiciones laborales con especial énfasis en la disminución de trabajo infantil, y iii) **sanitarias** o relacionadas con la inocuidad de alimentos, siendo más riguroso en el contenido de metales pesados presente en el producto final.

La última condición descrita quizá sea la de mayor relevancia para la región debido a una elevada concentración de cadmio (Cd) en almendras de cacao (Argüello et al., 2019; Daniel Bravo et al., 2021; Chavez et al., 2015; Gil et al., 2021; Vanderschueren et al., 2021). Esta elevada concentración puede provenir de diversos orígenes como el geogénico o antropogénico, esto quiere decir, heredada del material parental meteorizado o de adicionada de forma artificial por el uso de productos contaminados que incrementan la cantidad y biodisponibilidad del metal (Smolders, 2001; Vanderschueren et al., 2021).

En el caso particular de Cd, la normativa europea establece límites muy estrictos para el contenido de este metal en el chocolate. Estos límites van desde 0.1 a 0.8 mg kg<sup>-1</sup> dependiendo del



porcentaje de sólidos de cacao en el producto final como se muestra en la **Tabla 1** (European Commission, 2014). Esta legislación entró en vigor a partir del 1<sup>er</sup> de enero del 2019.

**Tabla 1.** Límites de concentración de Cd en productos derivados de cacao (European Commission, 2014)

Producto específico de cacao y chocolate enumerados a continuación	Límites (mg kg <sup>-1</sup> )
Chocolate con leche con un contenido de materia seca total de cacao <30%	0.10
Chocolate con un contenido de materia seca total de cacao <50%	0.30
Chocolate con leche con un contenido de materia seca total de cacao ≥30%	0.80
Chocolate con un contenido de materia seca total de cacao ≥50%	0.60
Cacao en polvo vendido al consumidor final o como ingrediente en cacao en polvo edulcorado vendido al consumido (chocolate para beber)	0.60

### El Cd y sus efectos adversos en los seres vivos

El Cd es un metal pesado sin ninguna función metabólica en la mayoría de seres vivos (exceptuando la diatomea marina *Thalassiosira weissflogii*) (Sterckeman y Thomine, 2020) y considerado como un elemento tóxico para humanos, animales y plantas (Wiesler, 2011). Generalmente en los suelos, este metal se encuentra en concentraciones inferiores a los 0.40 mg kg<sup>-1</sup>. Sin embargo, a estas bajas concentraciones, las plantas pueden acumular niveles elevados del elemento poniendo en riesgo la salud del consumidor (Genchi et al., 2020). Este metal puede estar presente en suelos de manera natural por la meteorización de roca parental rica en Cd, o de forma artificial por la aplicación de insumos contaminados (Gil et al., 2021; Mendes et al., 2006).

El contenido de Cd en suelos está supeditado a la combinación de procesos naturales y antropogénicos (Alloway y Steinnes, 1999; López-Ulloa et al., 2021; Meter et al., 2019). Esto quiere decir, que el contaminante puede provenir de la meteorización de la roca parental, especialmente de rocas de sedimentos marinos (Marchive et al., 2021; Meter et al., 2019). De otra parte, este puede tener su origen en la deposición de industrias, actividades mineras, explotación de hidrocarburos, desechos urbanos, incineración de desechos, combustión de carbón y la aplicación de fertilizantes y enmiendas usadas en la producción agrícola (Abedi y Mojiri, 2020; Alloway y Steinnes, 1999; Barraza et al., 2017; López-Ulloa et al., 2021).

En el caso de las bebidas y alimentos, el Cd ha sido detectado en altas concentraciones tanto en productos de origen animal como vegetal, siendo los más comunes crustáceos, moluscos, ostras, cefalópodos, cangrejos y vísceras como el riñón e hígado de ganado. De la misma forma, este contaminante puede ser encontrado en las semillas de oleaginosas, semillas de cacao, papas, cereales, frutas, y algunos hongos comestibles (Genchi et al., 2020; Smolders, 2001).



Es importante recalcar que la principal fuente de exposición de este metal en animales y humanos (no fumadores) es la ingesta de alimentos contaminados (Barraza et al., 2017; Genchi et al., 2020). Dietas con contenidos de Cd en concentraciones cercanas a los  $70 \mu\text{g d}^{-1}$  pueden generar disfunción tubular renal y osteomalacia después de 50 años de consumo (Chaney et al., 1999). Cuando ingresa al cuerpo humano, especialmente en casos de exposición constante, el elemento presenta diversidad de efectos negativos entre los cuales se enumeran acumulación irreversible en el cuerpo precisamente en riñones, hígado y testículos (López-Ulloa et al., 2021; Vanderschueren et al., 2021). Consecuentemente, el Cd causa daños y enfermedades renales, testiculares, sistema óseo, y respiratorio, anomalías cardiovasculares y efectos oncogénicos (Genchi et al., 2020; López-Ulloa et al., 2021; Sharma et al., 2015; World Health Organization, 2020).

En las plantas, el elemento es adquirido a través de absorción radicular (Sterckeman y Thomine, 2020). En algunos cultivos, el metal presenta un alto factor de transferencia (TF) suelo-planta, que es el cociente entre la concentración de Cd en el tejido vegetal y la concentración del metal en el suelo (Roslan et al., 2016). Generalmente, se relaciona un elevado TF con la tendencia de algunas plantas a absorber con relativa facilidad Cd cuando las condiciones edáficas favorecen la biodisponibilidad de este metal (Wiesler, 2011). Así como lo hace en animales y seres humanos, el Cd también genera efectos fitotóxicos como disminución del crecimiento, suberización de raíces, clorosis, incremento en la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) y desórdenes en la absorción de nutrientes (Benáková et al., 2017). Todos estos efectos adversos al final impactan negativamente la producción de alimentos.

### **El Cd en el cultivo de cacao**

La mayoría de plantas son capaces de absorber Cd, sin embargo, existen especies que son más afines al metal y lo acumulan en sus partes aéreas (Vanderschueren et al., 2021). Aquellas plantas que absorben metales pesados con mayor afinidad son conocidas como hiperacumuladoras. En el caso específico de Cd esta denominación se la da a las especies que cumplen con los siguientes tres criterios: (i.) absorber y almacenar al menos 100 mg Cd por kg de materia seca, (ii.) poseer un TF y factor de traslocación interna mayor a 1, y, (iii.) presentar baja susceptibilidad (reducción de peso seco total menor o igual a 30%) (Kirkham, 2006; van der Ent et al., 2013; Vanderschueren et al., 2021). El cacao es una cultivo que absorbe Cd con afinidad pero no cumple con el primer criterio para ser categorizado como hiperacumulador (Argüello et al., 2019; Barraza et al., 2017; Gramlich et al., 2018; Lewis et al., 2018; Vanderschueren et al., 2020, 2021).

En la Tabla 2 se puede apreciar la afinidad con la que el cacao absorbe Cd y los TF más altos. Se ha reportado que el cultivo presenta TFs mayores a 1 (segundo criterio mencionado), por lo que claramente es una planta con gran capacidad de acumulación en la parte aérea (especialmente hojas y frutos). En recientes publicaciones, el cultivo ha sido catalogado como un acumulador



moderado (Vanderschueren et al., 2021).

**Tabla 2.** Concentraciones promedio (mín-máx) de Cd ( $\text{mg kg}^{-1}$  MS) en suelos y diferentes tejidos de cacao (tomado de Vanderschueren et al., 2021).

Concentración de Cd ( $\text{mg kg}^{-1}$ Cd en materia seca)				Referencias
Suelo	Hojas	Nibs	TF	
0.44 (0.02-6.90)	2.62 (0.13-44.5)	0.90 (0.03-10.4)	2.04	(Argüello et al., 2019)
0.44 (0.16-2.23)	1.99 (0.19-7.90)	0.90 (0.09-3.50)	2.04	(Barraza et al., 2017)
1.12 (0.01-27.0)	NA	NA	NA	(Daniel Bravo et al., 2021)
0.53 (0.22-1.15)	2.31 (0.64- 9.3)	2.56 (0.81-10.6)	4.80	(Engbersen et al., 2019)
1.65 (1.22-2.03)	NA	0.32 (0.08-1.45)	0.19	(Gil et al., 2021)
0.25 (NA)	2.64 (0.06-28.0)	1.06 (0.03-7.1)	7.57	(Gramlich et al., 2018)
0.14 (NA -0.49)	2.15 (0.77-5.24)	0.99 (0.17-2.31)	6.42	(Lewis et al., 2018)
NA	3.56 (0.45-17.4)	2.27 (0.48-9.3)	NA	(Ramtahal et al., 2015)
NA	NA	0.52 (0.42-0.74)	NA	
NA	NA	0.39 (0.30-0.48)	NA	(Vanderschueren et al., 2020)*
NA	NA	2.4 (1.2-3.9)	NA	
NA	NA	9.6 (6.4-13)	NA	

En adición a las cualidades de acumulación genéticas de la planta, su nivel de absorción también es influenciado por el suelo y sus características (Daniel Bravo et al., 2021). Argüello et al., (2019) evaluó variables edáficas y planteó modelos para predecir la absorción de Cd en cacao y encontró que el modelo de mayor significancia estadística incluía al pH de suelos, el carbono orgánico del suelo y la cantidad de Cd total en el suelo como variables que afectan la acumulación de Cd en almendras (Ecuación 1). Este modelo está en escala logarítmica para cumplir con los preceptos estadísticos.

$$\log_{10}(Cd \text{ almendra}) = 1.66 + 0.94 \log_{10}(Cd_T \text{ suelo}) - 0.21 pH - 0.63 \log_{10}(\%CO)$$

Ecuación 1. Modelo de predicción de concentración de Cd en Almendras de cacao.  $R^2= 0.57$ ; BIC=162

Donde:

$Cd \text{ almendra}$  = Concentración de Cd en la almendra ( $\text{mg kg}^{-1}$ )

$Cd_T \text{ suelo}$  = Concentración total de Cd en el suelo ( $\text{mg kg}^{-1}$ )

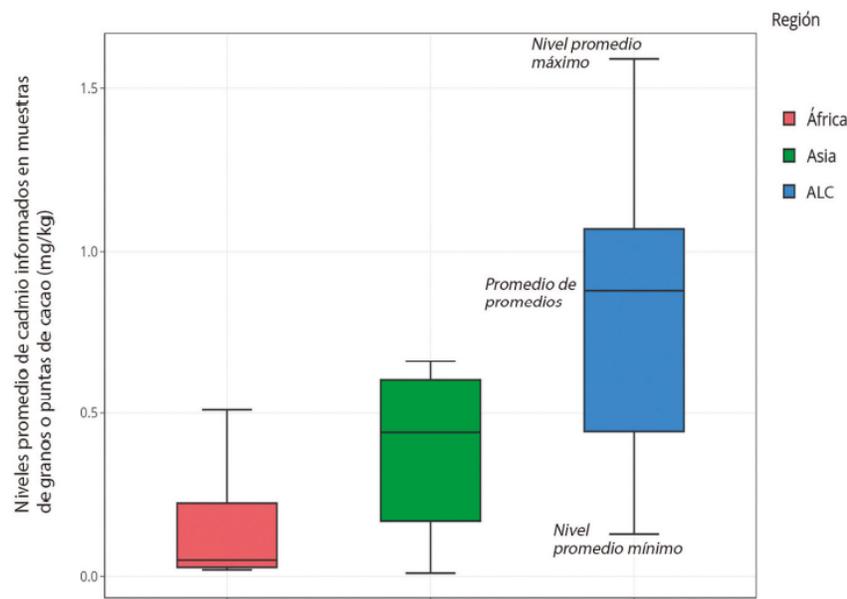
$\%CO$  = Porcentaje de carbono orgánico del suelo

$pH \text{ Suelo}$  = pH del suelo medido en 0.001 M  $\text{CaCl}_2$  (1: 5; suelo: solución)

El efecto de las variables edáficas se puede apreciar cuando se comparan los promedios de Cd en granos de cacao por procedencia (ICCO, 2021a, 2021b). Las cualidades y origen de los suelos de



África, Asia y América Latina son ampliamente diferentes y por lo tanto se reporta que la acumulación de Cd es variable (Meter et al., 2019), como se presenta en el Gráfico 4. Algunos estudios sugieren que los suelos de Sur y Centro América muestran concentraciones de Cd mayores a aquellas presentes en el este de África (Meter et al., 2019; Argüello et al., 2019), esto estaría relacionada con el origen de los suelos y probablemente al grado de meteorización. Por tanto, mayores concentraciones de Cd en el suelo también resultan en mayor disponibilidad y absorción de Cd en el cultivo de cacao (López-Ulloa et al., 2021; Meter et al., 2019).



**Gráfico 4.** Distribución de niveles promedio de cadmio en granos de cacao de África, Asia y ALC (Meter et al., 2019)

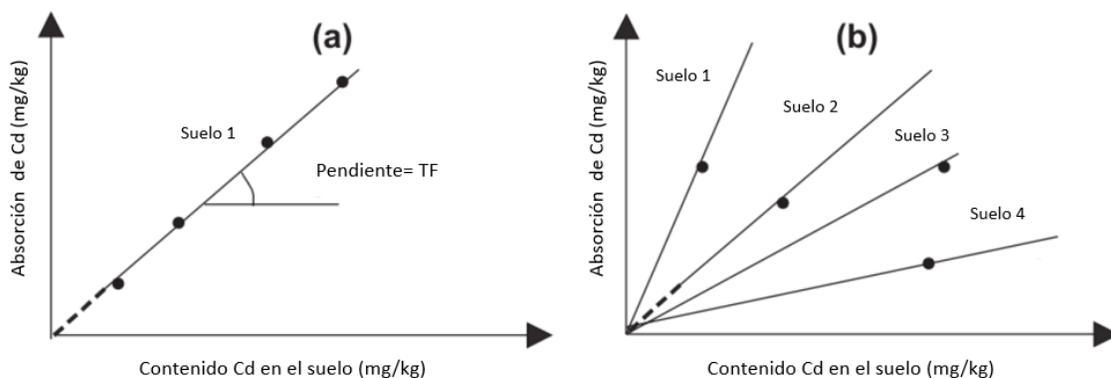
### Biodisponibilidad de Cd en suelos

El Cd total de suelo se encuentra asociado a diferentes fracciones constitutivas del suelo, de las cuales solo algunas son disponibles para la planta o microorganismos. La facilidad de acceso al Cd asociado a estas fracciones se conoce como biodisponibilidad la misma que es afectada por condiciones como: (i.) pH de suelo, (ii.) materia orgánica (MO), (iii.) óxidos de hierro/manganeso, como las más desatacadas. De forma general, el Cd total en el suelo está compuesto por tres fracciones: (i.) la no intercambiable, (ii.) la intercambiable y (iii.) la presente en fase acuosa. La primera fracción corresponde a compuestos formados por el metal que no están disponibles (Meter et al., 2019; Sterckeman y Thomine, 2020). La segunda corresponde a aquellos iones del metal adsorbidos en arcillas, óxidos metálicos hidratados y materia orgánica que son potencialmente disponibles dependiendo de las condiciones edáficas y climáticas (Chavez et al., 2016). El Cd que está asociado a esta fracción puede pasar a la tercera fracción, la acuosa (altamente disponible) a través de cuatro mecanismos. Los mecanismos son (i.) procesos de



liberación de Cd retenido en arcillas de filosilicatos, (ii.) desorción del elemento de complejos humus-metal, óxido y alófana, (iii.) mineralización de biomasa, y (iv.) disolución de compuestos metálicos (Marchive et al., 2021). La última fracción corresponde a iones de Cd libres o aquellos disueltos en la fase acuosa del suelo, la cual es altamente disponible para la absorción, donde la especie de Cd dominante es  $Cd^{2+}$  (Meter et al., 2019; Sterckeman y Thomine, 2020). Entender este concepto de biodisponibilidad del elemento es clave para poder determinar la potencial contaminación de almendras de cacao. En otras palabras, el mensaje principal es que no todo el cadmio (pseudo) total cuantificado en suelo va a acumularse en los granos de cacao, ni hará parte de la cadena alimenticia de chocolates o productos terminados derivados de la masa de cacao.

Además de la concentración total de Cd en suelos, existen factores que pueden incrementar la biodisponibilidad del metal y consecuente absorción por las plantas (Chavez et al., 2015). El primer factor que contribuye a una mayor biodisponibilidad es el pH. Este es un indicador de acidez/alcalinidad de una sustancia y permite conocer la actividad del ion hidrógeno ( $H^+$ ). Es muy conocido que la disponibilidad de Cd aumenta a medida que el pH de suelo disminuye (Argüello et al., 2019; Gil et al., 2021). Se ha calculado que, el incremento de 1 unidad de pH reduciría 10 veces la concentración de Cd en la fase acuosa (Smolders, 2001). El siguiente parámetro de suelo es el contenido de MO (Smolders, 2001). El contenido de materia orgánica de suelo tiene la capacidad de retener cationes debido a la reactividad de los grupos funcionales que la constituyen. De forma similar al pH de suelos, el incremento de MO en la matriz de suelo reduciría la concentración de Cd biodisponible y la absorción del metal por la planta (Argüello, 2019). Otros factores que influyen, en medida reguladora del Cd disponible son: (i.) óxidos de Fe/Mn, (ii.) el material parental, (iii.) la textura de suelo, salinidad, contenido de nutrientes y su interacción con estos; y uno que se ha estado explorando fuertemente en Colombia (iv.) la actividad microbiana en el proceso de bioprecipitación del Cd en suelos cacaoteros (Bravo et al., 2018; Bravo y Braissant, 2022; Meter et al., 2019).



**Gráfico 5.** (a) Respuesta lineal de  $Cd^{2+}$ . La pendiente del incremento proporcional entre Cd en el suelo y el tejido vegetal. (b) El Factor de Transferencia (TF) es altamente influenciado por las propiedades del suelo (datos tomados de varias muestras a nivel mundial) (Smolders, 2001)



### **El origen geogénico de Cd en los suelos latinoamericanos.**

En los suelos agrícolas el Cd se presenta de forma natural (Lund et al., 1981) y bajo condiciones normales estos tienen una concentración que varía ampliamente yendo desde valores inferiores a 0.1 hasta valores superiores a 2 mg kg<sup>-1</sup> (Chaney, 2012). Las altas concentraciones del metal en los suelos están relacionadas con el material parental del cual se originó este (Alloway y Steinnes, 1999; Meter et al., 2019). Los suelos latinoamericanos son de tipo aluvial, relativamente jóvenes y poco desarrollados (Argüello et al., 2019; Chavez et al., 2015; Meter et al., 2019; Vanderschueren et al., 2021). En las zonas de cultivo de cacao que han sido identificadas como de alta concentración de Cd (0.22 a 10.8 mg kg<sup>-1</sup>) se ha detectado que las rocas de formación son de tipo sedimentarias (Argüello et al., 2019; Meter et al., 2019; Vanderschueren et al., 2020). Este tipo de rocas usualmente presentan concentraciones más altas que las rocas ígneas y algunas metamórficas (Meter et al., 2019; Vanderschueren et al., 2021).

### **Enriquecimiento de Cd en suelo por la aplicación de enmiendas y fertilizantes.**

Además de aquellos aportes naturales de Cd por el material parental y emisión de ceniza volcánica, existe una contribución que puede provenir de fuentes exógenas de origen antropogénico (Alloway y Steinnes, 1999; Chaney, 2012; Chaney et al., 1999). Entre ellas, se pueden enumerar enmiendas y fertilizantes aplicados en los suelos agrícolas, los mismos que en su composición presentan metales pesados, como Cd, en su estructura órgano-mineral (Mortvedt, 1994; Nacke et al., 2013; Verbeeck et al., 2020). El Cd es el contaminante de mayor preocupación debido a su acumulación en los tejidos consumibles de las plantas y por consiguiente, también acumulable o precipitado en el cuerpo del ser humano (Loganathan et al., 2003).

Los fertilizantes son insumos claves para la intensificación de la agricultura y generación de alimentos. En los últimos tiempos, los niveles de aplicación de fertilizantes edáficos se ha incrementado radicalmente (Wu et al., 2019). Se cuantifica que en la década de 1960, el uso de estos insumos alcanzaba las 46 millones de Ton, para el 2030, se estima que este valor llegará a ser al menos de 157 millones Ton (Nacke et al., 2013). Consecuentemente, altas concentraciones de metales pesados en los fertilizantes podrían acentuar los problemas de contaminación de los suelos en ciertas áreas cultivables (Loganathan et al., 2003; Verbeeck et al., 2020).

A pesar de que los fertilizantes pueden contener este tipo de contaminantes, su nivel de polución depende del tipo de fertilizante que se utiliza. Por ejemplo, los fertilizantes de tipo nitrogenados, potásicos, sulfurados y micronutrientes contienen niveles relativamente bajos de metales pesados (Loganathan et al., 2003). No obstante, existen casos reportados en los cuales los niveles de contaminación con metales pesados en esta clase de fertilizantes son considerables. Por ejemplo, Nacke et al., (2013) compararon las concentraciones de metales pesados en la misma



clase de fertilizantes de diferentes marcas. Los investigadores encontraron que existían diferencias de hasta 37 veces entre el de mayor y el de menor contenido de Cd. En contraste, los fertilizantes fosfatados pueden presentar concentraciones elevadas de Cd y arsénico (As) que a largo plazo pueden convertirse en fuentes de contaminación de suelos y alimentos (Bergen et al., 2022; Chaney, 2012; Cheraghi et al., 2012; Loganathan et al., 2003; Roberts, 2014; Verbeeck et al., 2020). Los fertilizantes fosfatados pueden presentar concentraciones promedio de Cd de 89 mg kg<sup>-1</sup>, también la roca fosfórica presenta un valor de Cd entre 33 hasta 350 mg kg<sup>-1</sup> (Chaney, 2012; Verbeeck et al., 2020). Por ejemplo, el fertilizante fosfato diamónico (DAP) mostró contenidos de Cd entre 5 y 260 mg de Cd por kg de P (Mortvedt, 1994). Asimismo, Mendes et al., (2006) encontraron que el super fosfato triple posee hasta 28 mg Cd en cada kg de fertilizante.

En adición a lo anterior, es necesario hacer una distinción entre los fertilizantes aplicados en la agricultura convencional y aquella denominada orgánica. Los segundos han ganado relevancia a nivel mundial debido al incremento de la conciencia medio ambiental y razones económicas (Nookabkaew et al., 2016). La fertilización orgánica ha sido concebida con la idea de ofrecer ventajas en el mejoramiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Larkin, 2015; Sun et al., 2021). No obstante, en muchos de los casos su aplicación omite el análisis de factores como el contenido de metales pesados presentes en ellas o en sus ingredientes. En términos generales, en el caso específico de Cd se considera que la concentración promedio en fertilizantes orgánicos comerciales fluctúa entre 2 a 256 mg Cd por kg de enmienda (Chaney, 2012; Nookabkaew et al., 2016; Sun et al., 2021). El origen de este tipo de contaminación está estrechamente relacionado a las excretas animales que son su principal ingrediente. Las deposiciones provenientes de las explotaciones ganaderas y avícolas han sido identificadas como fuentes de altos niveles de Cd y otros metales pesados (Chaney, 2012; Sun et al., 2021).

Otro factor para considerar es que la aplicación de fertilizantes orgánicos requiere de dosis altas para satisfacer las necesidades nutritivas de un cultivo. En este sentido, los requerimientos de fertilizantes químicos a base de fósforo (P) son menores a 150 kg ha<sup>-1</sup> mientras que, para los fertilizantes orgánicos, como el compost, son mayores a 1 Ton ha<sup>-1</sup>. Si consideramos una concentración de 5.3 mg Cd por kg de fertilizante en ambos casos, el inorgánico proveería al suelo de 795 mg Cd ha<sup>-1</sup>, mientras que el orgánico adicionaría 5.3 g Cd ha<sup>-1</sup>.

### **Normativa de regulación de contenido de Cd en fertilizantes**

El Cd presente en los fertilizantes ha sido constantemente monitoreado, inicialmente debido al riesgo de lixiviación de P hacia fuentes de aguas subterráneas, y luego por contaminantes como el Cd o As (Bergen et al., 2022; Verbeeck et al., 2020). Actualmente, la regulación de los fertilizantes está direccionada a limitar la concentración máxima de metales pesados ya que estos pueden ser absorbidos por las plantas y transmitidos mediante la ingesta de alimentos a los seres humanos. A continuación, se revisarán y discutirán algunas de las regulaciones disponibles en países desarrollados y los países miembros de la plataforma. El resumen de los niveles de Cd



permitidos en los fertilizantes para cada legislación y país se encuentran descritos en la **Tabla 3**, además se indica la referencia bibliográfica de la cual se obtuvo la información con un breve análisis del origen de los límites.

### Legislaciones internacionales

Uno de los países más estrictos en la regulación de fertilizantes es *Australia*. En este país, además de Cd, existen límites en fertilizantes para mercurio (Hg), plomo (Pb), y cromo (Cr). Esta legislación establece un sistema de advertencias que constan en el empaque de los fertilizantes. En el caso de Cd, el valor crítico es de 1.0 mg de Cd por kg de fertilizante. Sobre este límite la etiqueta debe advertir que el producto contiene Cd y se sugiere limitar su uso ya que podría resultar en contaminación de suelo y en niveles elevados en tejido vegetal y productos animales. Esta regulación busca controlar que los alimentos no excedan el nivel establecido en el código de estándares de alimentos de Australia y Nueva Zelanda (Agriculture Department of Victoria Australia, 2015; Chaney, 2012).

De la misma forma, esta legislación establece que fertilizantes que contengan >2% de P, no excedan los 300 mg kg<sup>-1</sup> (es decir, 131 mg de Cd por cada kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) dentro del fertilizante. En cambio, en aquellos fertilizantes que únicamente contienen elementos traza o microelementos tales como B, Co, Cu, Fe, Mn, Mo y Zn, la concentración de Cd no debe exceder los 10 mg por kg de fertilizante (Agriculture Department of Victoria Australia, 2015; Chaney, 2012). Con estos valores, podemos decir que un fertilizante que contenga 48% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, como el super fosfato triple, podría contener 3 g de Cd por saco de 50 kg.

*En la Unión Europea (UE)*, las regulaciones son mucho más detalladas y establecen límites de contenido de Cd en dependencia del tipo de enmienda clasificando a esta en: fertilizantes orgánicos, enmiendas órgano-minerales, fertilizantes inorgánicos de macronutrientes, fertilizantes inorgánicos de micronutrientes, enmiendas encalantes, mejoradores orgánicos del suelo, mejoradores inorgánicos del suelo, medios de crecimiento, y, bioestimulantes de plantas. En cada una de ellas se ha establecido límites para el contenido de metales pesados permitido (European Parliament and the Council of the European Union, 2019).

En el caso de los fertilizantes orgánicos, la concentración permitida es de 1.5 mg de Cd por kg de materia seca (MS). Para las enmiendas órgano-minerales se hace una distinción entre aquellas que tienen un contenido de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ≤ 5% y aquellas con contenido de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> >5%. Las primeras tienen un límite de 3 mg Cd por kg<sup>-1</sup> de MS, mientras las segundas 60 mg kg<sup>-1</sup>. En el caso de los fertilizantes inorgánicos de micronutrientes como boro (B), cobalto (Co), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), molibdeno (Mo), y zinc (Zn), el Cd no debe exceder el límite de 200 mg kg<sup>-1</sup>. En el caso de enmiendas encalantes y enmiendas denominadas “mejorador orgánico del suelo”, estas no deben exceder los 2 mg kg<sup>-1</sup>. Por otra parte, las enmiendas mejoradoras inorgánicas del suelo, bioestimulantes, y medios de cultivo para crecimiento no pueden exceder de 1.5 mg kg<sup>-1</sup>.



*En Estados Unidos* (USA) la normativa no es general para todo el país si no que existen legislaciones específicas para cada estado. Por ejemplo, Washington ha definido como norma que un fertilizante contenga hasta 889 mg de Cd por kg en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Chaney, 2012; Washington Administrative Code, 2021). En el caso del estado de Oregon, se ha establecido una concentración de Cd en el fertilizante de 7.5 mg de Cd por porcentaje de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en fertilizantes fosfatados. (Department of Agriculture Oregon, 2021). El estado de California por su parte define un límite de 4 mg de Cd por porcentaje de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Food and Agriculture Code, 2021). Roberts, (2014) analizó estas dos últimas legislaciones y estableció que en el caso de un fertilizante que contiene 45% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, la concentración de Cd presente en Oregon sería de 338 mg por kg de fertilizante, mientras que en California de 180 mg por kg de fertilizante.

### **Legislación vigente en los países de la plataforma**

En los países de la región la implementación de medidas que propendan reducir la concentración de contaminantes en productos agrícolas no ha sido priorizada. Esto ha ocasionado que los productos que se utilizan en la producción de alimentos tengan estándares de calidad poco fiables o en muchas ocasiones desconocidos por los productores. Incluso, no hay reportes públicos que las normativas establecidas en los países sean aplicadas, no existe información acerca del monitoreo de las regulaciones.

#### *Colombia*

En el 2003, el gobierno Colombiano publicó el ‘Reglamento Técnico de Fertilizantes y Acondicionadores de Suelos para Colombia’ (Resolución No. 0015 Reglamento Técnico de Fertilizantes y Acondicionadores de Suelos Para Colombia, 2003). Sin embargo, este documento únicamente indica que los residuos sólidos aplicados en la agricultura no deben presentar contaminantes como metales pesados. El reglamento que sí establece niveles de metales pesados presentes en una enmienda para ser comercializados es la Resolución No. 068370 (27/05/2020). En el caso particular de Cd, se establece que las enmiendas o bioinsumos deben contener como máximo 39 mg kg<sup>-1</sup> (ICA, 2020). Esta resolución es muy general y no considera factores de suelo y cultivos con potencial afectación. Con este límite, un saco de 50 kg de fertilizante no debe superar un valor de 2 g de Cd.

#### *Costa Rica*

En el caso de Costa Rica, el decreto ejecutivo N° 39994, plantea un límite para metales pesados en materias primas, fertilizantes inorgánicos y enmiendas orgánicas como residuos vegetales y animales procesados, compost, bocashi, bioles o biofermentos, lixiviados y extractos de plantas. En el caso particular de Cd, se determina un límite permisible de 80 mg kg<sup>-1</sup> de enmienda (**Tabla 3**) (Ministerio de Agricultura y Ganadería Costa Rica, 2016). Es importante mencionar que este



reglamento no incluye productos biológicos que **contengan organismos vivos** como descomponedores, fijadores de N, solubilizadores, micorrizas y compuestos orgánicos como los ácidos húmicos, fúlvicos, algas, aminoácidos, vitaminas, hormonas y bioestimulantes. Por otra parte, en Costa Rica el decreto N° 29782-MAG, sobre el Reglamento de Agricultura Orgánica, establece un límite máximo para roca de fosfato natural de 90 mg de Cd por kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Ministerio de Agricultura y Ganadería Costa Rica, 2001). Con este límite, un saco de 50 kg de un fertilizante no debe de sobrepasar los 4 g de Cd, mientras que la roca fosfórica no debería de exceder los 4.5 g de Cd por saco de 50 kg.

### Ecuador

La legislación ecuatoriana ha sido redactada por la Agencia de Control Fito y Zoo Sanitaria del Ecuador (AGROCALIDAD) y está orientada a las características que debe poseer un fertilizante para ser comercializado en el país. Esta normativa es denominada Manual Técnico para el Registro y Control de Fertilizantes, Enmiendas de Suelo y Productos Afines de Uso Agrícola. El documento indica que el (los) fertilizante(s), enmienda(s) de suelo y producto(s) afín(es) de uso agrícola deben tener un límite máximo de 1.5 mg de Cd por kg de MS indiferentemente del tipo de producto que se regule (AGROCALIDAD, 2021). Con este límite, un saco de 50 kg no debe de exceder los 75 mg de Cd, valor extremadamente bajo en comparación con regulaciones descritas anteriormente.

**Tabla 3.** Límite de contenido de Cd en enmiendas y fertilizantes

País (Normativa)	Tipo de enmienda	Límite de Cd (mg kg <sup>-1</sup> )
Australia (Agriculture Department of Victoria Australia, 2015; Fertilizer Australia, 2018)	Fertilizante macronutrientes con más de 20 g kg <sup>-1</sup> de Cd en compuestos que contienen P.	300
	Fertilizante micronutrientes	50
	Otros fertilizantes	10.0
Unión Europea (European Parliament and the Council of the European Union, 2019)	Fertilizante orgánico	1.5
	Fertilizante órgano-mineral (<5% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	3.0
	Fertilizante órgano-mineral (>5% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	60.0*
	Fertilizante inorgánico macronutrientes (<5% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	3.0
	Fertilizante inorgánico macronutrientes (>5% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	60.0*
	Fertilizantes inorgánicos de micronutrientes	200.0
	Mejorador orgánico de suelo	2.0
	Sustancia encalante del suelo	2.0
	Mejorador inorgánico de suelo	1.5
	Bioestimulantes	1.5
Medios de cultivo	1.5	
USA/California (Food and	Fertilizantes inorgánicos que contengan Zn, Mn y Fe	13.0°



Agriculture Code, 2021) <sup>§</sup>	Fertilizantes fosfatados	4
	Fertilizantes de especialidad (<6% de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) sin micronutrientes	20.0°
	Fertilizantes de especialidad (<6% de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) con micronutrientes	20.0°°
USA/Oregon (Department of Agriculture Oregon, 2021) <sup>§§</sup>	Fertilizantes fosfatados	7.5
USA/Washington (Washington Administrative Code, 2021) <sup>†</sup>	Fertilizantes fosfatados	889.0
USA/EPA	Biosólidos	1.9**
Colombia (ICA, 2020)	Bioinsumos (Biofertilizantes)	39.0
Costa Rica (Ministerio de Agricultura y Ganadería Costa Rica, 2016) ) (Ministerio de Agricultura y Ganadería Costa Rica, 2001)	Fertilizantes inorgánicos y enmiendas orgánicas como residuos vegetales y animales procesados, compost, bocashi, bioles o biofermentos, lixiviados y extractos de plantas	80.0
	Roca de Fosfato Natural	90.0
Ecuador (AGROCALIDAD, 2021)	Fertilizantes, Enmiendas de Suelo y Productos Afines de Uso Agrícola	1.5

\*: mg de Cd/kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

\*\* : Esta legislación no establece límite para fertilizantes si no para suelo en kg Cd ha<sup>-1</sup>

°: Valor de ppm por porcentaje del elemento presente en el fertilizante

°°: Valor de ppm por porcentaje del elemento presente en el fertilizante, más 20 mg por kg de fertilizante

§: la regla indica 4 mg kg<sup>-1</sup> por % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y esta concentración de Cd es la que debe estar presente en el fertilizante

§§: la regla indica 7.5 mg kg<sup>-1</sup> por % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y esta concentración de Cd es la que debe estar presente en el fertilizante

†: la regla indica 0.079 lb/acre

## Metodología

Esta nota técnica tiene como objetivo analizar las normativas existentes en los tres países donde se desarrollan las actividades de la plataforma, estableciendo puntos críticos, fortalezas y debilidades. En este contexto se diseñó una metodología con secciones específicas que permitan evaluar a todas las legislaciones bajo un mismo enfoque, considerando las particularidades y condiciones específicas de cada país, y de esta forma establecer conclusiones y plantear sugerencias para el mejoramiento continuo de este tipo de normativas. Es importante resaltar que esta nota técnica no busca ser un reemplazo a las normativas actuales, sino que, al contrario, pretende generar un análisis científico-técnico de la realidad actual y proponer alternativas realistas y ajustadas a las condiciones de cada país para mejorar aspectos que requieren ajuste.



## Búsqueda e identificación de metodologías (recopilación de la información)

El primer paso de este análisis comprendió la búsqueda e identificación de normativas. Para este efecto, se consideraron legislaciones de países conocidos por su manejo prolijo de los temas ambientales. En este contexto, se seleccionaron las normas observadas en Australia, Estados Unidos (USA), y la Unión Europea (UE). Para establecer cuáles son las normativas en los países de la plataforma con respecto al contenido de Cd en fertilizantes, se contactó a los coordinadores de las instituciones co-ejecutoras para que se recopile la información necesaria para la construcción de esta nota técnica. En adición, se consolidó información a través de motores de búsqueda (p.e., Google) incluyendo palabras clave como ‘metales pesados’, ‘cadmio’, ‘fertilizantes’, ‘abonos’, ‘abonos orgánicos’, ‘enmiendas’, ‘mejoradores de suelo límites’, ‘normativa’, ‘ley, Colombia’, ‘Costa Rica’ y ‘Ecuador’.

De la misma forma, se realizaron consultas a funcionarios de las instituciones gubernamentales encargadas de este tipo de regulaciones. Los criterios de inclusión de las normas fueron: (i.) haber sido emitido por una entidad gubernamental, y, (ii.) ser el último reglamento o normativa promulgada. Los criterios de exclusión fueron: (i.) el año de emisión y (ii.) su vigencia.

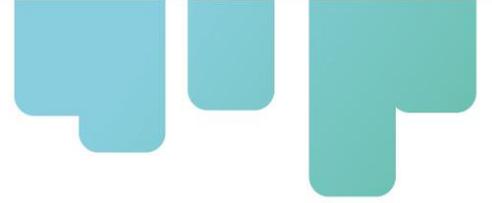
El mismo procedimiento se llevó a cabo para las normativas internacionales, pero en este caso las palabras clave fueron *heavy metal, cadmium, regulations, limits, threshold, fertilizers, phosphate fertilizer, organic amendment, European Union, Australia, United States of America, y EPA*. Esta recopilación de información permitió establecer los límites mostrados en la **Tabla 3**.

## Evaluación de la normativa

Una vez establecida la normativa, se verificaron puntos críticos de los cuales depende la robustez, validez y aplicabilidad de sus normas. Las características identificadas fueron, *criterios para la construcción de la normativa (antecedentes), accesibilidad (disponibilidad) de la información, difusión, aplicabilidad, y métodos de evaluación y autoevaluación de la norma*.

Los criterios para la construcción de la normativa comprenden la constatación de la disponibilidad de la introducción, objetivos y metodología en las cuales se explique de donde provienen los valores planteados en la legislación. Asimismo, se verificó si existían laboratorios o instituciones de investigación involucrados en la elaboración del documento que hayan aportado con criterios científico-técnicos para el establecimiento de los límites.

Accesibilidad de la información: para esto se evaluó la disponibilidad de la información en línea, y de forma pública y gratuita sin limitaciones para cualquiera de los actores de la cadena de producción de cacao. Estas condiciones fueron consideradas como elementos positivos para la aplicabilidad y cumplimiento de la normativa.



Aplicabilidad de la normativa: a pesar de que este punto es de difícil evaluación mediante una revisión de literatura, es posible definirla en medida de los ejemplos disponibles para aquellos productores de fertilizantes que no cumplan con la norma.

Difusión de la normativa: en este aspecto se determinó si la normativa ha sido difundida en eventos o en anuncios de páginas oficiales. También se estableció la conexión de este documento con otros como la normativa de comercialización de fertilizantes o el manual de buenas prácticas agrícolas de cada país.

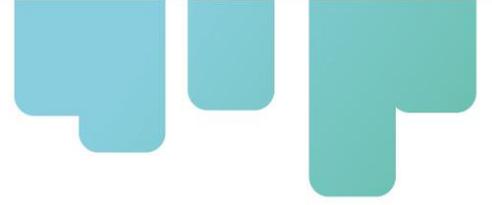
De otra parte, los métodos de evaluación y autoevaluación en el tiempo fueron aquellos que permitieron establecer si las normativas son actualizadas considerando las condiciones presentes y futuras y cómo estas tendrán consecuencias en los suelos. Esto quiere decir que, mediante la valoración de este aspecto, se pudo establecer la sostenibilidad de cada legislación. También se determinó si existían sanciones para quien incumpla la normativa.

Con respecto al análisis, se elaboró una matriz de resumen presentada en la **Tabla 4** que sirve como una forma rápida de evaluar los puntos críticos a mejorar. Se reitera que estos puntos y su valoración son opiniones que no deben ser tomadas como una camisa de fuerza, sino como recomendaciones útiles para la mejora continua.

Para reforzar la evaluación de las normativas, se ha planteado un escenario **completamente teórico** en el cual se comparó el efecto de una legislación muy estricta versus otra más permisiva. Este ejercicio permitió estimar, de una manera hipotética, la cantidad de Cd que aportaría un fertilizante al suelo. Es necesario recalcar que este ejemplo se lo realizó con valores teóricos y de ninguna manera se debe tomar como un punto de referencia para realizar cálculos de fertilización o aplicación de enmiendas. De la misma forma, en el ejemplo planteado no se contabiliza todo el Cd que puede ser absorbido por la planta y el exportado hacia las almendras, también se resalta que, a este punto, se desconoce qué fracción del Cd proveniente del fertilizante se encuentra en una forma disponible para las plantas y la fracción que quedaría inmovilizada en el suelo.

### **Propuesta de investigación a futuro**

En la parte final de los resultados de esta nota técnica planteamos un capítulo que es un compendio de la información obtenida en los acápites anteriores estableciendo los puntos críticos que requerían de refuerzo y aquellos que son inexistentes. En consecuencia, se logró trazar propuestas de investigación a futuro en diversas áreas relacionadas tanto a la normativa, fertilizantes y al cultivo de cacao. Esto facilitará la sostenibilidad de la plataforma.



## Resultados

Todos los aspectos descritos en esta nota técnica tienen como fin revisar los criterios generales y las condiciones específicas de las normativas para limitar la entrada de Cd a través de los fertilizantes. Para esto, se detallan los documentos encontrados en los países donde se realizan las actividades de la plataforma con aquellos denominados ‘desarrollados y con alto uso de insumos sintéticos’ como fuente nutritiva de sus cultivos. Además, se recalca que estos países ya han atravesado por procesos de degradación de suelos como efecto de la aplicación excesiva de fertilizantes, por lo que su experiencia al aplicar normativas debería ser considerado al momento de discutir una normativa de este tipo en nuestros países. Este análisis es una visión muy específica que tiene como intención ser una guía sobre la cual trabajar a futuro.

### **Análisis de las normativas Australiana, Europea y Estadounidense**

En esta sección presentamos los aspectos más importantes que definen la calidad y aplicabilidad de normativas consolidadas a nivel internacional. Esto permitirá que los países de la plataforma tengan una línea base para el mejoramiento o replanteamiento de su legislación actual.

En **Australia** el aspecto de *antecedentes de construcción de la normativa*, se plantea un propósito con objetivos definidos que establecen bases para la comercialización de fertilizantes. Esto permite al productor y distribuidor de fertilizantes establecer concentraciones de nutrientes y límites de contaminantes. Además, en la normativa pueden identificarse reglas para etiquetado en el cual se enuncian contenidos de nutrientes y advertencias sobre la presencia de contaminantes. A pesar de la solidez de la introducción de esta normativa, existen todavía vacíos en los objetivos específicos de la concentración de contaminantes, quizás este aspecto limita la aplicabilidad de sus preceptos en otras latitudes. También se identificó que, no existe una base teórica basada en modelamiento estadístico para el establecimiento de los límites presentados. Es decir, esta normativa carece de citas o referencias de investigación experimental o de ‘metaanálisis de datos’, que sirvan como un punto de partida a ser usado de referencia. La no publicación de esta información no significa que no exista, simplemente que, en el proceso de búsqueda de esta, no se encontró.

En referencia a la *accesibilidad de la información*, se encontró que el documento es fácilmente identificable y el mismo está disponible en la página de **Fertilizer Australia** en el enlace: <https://fertilizer.org.au/Membership/Codes-Of-Practice>. Cabe recalcar que esta institución es de tipo oficial y rige la comercialización de fertilizantes en este país; sin embargo, no es gubernamental, esto quizás plantea dudas acerca de cuáles son las penalizaciones por el incumplimiento de la normativa.

La *aplicabilidad de la normativa* es clara y existen normas para su ejecución con un ejemplo claro



de etiquetado y advertencias acerca del contenido de contaminantes en el producto. También se hace *difusión* a través de su citación en documentos locales relacionados al control de fertilizantes en diferentes zonas de Australia relacionadas con el ámbito agrícola. Los *métodos de evaluación* de la normativa son claros y permiten establecer el cumplimiento de los límites estipulados.

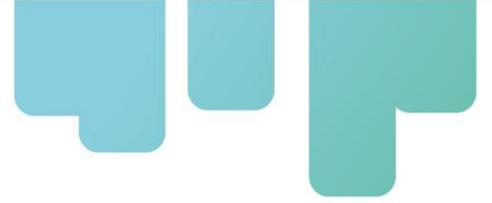
En **Europa**, la normativa explica de forma extensiva las razones y sustento legal que sirve como base para la elaboración de la norma. En uno de sus puntos se resalta que uno de los intereses de la norma es la protección de la salud humana, animal, y vegetal, sin dejar de lado el cuidado del ambiente. En el aspecto de contaminantes en productos de fertilización, se menciona con especial énfasis el riesgo que la presencia de Cd puede representar tanto para la salud humana como animal. También existe una clara descripción de los límites de concentración de Cd planteados para los fertilizantes fosfatados. Se indica que estos valores están basados en evidencia científica obtenida mediante la investigación en ciencias ambientales. Finalmente, se plantea que, a pesar de ser una legislación que rige a toda la comunidad europea, existe la posibilidad de que cada estado plantee un límite específico para su territorio, pero este valor debe ser igual o inferior al planteado por la UE.

En lo referente a la *accesibilidad de la información*, esta normativa está disponible en 24 idiomas para que sea aprovechable por técnicos de todos los países que hagan parte de la UE. El ente regulatorio y emisor de esta norma es el Parlamento Europeo. La documentación completa de esta legislación está suscrita en el enlace: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/LSU/?uri=CELEX%3A32019R1009>. A pesar de que la institución es el ente rector a nivel europeo, es permitido que cada oficina de control local estime regulaciones más estrictas basadas en su historia de fertilización y sus condiciones edáficas actuales.

La *aplicabilidad de la normativa* es explícita e indica condiciones específicas basadas en el tipo de enmienda haciendo una división por categoría de fertilizante y también se dividen por concentración de nutrientes. Es importante notar que en esta normativa se resalta el contenido de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, esto se hace debido a la historia de aplicación de fertilizantes fosfatados en los suelos europeos y también que la materia prima para la elaboración de estos fertilizantes puede presentar niveles elevados de Cd. La *difusión* de esta legislación es amplia y ha sido promocionada para que sus ajustes disminuyan el efecto ambiental de la aplicación de fertilizantes.

Esta normativa tiene *métodos de evaluación* que requieren que se sustenten los cambios o modificaciones mediante la valoración de nueva información científica de relevancia, específicamente si esta se relaciona con toxicidad cancerígena. Asimismo, se hace énfasis en que los incumplimientos harían imposible la comercialización de los fertilizantes en esas latitudes de los países pertenecientes a la UE, cubiertos por la norma en mención.

En **California/USA** se define de forma extensa el sustento legal y las normativas que sirven de base para el planteamiento de la regulación. Todo el documento se soporta en los códigos de



'Food and Agriculture' en la división 'Plant Industry', capítulo 'Chemistry', y subcapítulo 'fertilizing materials'. Al igual que otras legislaciones no existe una descripción de los cálculos y del origen de los datos de los límites existentes. No se hace un planteamiento de una fuente de referencia como antecedente.

Esta legislación es accesible en diferentes formatos y proveniente de diversas fuentes. Los interesados pueden encontrar copias físicas en las bibliotecas del estado, o si no, pueden solicitar una copia física contactando a 'Barclays Publisher'. La información también se encuentra disponible en línea, en el enlace: <https://govt.westlaw.com/calregs/Document/I308CE7E0218311E3A16E95B9ABDEBB49?viewType=FullText&originationContext=documenttoc&transitionType=StatuteNavigator&contextData=%28sc.Default%29>. El ente de regulación de esta legislación es el gobierno del estado de California y se describe en los códigos registrados bajo las normas para estándares no nutritivos.

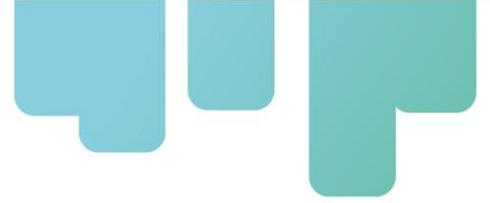
La *aplicación de la normativa* es relativamente clara, sin embargo, en algunas ocasiones sus límites pueden generar confusiones para el cálculo. Al igual que la normativa europea, la de California presenta una clasificación entre tipos de fertilizantes con énfasis en el contenido de fósforo. Es importante recalcar que el nivel de detalle no es el mismo que el aplicado por la UE, pero a pesar de ello, existe un tratamiento de las enmiendas con un criterio técnico. Por otra parte, la *difusión* de esta normativa es muy amplia y ha sido reproducida por diversos entes como universidades e instituciones no gubernamentales.

Los *métodos de evaluación* de la normativa no solo especifican la autoevaluación, sino que también especifican las causales que requieren para que se sustenten los cambios o modificaciones mediante la valoración de nueva información científica de relevancia, específicamente si se relaciona con toxicidad cancerígena. Asimismo, se hace énfasis en que los incumplimientos harían imposible la comercialización de los fertilizantes.

### **Criterios de construcción de las normativas de Colombia, Costa Rica, y Ecuador.**

Con el objetivo de mejorar las normativas de los países miembros de la plataforma, se planteó un análisis de sus contenidos mediante la misma metodología que se aplicó para las normativas internacionales. El análisis se lo presenta por separado para facilitar su interpretación, sin el objetivo de generar comparaciones que puedan resultar confusas y llevar a conclusiones erróneas.

**Colombia** plantea una normativa que no tiene antecedentes de su construcción en referencia al contenido de metales pesados permitidos en un fertilizante. La fortaleza en los antecedentes de la norma radica en que se hace una diferenciación de fertilizantes y se presentan definiciones concretas de términos que son recurrentemente usados en el documento. Se plantean también los requisitos para registrar productos y la necesidad de la ejecución de ensayos de efectividad.



En el aspecto *accesibilidad las dos normas* que sirvieron de base para construir esta normativa están disponibles en línea. Por ejemplo, el ‘Reglamento Técnico de Fertilizantes y Acondicionadores de Suelos para Colombia’ se puede consultar en el enlace: <https://www.ica.gov.co/areas/agricola/servicios/fertilizantes-y-bio-insumos-agricolas/resolucion-150-de-2003-1-1.aspx>. De otra parte, la Resolución No. 068370 (27/05/2020) se puede consultar en el enlace: <https://www.ica.gov.co/getattachment/Areas/Agricola/Servicios/Fertilizantes-y-Bio-insumos-Agricolas/Resolucion-068370-del-27-de-mayo-de-2020.pdf.aspx?lang=es-CO>. Ambos documentos han sido emitidos por el Instituto Colombiano Agropecuario - ICA, el cual es la institución rectora de normativas agrarias del gobierno colombiano.

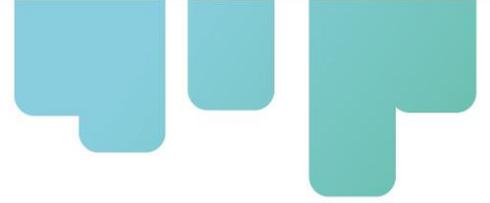
La *aplicabilidad de la norma* es ambigua debido a que establece que solo se aplica a biofertilizantes y los valores sugeridos para metales pesados están únicamente enunciados. En ningún momento se indica que estos valores son límites máximos, esto puede conducir a malas interpretaciones por parte de los productores u otras personas interesadas en aplicar la norma para la comercialización de fertilizantes. Por otra parte, su especificidad para un insumo en particular y la falta de distinción por tipo de fertilizante y contenido de fósforo hace que su estricta aplicabilidad sea compleja.

La *difusión de los documentos* es limitada y se puede interpretar que su rango de acción se limita únicamente a los expertos en fertilización y/o casas comerciales de fertilizantes. Existen pocas citas de estos documentos en literatura científica, por lo tanto, se podría deducir que la relevancia de la normativa no se ha difundido adecuadamente o se desconoce su existencia por gran parte de los grupos de investigación que trabajan en la temática de Cd en el cultivo de cacao en Colombia.

*En términos de métodos de evaluación de la normativa* no existen detalles de cómo se pueden autoevaluar los efectos de esta legislación. Sin embargo, los documentos si ejemplifican el tipo de penalización que puede suponer su no cumplimiento, pero no indican específicamente algo para el caso de los metales pesados como Cd.

En **Costa Rica** se tiene una normativa cuyos antecedentes son aplicables para la comercialización de enmiendas, pero con una explicación muy superficial acerca de las bases de planteamiento de la normativa. Es importante hacer énfasis en que esta normativa tiene un componente detallado de definiciones en los tipos de fertilizantes, lo que permite a los comerciantes y comunidad científica entender cuando es aplicable la norma, sin embargo, la carencia de objetivos y antecedentes de para la obtención del único límite disponible hace que, a nuestro entender, la norma sea poco aplicable en la realidad.

Esta normativa es de fácil *acceso*, solo es necesario colocar palabras claves como contaminantes,



Costa Rica, fertilizantes en un motor de búsqueda y la normativa estará disponible. El ente rector de este tipo de política pública es el Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica, por ende, es posible encontrar el documento en sus repositorios bajo el enlace [https://members.wto.org/crnattachments/2016/SPS/CRI/16\\_2523\\_00\\_s.pdf](https://members.wto.org/crnattachments/2016/SPS/CRI/16_2523_00_s.pdf).

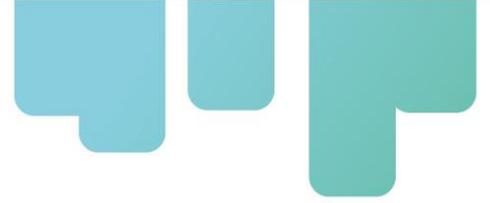
Al igual que otras normativas, la de Costa Rica establece un solo límite permitido para el contenido de Cd en un fertilizante. Este particular haría que, en la práctica, la normativa sea de difícil aplicación ya que cada enmienda tiene sus características específicas, por lo tanto, el tipo de producto a ser regulado tendrá una gran influencia en su manejo para reducir el riesgo de contaminación por Cd.

La *difusión* del documento es escasa, para su ubicación en la web es necesario tener un conocimiento previo acerca de legislación y del manejo de fertilizantes. *En términos de métodos de evaluación de la normativa*, no plantea un sistema de autoevaluación y mejoramiento continuo, de existir monitoreos de la aplicación de la norma, estos no son públicos o no se encuentran disponibles en la web.

La normativa **Ecuatoriana** presenta *antecedentes de construcción* y tiene el objetivo de servir de guía para el registro de fertilizantes para comercialización, esto quiere decir que en realidad no hace un análisis profundo de la contaminación que este tipo de productos podría presentar. Se presentan valores en relación con el contenido de metales pesados y su contenido máximo, estos límites son basados en el reglamento de la UE. Se podría presumir un error en la selección del valor planteado ya que este corresponde a aquel designado a enmiendas de origen orgánico en Europa.

La *accesibilidad a la normativa* es relativamente simple debido a que es un documento en línea elaborado por Agrocalidad (Agencia de control y aseguramiento de la calidad) en el enlace <https://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/2021/04/Manualfertilizantes6.pdf>. La mayor parte de actores que hace un uso de la normativa tienen el fin de registrar un producto comercial.

La *aplicación de esta norma* es compleja debido a dos aspectos principales, el primero es que los límites planteados son muy bajos, esta rigurosidad impide que ciertas enmiendas, que por su naturaleza tienen metales pesados, sean comercializadas. El segundo es que la norma no indica si el contenido hace referencia al peso seco del fertilizante o a un componente en específico (por ejemplo % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Por lo tanto, desde el punto de vista de su uso, su ambigüedad impide que se pueda difundir con facilidad y que además sea cumplida a cabalidad. Adicionalmente, el valor propuesto es relativamente bajo por lo que algunos laboratorios podrían tener problemas en detectar concentraciones a niveles planteados en la norma. Esto traería consigo el reporte de valores “por debajo del límite de detección” lo que se entendería, erróneamente, que el producto no contiene el contaminante.



La *difusión* de la norma trasciende poco los límites de aquellos individuos u organizaciones que trabajan en el ámbito de la comercialización de fertilizantes, otra característica que es digna de resaltar es que esta no ha sido socializada con la academia, esto genera vacíos técnicos que a la larga podrían generar malas interpretaciones al evaluar fertilizantes.

La *metodología de evaluación de la norma* es clara e indica que los fertilizantes deben presentar un certificado de análisis de contenido de metales pesados emitidos por laboratorios nacionales o internacionales, sin embargo, los análisis presentados por los comercializadores de los insumos no son públicos por lo que es difícil conocer la fiabilidad de los análisis presentados. Se puede indicar que la norma no presenta una autoevaluación y mejoramiento continuo, esto no permite una actualización de los valores propuestos en la normativa más acorde a la realidad de necesidad de los fertilizantes para la producción agrícola como la oferta de productos para satisfacer estas necesidades.

#### Comentarios sobre la evaluación de normativas

Los puntos críticos de las normativas a un límite máximo de contenido de Cd y metales pesados en un fertilizante corresponden a sus antecedentes (base teórica), aplicabilidad, y evaluación. El análisis realizado nos permite encontrar estas limitantes que resultan en interpretaciones erróneas y potenciales incumplimientos por parte de algunas marcas de fertilizantes. La falta de claridad en la base teórica presentada para el cálculo de los límites influye directamente en el resto de los aspectos, porque su ausencia limita su interpretación y aplicación por parte de los interesados, quienes pueden hacer cálculos erróneos en afán de cumplir con la normativa. También, la ausencia de la base teórica impide el debate de ideas y la postulación de valores alternativos que se ajusten a condiciones reales de cultivos y zonas de producción cacaotera. En la **Tabla 4** se presenta una valoración de los puntos clave de las normativas. Aquellos valores que presentan uno o dos asteriscos son aquellos en los cuales se debería trabajar para poder mejorar la normativa y que sea más adaptable a los propósitos de producción de cacao (u otros cultivos de interés).

**Tabla 4.** Resumen de análisis cualitativo de normativas de límite de contenido de Cd en fertilizantes.

Normativa	Criterio de análisis de la normativa				
	Antecedentes	Accesibilidad	Aplicabilidad	Difusión	Evaluación
Australia	**	***	***	***	***
UE	***	***	***	***	***
California/USA	**	***	***	***	**
Colombia	*	***	*	*	*
Costa Rica	*	***	*	*	*
Ecuador	*	***	*	*	*

\*Los asteriscos simbolizan el nivel de cumplimiento de los criterios cualitativos bajo los cuales las normas fueron evaluados. \* Bajo cumplimiento, \*\*Mediano cumplimiento y \*\*\* Alto cumplimiento del criterio.

### Aplicación de una normativa para el caso de cacao usando un caso teórico-hipotético

En esta nota técnica se plantea un ejemplo teórico, en el cual un grupo de fertilizantes fosfatados cumple con las normativas vigentes en cada uno de los países. En este sentido, en la **tabla 5** se visualiza que, usando las normas australiana y europea, los límites máximos de contenido de Cd aumentan a medida que el contenido de P aumenta. Esto quiere decir que la permisibilidad está supeditada a las impurezas provenientes de la roca fosfórica. Consecuentemente, a mayor contenido de fósforo presente en el fertilizante, mayor el límite de contenido de Cd. Las legislaciones mencionadas son dinámicas y se adaptan a la realidad de la producción de fertilizantes fosfatados. Esto con el objetivo de precautelar el ambiente y la salud de los seres vivos sin comprometer la producción de alimentos.

Por otra parte, en la misma tabla se puede observar que en el caso de legislaciones como las de USA, Colombia, Costa Rica y Ecuador, si el contenido de P incrementa, la permisibilidad de la legislación se mantiene constante, por lo tanto, no existe una consideración de la influencia de la concentración de roca fosfórica y contaminantes en un fertilizante. Esto disminuye la flexibilidad de la norma, en consecuencia, no se adapta en ciertas ocasiones a las realidades de cada país de interés.

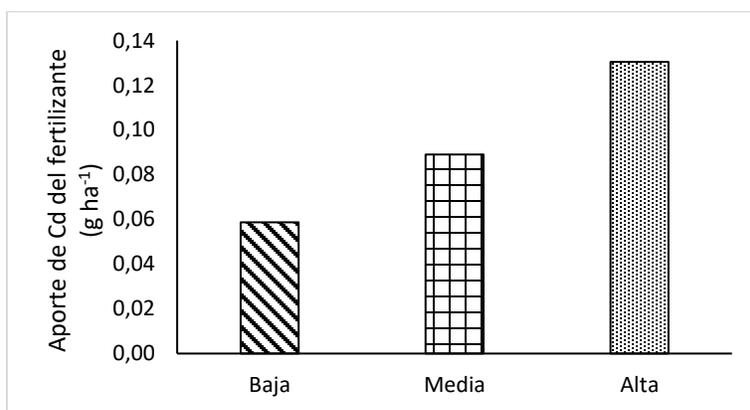
El dinamismo de las legislaciones de Australia y Europa está basado en la premisa del contenido de fósforo y sus límites se rigen a este elemento. Asimismo, su permisibilidad se incrementa a medida que el contenido de este nutriente aumenta, entendido como básica su aplicación en el contexto agrícola. Se recalca que este tipo de ejemplo se debería replicar, solo bajo las condiciones que consideran únicamente las propiedades de la roca de donde se produce el fertilizante.

**Tabla 5.** Ejemplo de la cantidad de Cd aportado por fertilizantes fosfatados, si estos cumplieran con las normativas vigentes de cada país.

Fertilizante	Contenido de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg) en un saco de 50 kg	Contenido de P (kg) en un saco de 50 kg	Aporte de Cd proveniente de cada país (g)					
			Australia (g)	UE (g)	USA/Cal (g)	Colombia (g)	Costa Rica (g)	Ecuador (g)
Superfosfato simple	11.0	4.8	1.5	0.7	9.0	2.0	4	0.08
Superfosfato triple	23.5	10.3	3.1	1.4	9.0	2.0	4	0.08

Fosfato di amónico	23.0	10.1	3.0	1.4	9.0	2.0	4	0.08
Fosfato monoamónico	26.0	11.4	3.4	1.6	9.0	2.0	4	0.08

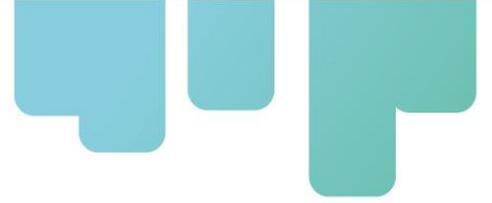
Considerando como referencia la **Tabla 5**, se planteó un ejemplo en el cual se aplicarían tres dosis de fertilizante fosfatado en un cultivo de cacao en producción; y se estima la cantidad de Cd que este producto podría aportar al suelo, teóricamente. El fertilizante aplicado sería el fosfato diamónico (DAP) en dosis de 18, 27, y 40 kg de P ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. En esta situación, **eminente teórica** y basada en la legislación ecuatoriana, el aporte de Cd por parte del fertilizante fosfatado sería 0.06, 0.1 y 0.13 g ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> con la dosis baja, media, y alta, respectivamente, como se presentan en el gráfico 6. Estas cifras son absolutamente bajas y su efecto sobre la concentración total del metal en el suelo sería inexistente.



**Gráfico 6.** Aporte teórico de Cd proveniente de un programa de fertilización fosfatada en cacao considerando tres dosis, bajo los límites de la normativa ecuatoriana. Las palabras Baja, Media, y Alta ubicadas en el eje de las abscisas corresponden a tres dosis hipotéticas de fertilización con DAP (18, 27, y 40 kg de P ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>).

La rigidez y falta de dinamismo en la norma descrita en cada país, podría conllevar a dificultades en la distribución de fertilizantes, especialmente los fosfatados, ya que todos ellos por su naturaleza contienen trazas de metales pesados, principalmente Cd. En consecuencia, una norma que tenga límites tan estrictos y que no considera la variabilidad de concentración de P en el producto presentaría dificultades de aplicabilidad y cumplimiento.

Queda establecido también que las cifras presentadas en esta última parte del documento deben ser consideradas como **referentes teóricos** ya que parten de un escenario hipotético. El cálculo presentado no realiza ninguna diferenciación entre contenido total y la fracción disponible de Cd en el fertilizante. Además, no se ha abordado el tema de la cantidad de Cd absorbido por la planta y aquella fracción exportada en los frutos y almendras como un egreso de Cd del sistema. Por lo



tanto, se sugiere discreción al momento de citar esta nota técnica y enfatizar que las cifras de ninguna manera podrían acercarse a aquello que podría ocurrir en la realidad y que, para estimar esos valores, es necesario realizar investigación experimental.

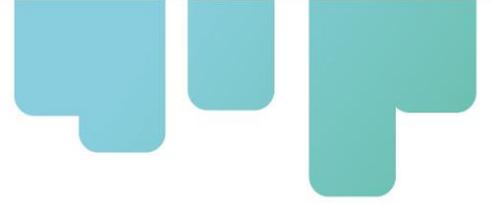
El objetivo de este estudio es realizar una revisión de las normativas y su potencial efecto en la producción de cacao sin aumentar el riesgo de contaminación. En este sentido, se observa que incluso, a valores de fertilización de  $40 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , el aporte de Cd en el fertilizante ( $0.13 \text{ g}$ ) es insignificante, considerando que la reserva total de Cd en suelo, a  $15 \text{ cm}$  de profundidad, puede ser en promedio  $880 \text{ g ha}^{-1}$  (a una concentración promedio de  $0.44 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Con esto, se puede concluir que, para la mayoría de las zonas, el uso de fertilizantes fosfatados **no** es el origen del problema, y que lo más probable es que no agrave el mismo; sin embargo, se debe de mantener al mínimo posible el ingreso de Cd adicional al sistema suelo/planta porque aquí, se tienen que tener en cuenta los efectos de (i.) translocación, por los niveles de hiperacumulación que pueden variar por los materiales genéticos de cacao que se use la cacaocultura de cada país productor; (ii.) las tasas de bioacumulación, por el factor ‘tiempo de establecimiento’ en la dinámica de los cultivos establecidos, lo que incluye las renovaciones, las resiembras, las injertaciones y el desconocido efecto patrón-copa en cultivos establecidos; así como otros factores (iii.) edafoclimáticos, lo que incluye el cambio climático global y local, o también el índice de acumulación geológica del Cd  $I_{\text{geo}}$  (Bravo y Braissant, 2022) y afloramiento en superficie; y (iv.) las interacciones con los sistemas (micro)biológicos, que inciden en las tasas de conversión de las fracciones disponible/no disponible, acuosa, del Cd en suelos, por lo que sí se recomienda revisar los valores de Cd permitidos en los fertilizantes.

### **Propuesta de investigación a futuro**

Con la revisión de las normativas vigentes en los países es necesario el planteamiento de diversas líneas de investigación enmarcadas en el mejoramiento de las legislaciones. En este acápite planteamos tres aspectos importantes en donde la investigación permitiría mejorar la calidad de las normativas e influir positivamente en la comercialización de fertilizantes sin comprometer la producción de cacao en los países productores. De igual forma este tipo de propuestas permitirían establecer bases para la aplicación sostenible y sustentable de fertilizantes en el cultivo de cacao.

La primera propuesta se refiere al muestreo aleatorio de los fertilizantes aplicados al cultivo de cacao, esto se puede hacer en los tres países de forma simultánea. Se debería incluir fertilizantes con diferentes concentraciones de P y con origen orgánico y mineral. En estas muestras se debe analizar la concentración de Cd y determinar parámetros estadísticos. De esta forma se establecerá el cumplimiento o no con la normativa interna de cada país. Esto permitiría establecer la calidad e inocuidad de los productos utilizados actualmente por los productores.

La segunda propuesta es la realización de ensayos de incubación con fertilizantes y suelos provenientes de las zonas de producción de cacao. Las características de los fertilizantes utilizados



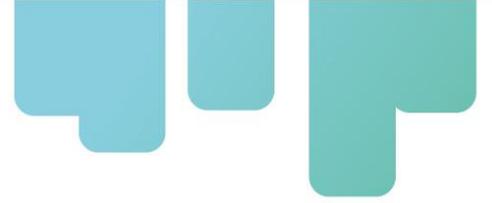
en estos ensayos será que se encuentre en el espectro del cumplimiento o no de la normativa vigente. Por otro lado, los suelos deben exhibir diferentes propiedades edafoclimáticas como ocurre en los suelos cultivados con cacao. Adicionalmente, estos deberán ser preferiblemente de zonas que hayan sido caracterizados como puntos con alta concentración de Cd (hotspots) tanto con incidencia regional (hotspots geográficos) como local (hotspots a nivel finca). De esta forma se podrá establecer cuál es la capacidad buffer de cada zona y así establecer la cantidad de Cd que puede contener el fertilizante para cada zona en específico sin comprometer la inocuidad del producto comercial, como lo es, las almendras de cacao.

Finalmente, la conjunción entre el análisis descriptivo y la experimentación bajo ambientes controlados se plantará la tercera propuesta de investigación. Esta contemplará la *revisión, análisis y proposición* de este tipo de normativas con los entes generadores de política pública en cada país miembro de esta plataforma. Consecuentemente con este trabajo se podría tomar las medidas correctivas y así mejorar las falencias potencialmente encontradas en las normativas actuales (excesivas flexibilidad o rigidez). Adicionalmente, se puede discutir y relacionar este documento, a la luz de normativas vigentes en otros países con mayor experiencia en el manejo suelos contaminados con metales pesados. Algunas de estas líneas propuestas serán desarrolladas en los próximos meses de implementación de la plataforma.

## Conclusiones

Los límites y valores críticos establecidos en normativas de países desarrollados no son comparables entre sí. Esto debido a que cada una de ellas considera las condiciones específicas de los suelos, la historia de fertilización y la calidad de los fertilizantes, las enmiendas aplicadas en cada zona, y el potencial de transferencia de los cultivos. Esto permite incrementar la tolerancia al contenido de metales pesados y así permitir la comercialización de fertilizantes, muy necesarios para asegurar la productividad de los cultivos. No es sencillo construir legislación que cumpla ambas premisas, proteger el ambiente y asegurar la inocuidad de los alimentos, y además incrementar la disponibilidad de los fertilizantes. Consideramos que la elaboración de este documento crítico constructivo es un comienzo hacia la construcción de normativas más realistas e inclusivas.

En consecuencia, la difusión de este tipo de documentos puede repercutir positivamente en reducir los riesgos de contaminación de suelos con metales pesados. En esta revisión, se destacó que la ausencia de información de etiquetado de fertilizantes y el contenido de impurezas hacen poco viable establecer el cumplimiento de los límites máximos permitidos en todos los fertilizantes. De la misma manera, el establecimiento de límites excesivamente bajos generaría una falsa sensación de seguridad al momento de aplicar los fertilizantes fosfatados. También dificultaría la comercialización de fertilizantes minerales y enmiendas orgánicas ya que en su gran mayoría no cumplirían con la normativa.

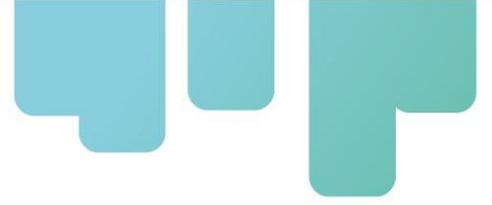


Destacamos que no existe evidencia concluyente que permita indicar, que la aplicación de fertilizantes es una fuente de contaminación de Cd al suelo en los países de la plataforma. La mayor parte de Cd biodisponible tiene un origen pedogénico relacionado con la meteorización del material parental, y los aportes antropogénicos de Cd en cada sistema de cultivo de cacao es un tema de investigación. Bajo el análisis presentado en este documento, se sugiere que es poco probable que las aplicaciones de fertilizantes sean la principal fuente de Cd en las plantaciones de cacao. No obstante, el contenido de Cd, y la amplia variabilidad de los suelos cacaoteros, podrían influir en la potencial contaminación de Cd por la aplicación de fertilizantes. En este caso, la contaminación de Cd de origen geogénico es latente y debe ser enfrentada después de una diferenciación de los principales puntos de alta concentración de Cd en zonas cacaoteras. En estas zonas se deben hacer ajustes a las normas de límite de contenido de metales en los fertilizantes y se deben imponer, en consenso con los entes de control y legislación de cada país, límites más bajos para evitar la generación de problemas de contaminación a mediano y largo plazo en el cultivo de cacao.

## Recomendaciones

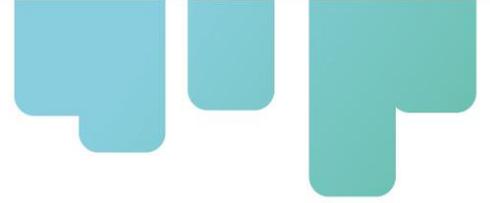
La carencia de información comprobable del contenido de Cd en las enmiendas genera la necesidad de muestrear y analizar los fertilizantes disponibles y utilizados para la nutrición del cultivo de cacao. De esta forma se podrán establecer los valores reales de contenido de Cd en los productos y determinar el aporte de Cd en los suelos y almendras de cacao.

Es muy importante también realizar jornadas de capacitación con agricultores para explicar las consecuencias de aplicación de fertilizantes con contenidos de Cd que sobrepasen las normativas, en estas capacitaciones se sugiere discutir los beneficios del uso de fertilizantes, especialmente en la producción y los rendimientos en grano.

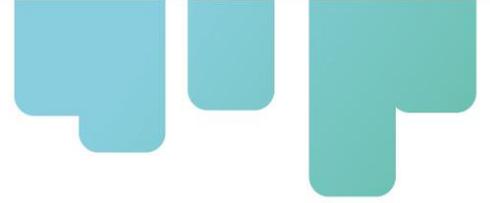


## Referencias Bibliográficas

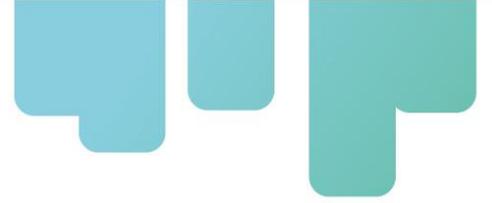
- Abedi, T., & Mojiri, A. (2020). Cadmium uptake by wheat (*Triticum aestivum* L.): An overview. *Plants*, 9(4), 1–14. <https://doi.org/10.3390/plants9040500>
- Acierno, V. (2020). *Following cocoa beans to chocolate: The search for intrinsic characteristics*. Wageningen University and Research.
- Agriculture Department of Victoria Australia. (2015). *Guide to Victorian Fertiliser Regulations Agricultural and Veterinary Chemicals (Control of Use) (Fertilisers) Regulations 2015*.
- AGROCALIDAD. (2021). Manual técnico para el registro y control de fertilizantes, enmiendas de suelo y productos afines de uso agrícola. In *Ministerio de Agricultura y Ganadería* (Vol. 16). <https://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/2021/04/Manualfertilizantes6.pdf>
- Alarcón, E. A. (2018). *Evaluación del potencial de mercado de un bioinsumo inmovilizador de cadmio en el sistema Colombiano* [Universidad EAFIT]. [http://awsassets.wfnz.panda.org/downloads/earth\\_summit\\_2012\\_v3.pdf%0Ahttp://hdl.handle.net/10239/131%0Ahttps://www.uam.es/gruposinv/meva/publicaciones/jesus/capitulos\\_espanyol\\_jesus/2005\\_motivacion\\_para\\_el\\_aprendizaje\\_Perspectiva\\_alumnos.pdf%0Ahttps://ww](http://awsassets.wfnz.panda.org/downloads/earth_summit_2012_v3.pdf%0Ahttp://hdl.handle.net/10239/131%0Ahttps://www.uam.es/gruposinv/meva/publicaciones/jesus/capitulos_espanyol_jesus/2005_motivacion_para_el_aprendizaje_Perspectiva_alumnos.pdf%0Ahttps://ww)
- Alloway, B. J., & Steinnes, E. (1999). Anthropogenic Additions of Cadmium to Soils. In J. McLaughlin & R. Singh (Eds.), *Cadmium in Soils and Plants* (pp. 97–123). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-94-011-4473-5\\_5](https://doi.org/10.1007/978-94-011-4473-5_5)
- Amburo, D. (2017). Condiciones Productivas de Cacao de los Territorios Rurales de la Zona Norte y Caribe de Costa Rica. In *Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura*.
- Argüello, D., Chavez, E., Laurysen, F., Vanderschueren, R., Smolders, E., & Montalvo, D. (2019). Soil properties and agronomic factors affecting cadmium concentrations in cacao beans : A nationwide survey in Ecuador. *Science of the Total Environment*, 649, 120–127. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.292>
- Barraza, F., Schreck, E., Lévêque, T., Uzu, G., López, F., Ruales, J., Prunier, J., Marquet, A., & Maurice, L. (2017). Cadmium bioaccumulation and gastric bioaccessibility in cacao: A field study in areas impacted by oil activities in Ecuador. *Environmental Pollution*, 229(2017), 950–963. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.07.080>
- Barrera, V., Casanova, T., Domínguez, J., Escudero, L., Loor, G., Peña, G., Rarraga, J., Arevalo, J., Tarqui, O., Plaza, L., Sotomayor, I., Zambrano, F., Rodríguez, G., García, C., & Racines, M. (2019). La cadena de valor del cacao en y el bienestar de los productores de la provincia de Manabí-Ecuador. In A. P. Gráficas (Ed.), *Iniap*. INIAP. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5382>
- Benáková, M., Ahmadi, H., Dučaiová, Z., Tylová, E., Clemens, S., & Tůma, J. (2017). Effects of Cd and Zn on physiological and anatomical properties of hydroponically grown *Brassica napus*



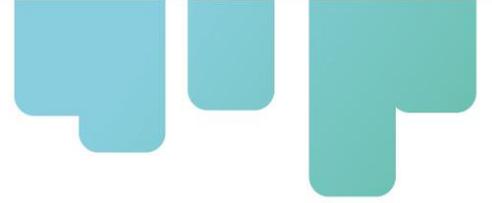
- plants. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(25), 20705–20716.  
<https://doi.org/10.1007/s11356-017-9697-7>
- Bergen, B., Verbeeck, M., & Smolders, E. (2022). Trace metal accumulation in agricultural soils from mineral phosphate fertiliser applications in European long-term field trials. *European Journal of Soil Science*, 73(1), 0–3. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/ejss.13167>
- Bravo, D, & Braissant, O. (2022). Cadmium-tolerant bacteria: current trends and applications in agriculture. *Letters in Applied Microbiology*, 74(3), 311–333.  
<https://doi.org/10.1111/lam.13594>
- Bravo, D, Pardo-Díaz, S., Benavides-Erazo, J., Rengifo-Estrada, G., Braissant, O., & Leon-Moreno, C. (2018). Cadmium and cadmium-tolerant soil bacteria in cacao crops from northeastern Colombia. *Journal of Applied Microbiology*, 124(5), 1175–1194.  
<https://doi.org/10.1111/jam.13698>
- Bravo, Daniel, Leon-Moreno, C., Martínez, C. A., Varón-Ramírez, V. M., Araujo-Carrillo, G. A., Vargas, R., Quiroga-Mateus, R., Zamora, A., & Rodríguez, E. A. G. (2021). The first national survey of cadmium in cacao farm soil in Colombia. *Agronomy*, 11(4), 1–18.  
<https://doi.org/10.3390/agronomy11040761>
- Chaney, R. L. (2012). Food safety issues for mineral and organic fertilizers. In *Advances in Agronomy* (Vol. 117, Issue February, pp. 51–116). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394278-4.00002-7>
- Chaney, R. L., Ryan, J. A., Li, Y.-M., & Brown, S. L. (1999). Soil Cadmium as a Threat to Human Health. In *Cadmium in Soils and Plants* (pp. 219–256). [https://doi.org/10.1007/978-94-011-4473-5\\_9](https://doi.org/10.1007/978-94-011-4473-5_9)
- Chavez, E., He, Z. L., Stoffella, P. J., Mylavarapu, R. S., Li, Y. C., & Baligar, V. C. (2016). Chemical speciation of cadmium: An approach to evaluate plant-available cadmium in Ecuadorian soils under cacao production. *Chemosphere*, 150(February), 57–62.  
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.02.013>
- Chavez, E., He, Z. L., Stoffella, P. J., Mylavarapu, R. S., Li, Y. C., Moyano, B., & Baligar, V. C. (2015). Concentration of cadmium in cacao beans and its relationship with soil cadmium in southern Ecuador. *Science of the Total Environment*, 533, 205–214.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.06.106>
- Cheraghi, M., Lorestani, B., & Merrikhpour, H. (2012). Investigation of the effects of phosphate fertilizer application on the heavy metal content in agricultural soils with different cultivation patterns. *Biological Trace Element Research*, 145(1), 87–92.  
<https://doi.org/10.1007/s12011-011-9161-3>
- Comisión Interinstitucional de Cacao. (2018). Plan Nacional de Cacao 2018-2028: Hacia la consolidación de una agrocadena competitiva y sostenible. In *Ministerio de Agricultura y Ganadería. Sector Agroalimentario. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura*. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/E14-11072.pdf>
- Department of Agriculture Oregon. (2021). *Oregon Administrative Rules*.
- Engbersen, N., Gramlich, A., Lopez, M., Schwarz, G., Hattendorf, B., Gutierrez, O., & Schulin, R. (2019). Cadmium accumulation and allocation in different cacao cultivars. *Science of the*



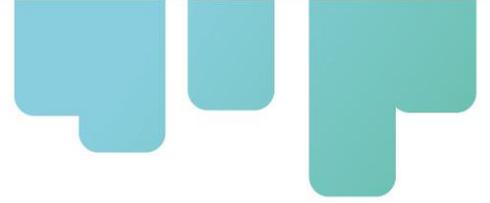
- Total Environment*, 678, 660–670. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.001>
- European Commission. (2014). Statement on tolerable weekly intake for cadmium. In *Diario Oficial de la Unión Europea* (Vol. 9, Issue 2). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2011.1975>
- European Parliament and the Council of the European Union. (2019). Regulation (EU) 2019/1009 of the European Parliament and of the Council. In *Official Journal of the European Union*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R1009&from=EN>
- Fertilizer Australia. (2018). *National Code of Practice for Fertilizer Description & Labelling*.
- Food and Agriculture Code. (2021). *California Code Regulation. Tit. 3 §2302- Non-nutritive standards*.
- Furcal-Beriguete, P., & Torres-Morales, J. L. (2020). Determination of cadmium concentrations in cocoa plantations (*Theobroma cacao* L.) in Costa Rica. *Revista Tecnología En Marcha*, 33, 122–137. <https://doi.org/https://doi.org/10.18845/tm.v33i1.5027>
- Genchi, G., S, S., Graziantono, L., Carocci, A., & Catalano, A. (2020). The Effects of Cadmium Toxicity. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(11), 3782. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/329480/WHO-CED-PHE-EPE-19.4.3-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gil, J. P., López-Zuleta, S., Quiroga-Mateus, R. Y., Benavides-Erazo, J., Chaali, N., & Bravo, D. (2021). Cadmium distribution in soils, soil litter and cacao beans: a case study from Colombia. *International Journal of Environmental Science and Technology*. <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03299-x>
- Gramlich, A., Tandy, S., Gauggel, C., López, M., Perla, D., Gonzalez, V., & Schulin, R. (2018). Soil cadmium uptake by cocoa in Honduras. *Science of the Total Environment*, 612, 370–378. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.145>
- Hütz-Adams, F., Huber, C., Knoke, I., Morazán, D. P., & Mürlebach, M. (2016). Strengthening the competitiveness of cocoa production and improving the income of cocoa producers in West and Central Africa. In *Institut für Ökonomie und Ökumene* (Vol. 49, Issue 0). [https://suedwind-institut.de/files/Suedwind/Publikationen/2017/2017-06 Strengthening the competitiveness of cocoa production and improving the income of cocoa producers in West and Central Africa.pdf](https://suedwind-institut.de/files/Suedwind/Publikationen/2017/2017-06%20Strengthening%20the%20competitiveness%20of%20cocoa%20production%20and%20improving%20the%20income%20of%20cocoa%20producers%20in%20West%20and%20Central%20Africa.pdf)
- ICA. (2020). Resolución No. 068370 (27/05/2020). Requisitos para el registro de productor, productor por contrato, envasador, importador y departamentos técnicos de ensayos de eficacia agronómica de Bioinsumos para uso agrícola; así como los requisitos para el registr. In *Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural* (Vol. 068370, Issue 068370).
- ICCO. (2021a). *Cocoa Market Report September 2021* (Vol. 1, Issue 1).
- ICCO. (2021b). *Production of cocoa beans*.
- Resolución No. 0015 Reglamento Técnico de Fertilizantes y Acondicionadores de Suelos para Colombia, Pub. L. No. 00150, 00150 1 (2003).
- Kirkham, M. B. (2006). Cadmium in plants on polluted soils: Effects of soil factors, hyperaccumulation, and amendments. *Geoderma*, 137(1–2), 19–32. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2006.08.024>



- Larkin, R. P. (2015). Soil Health Paradigms and Implications for Disease Management. *Annual Review of Phytopathology*, 53(1), 199–221. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080614-120357>
- Lewis, C., Lennon, A. M., Eudoxie, G., & Umaharan, P. (2018). Genetic variation in bioaccumulation and partitioning of cadmium in *Theobroma cacao* L. *Science of the Total Environment*, 640–641, 696–703. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.365>
- Loganathan, P., Hedley, M. J., Grace, N. D., Lee, J., Cronin, S. J., Bolan, N. S., & Zanders, J. M. (2003). Fertiliser contaminants in New Zealand grazed pasture with special reference to cadmium and fluorine: A review. *Australian Journal of Soil Research*, 41(3), 501–532. <https://doi.org/10.1071/SR02126>
- López-Ulloa, M., Jaimez, R., & Orozco-Agular, L. (2021). *Guía 01: Cadmio en el cultivo de cacao*.
- Lund, L. J., Betty, E. E., Page, A. L., & Elliott, R. A. (1981). Occurrence of Naturally High Cadmium Levels in Soils and Its Accumulation by Vegetation. *Journal of Environmental Quality*, 10(4), 551–556. <https://doi.org/10.2134/jeq1981.00472425001000040027x>
- MADR. (2021). Cadena de valor de Cacao. In *Dirección de cadenas agrícolas y forestales*. [https://sioc.minagricultura.gov.co/Cacao/Documentos/2020-03-31 Cifras Sectoriales.pdf](https://sioc.minagricultura.gov.co/Cacao/Documentos/2020-03-31%20Cifras%20Sectoriales.pdf)
- Marchive, L., López-Ulloa, M., Chávez, E., & Atkinson, R. (2021). *Guía 03: Factores que influyen en la biodisponibilidad de cadmio en el suelo y su acumulación en la planta*.
- Mendes, A. M. S., Duda, G. P., Do Nascimento, C. W. A., & Silva, M. O. (2006). Bioavailability of cadmium and lead in a soil amended with phosphorus fertilizers. *Scientia Agricola*, 63(4), 328–332. <https://doi.org/10.1590/s0103-90162006000400003>
- Meter, A., Atkinson, R. J., & Laliberte, B. (2019). *Cadmio en el cacao de América Latina y el Caribe- Análisis de la investigación y soluciones potenciales para la mitigación*. Biodiversity International.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2017). *Producción de Cacao apunta a romper récord este año*. Comunicados y Noticias. [https://www.agricultura.gob.ec/produccion-de-cacao-apunta-a-romper-record-este-ano/#:~:text=En Ecuador%2C los cultivos de,Orellana%2C Napo y Zamora Chinchipe](https://www.agricultura.gob.ec/produccion-de-cacao-apunta-a-romper-record-este-ano/#:~:text=En%20Ecuador%2C%20los%20cultivos%20de%20Orellana%2C%20Napo%20y%20Zamora%20Chinchi).
- Ministerio de Agricultura y Ganadería Costa Rica. (2001). *Reglamento de agricultura orgánica N° 29782-MAG*. [https://www.sfe.go.cr/Decretos/Decreto N° 29782 Reglamento sobre la Agricultura Orgánica.pdf](https://www.sfe.go.cr/Decretos/Decreto%20N%C2%BA29782%20Reglamento%20sobre%20la%20Agricultura%20Org%C3%A1nica.pdf)
- Ministerio de Agricultura y Ganadería Costa Rica. (2016). *Reglamento Técnico de Centro América. RTCR 485:2016. Sustancias químicas. Fertilizantes y enmiendas para uso agrícola. Tolerancias y límites permitidos para la concentración de los elementos y contaminantes*.
- Ministerio de Producción comercio exterior inversiones y pesca. (2021). *Boletín de cifras Comercio Exterior Diciembre 2021*. [https://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/2021/12/VFBoletinComercioExteriorDiciembre2021-final.pdf?fbclid=IwAR3dpQeWuwUgQF8IOVsb7SSmLCbMPBHZkKhpxXqMA7HPEY61wWhNdy\\_v8rl](https://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/2021/12/VFBoletinComercioExteriorDiciembre2021-final.pdf?fbclid=IwAR3dpQeWuwUgQF8IOVsb7SSmLCbMPBHZkKhpxXqMA7HPEY61wWhNdy_v8rl)
- Mortvedt, J. J. (1994). Heavy metals contaminants in inorganic and organic fertilizer. *International Symposium "Fertilizers and Environment,"* 539.



- Motamayor, J., Risterucci, A. M., Lopez, P. A., Ortiz, C. F., Moreno, A., & Lanaud, C. (2002). Cacao domestication I: The origin of the cacao cultivated by the Mayas. *Heredity*, *89*(5), 380–386. <https://doi.org/10.1038/sj.hdy.6800156>
- Nacke, H., Gonçalves, A. C., Schwantes, D., Nava, I. A., Strey, L., & Coelho, G. F. (2013). Availability of heavy metals (Cd, Pb, and Cr) in agriculture from commercial fertilizers. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, *64*(4), 537–544. <https://doi.org/10.1007/s00244-012-9867-z>
- Nadurille, E. (2010). Cacao: Cadena de valor de Costa Rica. In *Ilica - Catie*. [http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A7712E/A7712E.PDF?fbclid=IwAR3ymZt5EF3yRy\\_MpBZqlhRxmaM3kSrOttG\\_k-ZvLaQW69nBn\\_WJMaYLGbg](http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A7712E/A7712E.PDF?fbclid=IwAR3ymZt5EF3yRy_MpBZqlhRxmaM3kSrOttG_k-ZvLaQW69nBn_WJMaYLGbg)
- Nookabkaew, S., Rangkadilok, N., Prachoom, N., & Satayavivad, J. (2016). Concentrations of Trace Elements in Organic Fertilizers and Animal Manures and Feeds and Cadmium Contamination in Herbal Tea (*Gynostemma pentaphyllum* Makino). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *64*(16), 3119–3126. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b06160>
- Osorio-Guarín, J. A., Berdugo-Cely, J., Coronado, R. A., Zapata, Y. P., Quintero, C., Gallego-Sánchez, G., & Yockteng, R. (2017). Colombia a source of cacao genetic diversity as revealed by the population structure analysis of germplasm bank of theobroma cacao l. *Frontiers in Plant Science*, *8*(November), 1–13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01994>
- PROCOMER. (2019). *Manual Técnico Siembra de cacao fino y de aroma*.
- PROCOMER. (2021). *Cacaoteros representarán a Costa Rica en importante concurso internacional*. <https://www.procomer.com/noticia/comprador-internacional-noticia/cacaoteros-representaran-a-costa-rica-en-importante-concurso-internacional/>
- Ramtahal, G., Chang Yen, I., Bekele, I., Bekele, F., Wilson, L., Maharaj, K., & Sukha, B. (2015). Implications of distribution of cadmium between the nibs and testae of cocoa beans on its marketability and food safety assessment. *Quality Assurance and Safety of Crops and Foods*, *7*(5), 731–736. <https://doi.org/10.3920/QAS2013.0388>
- Roberts, T. L. (2014). Cadmium and phosphorous fertilizers: The issues and the science. *Procedia Engineering*, *83*, 52–59. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.09.012>
- Roslan, N. A., Norkhadijah, S., Ismail, S., & Praveena, S. M. (2016). The Transfer Factor of Cadmium in Fern Leaves and Its Potential Health Risk. *Asia Pacific Environmental and Occupational Health Journal*, *2*(April), 48–57.
- Sharma, H., Rawal, N., & Mathew, B. B. (2015). The Characteristics, Toxicity and Effects of Cadmium. *International Journal of Nanotechnology and Nanoscience*, *3*(January), 1–9.
- Smolders, E. (2001). Cadmium uptake by plants. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, *14*(2), 177–183.
- Sterckeman, T., & Thomine, S. (2020). Mechanisms of Cadmium Accumulation in Plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*, *39*(4), 322–359. <https://doi.org/10.1080/07352689.2020.1792179>
- Sun, N., Thompson, R. B., Xu, J., Liao, S., Suo, L., Peng, Y., Chen, Q., Yang, J., Li, Y., Zou, G., & Sun, Y. (2021). Arsenic and cadmium accumulation in soil as affected by continuous organic fertilizer application: Implications for clean production. *Agronomy*, *11*(11).



- <https://doi.org/10.3390/agronomy11112272>
- Toxopeus, H. (2008). Botany, Types and Populations. In *Cocoa* (Issue 1964, pp. 11–37).  
<https://doi.org/10.1002/9780470698983.ch2>
- van der Ent, A., Baker, A. J. M., Reeves, R. D., Pollard, A. J., & Schat, H. (2013). Hyperaccumulators of metal and metalloid trace elements: Facts and fiction. *Plant and Soil*, 362(1–2), 319–334. <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1287-3>
- van Vliet, J. A., & Giller, K. E. (2017). Mineral Nutrition of Cocoa : A Review. In *Advances in Agronomy* (1st ed., Vol. 141). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2016.10.017>
- Vanderschueren, R., Argüello, D., Blommaert, H., Montalvo, D., Barraza, F., Maurice, L., Schreck, E., Schulin, R., Lewis, C., Luis, J., Umaharan, P., Chavez, E., Sarret, G., & Smolders, E. (2021). Mitigating the level of cadmium in cacao products : Reviewing the transfer of cadmium from soil to chocolate bar. *Science of the Total Environment*, 781(2021), 19. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146779>
- Vanderschueren, R., De Mesmaeker, V., Mounicou, S., Isaure, M. P., Doelsch, E., Montalvo, D., Delcour, J. A., Chavez, E., & Smolders, E. (2020). The impact of fermentation on the distribution of cadmium in cacao beans. *Food Research International*, 127(October 2019), 108743. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108743>
- Verbeeck, M., Salaets, P., & Smolders, E. (2020). Trace element concentrations in mineral phosphate fertilizers used in Europe: A balanced survey. *Science of the Total Environment*, 712, 136419. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136419>
- Washington Administrative code, (2021).
- Wiesler, F. (2011). Nutrition and Quality. In *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants: Third Edition* (pp. 271–282). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384905-2.00009-1>
- World Cocoa Foundation. (2014). *Cocoa Market Update* (Issue 4).
- World Health Organization. (2020). Preventing disease through healthy environments. Exposure to cadmium: a major public health concern. In *World Health Organization*. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/329480/WHO-CED-PHE-EPE-19.4.3-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Wu, Y., Wang, E., & Miao, C. (2019). Fertilizer use in China: The role of agricultural support policies. *Sustainability (Switzerland)*, 11(16). <https://doi.org/10.3390/su11164391>



# Instituciones participantes

**espol** Escuela Superior  
Politécnica del Litoral



**AGROSAVIA**  
Corporación colombiana de investigación agropecuaria

Secretaría Técnica Administrativa



Con el apoyo de:



[www.fontagro.org](http://www.fontagro.org)

Correo electrónico: [fontagro@fontagro.org](mailto:fontagro@fontagro.org)