



## La omisión de nutrientes para la remediación de suelos contaminados con Cadmio en cultivos de cacao y arroz

Carrillo Zenteno, Manuel Danilo<sup>1,2</sup>; Valarezo, Juan Xavier<sup>1</sup>; Vera-Benites, Luis<sup>1</sup>; Torres, Duilio<sup>3</sup> y García-Orellana, Yelitza<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Suelos y Agua, Estación Experimental Tropical Pichilingue del INIAP. Código Postal 120313, Mocache, Los Ríos, Ecuador.

<sup>2</sup>Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Av. Carlos J. Arosemena 38, Quevedo, Los Ríos, Ecuador.

<sup>3</sup>Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado". Decanato de Agronomía. Programa de Ingeniería Agronómica Barquisimeto, Venezuela.

<https://orcid.org/0000-0001-7062-8248> [manuel.carrillo@iniap.gob.ec](mailto:manuel.carrillo@iniap.gob.ec)

<https://orcid.org/0000-0001-5426-2012> [juan.xavier@ufv.br](mailto:juan.xavier@ufv.br)

<https://orcid.org/0000-0003-4567-1919> [fernando.vera@iniap.gob.ec](mailto:fernando.vera@iniap.gob.ec)

<https://orcid.org/0000-0002-5920-138X> [duiliorres@ucla.edu.ve](mailto:duiliorres@ucla.edu.ve)

<https://orcid.org/0000-0001-9973-9080> [yelitzagarcia@ucla.edu.ve](mailto:yelitzagarcia@ucla.edu.ve)

### ASA/Artículo Revisión

doi: <http://doi.org/10.5281/zenodo.10390226>

Recibido: 27-05-2023

Aceptado: 01-12-2023

### RESUMEN

El cacao y el arroz son de los rubros más importante del sector agrícola ecuatoriano, sin embargo, debido al manejo intensivo de los predios agrícolas, la inocuidad del producto procesado agroindustrialmente no está garantizada, debido a la presencia de metales pesados la mazorca de cacao y en el grano de arroz, que afectan la calidad. La contaminación de suelos agrícolas por Cadmio (Cd), se debe principalmente a la fertilización fosfatadas, las cual mucha veces supera los niveles máximos permitido, para la recuperación de esos suelos y requieren de prácticas como al fitorremediación y biorremediación las cuales pueden resultar muy costas, además que conlleva a la inutilización de las parcelas agrícolas mientras dura el periodo de rehabilitación, sin embargo en los últimos años se han buscado alternativas como al omisión de nutrientes durante la fertilización actual es una estrategia que permite reducir la translocación de Cd en la hojas y frutos de la planta, evitando una acumulación y disminuyendo los riesgos de contaminación de producto procesado, lo que garantiza la inocuidad del producto al final de la cadena agroindustrial, minimiza los riesgos sobre la salud de los consumidores y permite acceder a mercados de exportación como el europeo y estadounidenses, sin embargo se requiere un equilibrio en la técnica de omisión de nutrientes de esta manera aunque se logre reducir la movilidad del Cd, pero sin afectar los rendimientos del rubro de interés, bien sea el arroz o cacao.

**Palabras Clave:** calidad, contaminación, inocuidad, fertilidad, nutrientes.



## Implementation of a food safety management system in a line of instant drinks

### ABSTRACT

Under the guidelines of the ISO 22000:2018 Standard, a food safety management system was implemented in a cereal-based instant beverage production line, under the following stages Phase I: Definition of the strategic concept of the company Cereales venezolanos y its safety policy, Phase II: Diagnosis of the current situation of the company, Phase III: Formulation of strategies to adapt the line of instant drinks to what is established in the ISO 22000:2018 standard, Phase IV: Implementation of the safety management system food safety designed, in a pilot area. The results obtained showed that the strategic concept of the company and its safety policy are aligned on the premise of developing safe foods with high nutritional value, the food safety management system in the diagnosis made regarding compliance with the ISO standard. 22000:2018 for sections 4 clause 4.3, section 7 clause 7.5 and section 8 clause 8.5 presented a compliance percentage of 42.80% after the implementation of the safety management system in a pilot area, it was obtained that the system was effective upon completion of its implementation by 94.32%. The control of process variables, productivity, communication with interested parties, quality and safety of the finished product and the registration and control of documentation increased.

**Keywords:** safety, instant drinks, management system.

## INTRODUCCIÓN

La producción agrícola en Ecuador es una de las actividades económicas de mayor importancia. Destacando la producción de rubros como el café (Yosa y Regalado, 2021), banano (León-Serrano et al. 2020), cacao (Parada Parada-Gutiérrez y Veloz, 2021) y arroz (Pérez, 2019), no obstante, a pesar de que la mismas han tenido un aporte significativo a la economía nacional, el manejo agronómico, basado en el uso de agroquímicos y la mecanización, particularmente la fertilización con productos inorgánicos ha llevado a graves problemas de contaminación.

Uno de los contaminantes que mayormente se ha encontrados en suelos y aguas destinados la producción agrícola es el Cadmio (Liu et al. 2022), el cual es un elemento residual de los fertilizantes fosfatados (Niño-Savala et al. 2019), el cual es uno de los macronutrientes esenciales para la producción agrícola, por lo tanto, se aplica de manera continua, pero con el agravante de que aumenta los niveles de Cd en suelos y agua.

La presencia de Cd no solamente tiene el riesgo de acumularse en el suelo y el agua, afectado la microbiota y la ictiofauna (Niu et al. 2021; Ortega et al. 2020) sino que se ha detectado que el mismo se puede trasladar a partes comestibles de las plantas como es el caso de la mazorca de cacao y los granos de arroz (Furcal-Beriguete y Torres-Morales, 2020; Bayona-Penagos, 2020), que son de los dos rubros más importante en la económica agrícola ecuatoriano y cuyo niveles de contaminación son analizados en esta investigación, dado que su consumo por parte de la probación, lleva consigo riesgo de salud, como enfermedades oncológicas y neurologías (Genchi et al. 2020), que a la largo plazo comprometen la vida de las personas.

El primer rubro que se aborda en la revisión es el cacao (García-Briones et al. 2021), debido a que en el Ecuador constituye el tercer rubro de importancia económica, después del banano y las flores, generando empleo a más de 100.000 familias de pequeños productores ecuatorianos y otras 20.000 familias en el resto de la cadena de valor, equivalente a una influencia directa

sobre 600.000 personas, por lo tanto los productores han realizado esfuerzo en realizar planes de fertilización que aumenten los rendimientos del cultivos, sin embargo el uso excesivo de la ampliación de fertilizantes fosfatados ha llevado a la contaminación con Cadmio (Barrezueta-Unda et al. 2021), lo que constituye un riesgo ambiental y de salud, lo que disminuye la calidad de los productos finales que se obtienen en la cadena agroindustrial (Abt y Robin, 2020).

En la segunda cadena agro productiva que se aborda en esta investigación es la del cultivo del arroz, el cual es uno de los principales rubros que se produce en el país, especialmente en las provincias de Manabí, El Oro y Guayas (Bermúdez-Espinoza et al., 2020; Cobos et al., 2020; Ibarra et al., 2023), pero donde de al igual que el cacao se han reportado altos niveles de Cd en este caso en el grano de arroz (Gu et al., 2020), el cual afecta la calidad del producto terminado, ya que no garantiza la inocuidad del producto y por lo tanto, su comercialización se ve afectada debido a las restricciones sanitarias por la presencia de contaminantes.

Una vez conocido el problema de contaminación se discuten diversas estrategias las cuales pueden ser usadas para minimizar la contaminación con Cd, entre las cuales se destacan el cambio de modelos de producción hacia sistemas orgánicos (Torres et al. 2019; Meza et al. 2021), donde se disminuya la aplicación de productos químicos, esta práctica tiene la desventaja de que no aporta a totalidad de los requerimientos nutricionales y no está exenta de la presencia de contaminantes.

Otras alternativas es las prácticas de biorremediación y fitorremediación (Lata et al., 2019; Raza et al., 2020) para la eliminación de contaminantes, bien sea del agua o el suelo, la cuales se hacen a base de plantas hiperacumuladora y del uso de bacterias, aunque se ha destacado que las mismas han sido exitosas, puede resultar costosas, teniendo la desventaja adicional que mientras se descontamina el suelo, se restringen las áreas para la producción agrícola.

En vista de las desventajas plasmadas en las prácticas de descontaminación citadas anteriormente surge una tercera alternativa denominada oclusión de nutrientes (Valarezo et al., 2022), la

cuales se basa en la restricción de algún elemento nutricional clave para el desarrollo de las plantas, que, si bien puede impactar en la producción de la biomasa aérea o radicular, impide la traslocación del Cd, evitando un aumento de su biodisponibilidad y a su vez que llegue a la mazorca de cacao o en el grano de arroz.

La técnica de exclusión de nutrientes para lograr la reducción de Cd en plantas de arroz, ha sido exitosas siempre y cuando las condiciones de pH a nivel del suelo y rizosfera sean alcalinas, lo que se puede alcanzar gracias a las condiciones edáficas de la zona o a través un manejo agronómico que conduzca al aumento del pH y con ello, a la reducción de la absorción de Cd (Huang et al. 2020). Así mismo este tipo de práctica también ha sido evaluado de manera positiva en el cultivo del cacao (Pincay 2022), donde la contaminación de la mazorca es grave debido a la masificación de productos derivados del chocolate, por ser un producto de exportación y porque los principales consumidores son la población infantil (Vanderschueren et al., 2021).

La descontaminación de suelos contaminados con Cd es vital para evitar que existan anomalías al final de la cadena agroindustrial se mantenga la calidad de los productos en términos de rendimiento como de inocuidad, en este sentido se presentan en esta revisión además de destacar la relevancia que tiene el Cd en la cadena agroindustrial del cacao y el arroz, dado su impacto negativo, se analiza la técnica de omisión de nutrientes para mitigar este problema, presentando experiencias exitosas de este grupo de investigación en arrozales ubicados en las regiones del Ecuador, así como experiencias positivas de la aplicación de nutrientes para evitar la acumulación de Cd de en la mazorca de cacao, mediante la descripción de experiencias reportadas grupo de investigadores.

### **Contaminación con Cadmio en Cacao**

Dado el detrimento que tiene en la calidad del suelo la contaminación por metales pesados, proceso que es producto del factor antrópico, como es la fertilización sobre todo los que tienen que ver con el cadmio ( $Cd^{+2}$ ), ya que este se constituye en un elemento tóxico para

animales cuya absorción a través de las raíces conlleva a su acumulación en raíces, tallos, hojas, nudos y semillas, afectando no solamente la microbiota, ictiofauna, sino que puede resultar tóxico para la población, especialmente la infantil que es ampliamente consumidora de chocolates (Suhani et al. 2021).

Como se mencionó en el párrafo anterior, la actividad antropogénica puede aumentar la concentración de Cd en los suelos agrícolas mediante la aplicación de fertilizantes fosfatados (Park et al. 2021), derivados de material sedimentario y agua de riego de áreas con altos niveles de Cd, problemas que es grave en el Ecuador, donde se han reportado altos niveles de escurrimiento en el suelo y donde los cultivos demandan una alta cantidad de agua para el riego

Además de las actividades agrícolas, la minería y la fundición de minerales, la quema de combustibles fósiles, y otras actividades industriales también pueden conducir a la contaminación localizada

con Cd (Hayat et al. 2019), lo que ocurre de manera común en muchos los países latinoamericano, si bien Ecuador no es un país de tradición minera, este posee formaciones geológicas que poseen Cd como elemento de la misma, siendo esta una fuente natural del mismo (Xiao et al. 2021), adicional a las fuentes antropogénicas producto de una agricultura intensiva basado en el uso de maquinarias, sin embargo, sistemas de mínima labranza pueden reducir su acumulación (Xiao et al. 2022).

Investigaciones en plantaciones de cacao en América Latina y el Caribe (LAC) sugieren que el agua puede ser una fuente de contaminación de Cd, tal como lo afirma Gramlich et al. (2018) quienes sugieren que la deposición de sedimentos de las inundaciones de los ríos puede ser una fuente importante de Cd en la capa superior del suelo, en un estudio realizado en Honduras. Así mismo se en tres estudios en el Ecuador llegaron a conclusiones similares, cuyos resultados se pueden observar en el Cuadro 1.

**Cuadro 1.** Contaminación de cadmio en mazorca de cacao, como consecuencia de la actividad antrópica.

Estudio	Región	País	Concentración de Cd en la planta de cacao
Gramlich et al. (2018)	LAC	Honduras	hoja > cáscara de la mazorca = grano descascarado
Gramlich et al. (2017)	LAC	Bolivia	hoja > cáscara de la mazorca = grano descascarado
Barraza et al. (2017)	LAC	Ecuador	hoja > cáscara de la mazorca = grano en cascara
Mite et al. (2010)	LAC	Ecuador	cáscara > hoja > cáscara de la mazorca > grano
Chávez et al. (2015)	LAC	Ecuador	grano descascarado > cáscara de grano > hoja
Tantalean & Rojas. (2017)	LAC	Perú	vástago > hoja > raíz > grano en cáscara > cáscara de la mazorca
Llatance et al. (2018)	LAC	Perú	raíz > vástago > hoja > grano en cáscara
Zug et al. (2019)	LAC	Perú	grano descascarado (seco, en polvo) > cáscara
Rodríguez et al. (2019)	LAC	Colombia	Camada de hojas > hoja > grano descascarado
Ramtahal et al. 2014	LAC	Trinidad y Tobago	hoja > cáscara de la mazorca > cáscara del grano > grano descascarado
Ramtahal et al. 2015	LAC	Trinidad y Tobago	cáscara de grano > grano descascarado
Fauziah et al. 2001	Asia	Malasia	hoja > cáscara de la mazorca > grano descascarado

El hecho no está solamente en la acumulación del Cd en la mazorca, sino

que el mismo puede afectar la inocuidad del producto y en el caso de superar los

niveles máximos permisible (Cuadro 2), y afectar la posibilidad de exportación del cacao, ya que es necesario garantizar los niveles permitidos de Cd que oscilan

entre 0,10 y 0,80 mg/kg para el chocolate dependiendo del contenido de materia seca del chocolate (Meter et al. 2019).

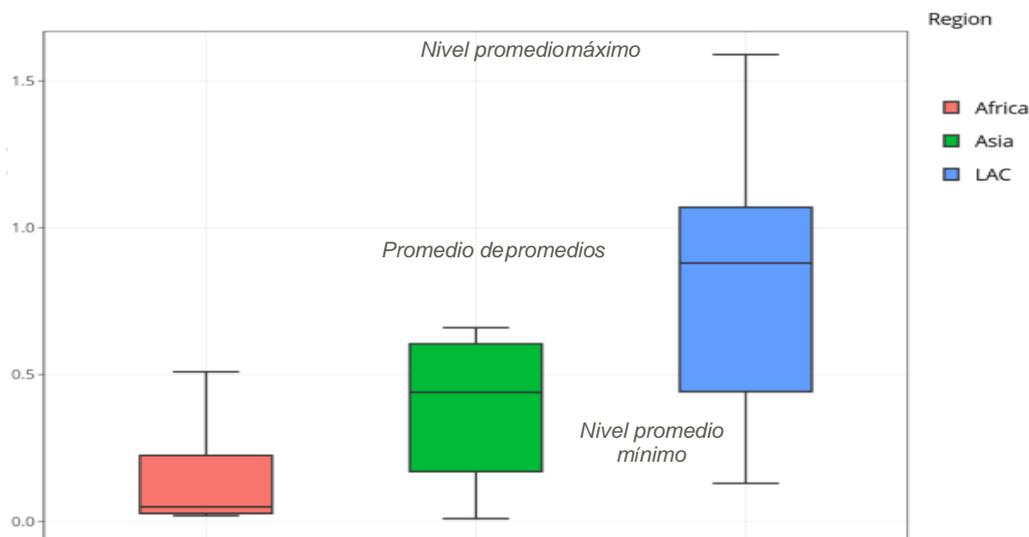
**Cuadro 2.** Niveles máximos permitidos de Cd en chocolate, en función del contenido de materia seca.

Producto	Nivel máximo permisible (mg/kg)
Chocolate con leche con un contenido de materia seca total de cacao <30%	0.10
Chocolate con contenido de materia seca total de cacao < 50%; chocolate con leche con un contenido de materia seca total de cacao ≥30%	0.30
Chocolate con un contenido de materia seca total de cacao ≥ 50%	0.80
Cacao en polvo vendido al consumidor final o como ingrediente en cacao en polvo edulcorado vendido al consumidor final (chocolate para beber)	0.60

Fuente: Meter et al. (2019).

Una de las razones de llevar cabo el estudio en Ecuador y que reafirman los reportes de Mite et al. (2010), Chávez et al. (2015) y Barraza et al. (2017); quienes reportaron la presencia de Cd en hojas y granos de cacao y lo cual concuerda con los señalado en la figura 1, donde en América Latina los niveles de Cd en cacao son superiores a los

reportados en África y Asia (Vitola y Ciprova, 2016; Assa et al. 2018), con niveles que superan en algunos casos los 0.80 ppm los cuales son reportados en el chocolate producto al final de la cadena agroindustrial afectando la calidad del producto.

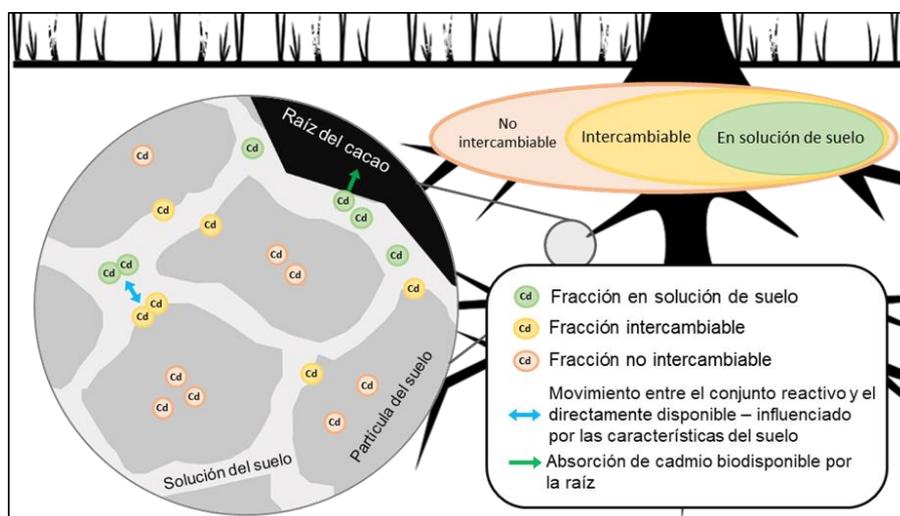


**Figura 1.** Acumulación de Cadmio en cacao en diferentes regiones del mundo

**Fuente:** Mite et al. (2010), Chávez et al. (2015) y Barraza et al. (2017).

Un aspecto importante a considerar es la alta variabilidad del contenido de Cd, lo cual está influenciado por las condiciones de suelo como pH, CIC, MO y textura (Liu et al., 2021) lo que es un factor clave para explicar el aumento de la biodisponibilidad del mismo y evaluar la posibilidad del éxito o no de las

prácticas de eliminación del mismo bien sea biorremediación, fitorremediación u omisión de nutrientes, dado que el objetivo es garantizar la adsorción del Cd en la rizosfera, el paso del mismo a la solución del suelo y su posterior translocación (Figura 2).



**Figura 2.** Factores que afectan la translocación de cadmio.

**Fuente:** Meter et al. (2019).

### Factores que afectan la acumulación de Cd en el suelo

A la hora de elegir un práctica de biorremediación, fitorremediación o manejo agronómico, se deben considerar las prácticas que pueden aumentar la acumulación de Cd en la mazorca, en el Cuadro 3, se señalan algunos de estos factores encontrando que el contenido de Cd, la textura del suelo, el contenido de hierro y fosforo son factores que pueden aumentar el contenido de Cd, mientras que el pH, la MO, el contenido de arcilla y arena, de Mg, K, Mn y P, así como la edad de la plantación pueden ayudar a la disminución de la biodisponibilidad de Cd.

concuenda con los señalado en la Figura 1, donde en América Latina los niveles de Cd en cacao son superiores a los reportados en África y Asia (Vitola y Ciprovica, 2016; Assa et al. 2018), con niveles que superan en algunos casos los 0.80 ppm los cuales son reportados en el chocolate producto al final de la cadena agroindustrial afectando la calidad del producto.

**Cuadro 3.** Factores que condicionan la biodisponibilidad de Cadmio.

Propiedades del suelo		Estudios	
Contenido de Cadmio	Cadmio total del suelo	↑	Chen et al. (2020); Scaccabarozzi et al. (2021)
	Cadmio biodisponible	↑	Ai et al. (2022); Oliva et al. (2020)
pH	pH del suelo	↓	Hou et al. (2021)
MO	Materia orgánica	↓	Yuan et al. (2021); Correa et al. (2021)
Materialmadre	Substrato geológico	S i	Jiale et al. (2021); Guarin et al. (2023)
Textura del Suelo	Contenido de arcilla	↑ / ↓	Rassaei (2023); Correa et al. (2021)
	Contenido de arena	↓	Ai et al. (2022); Oliva et al. (2020)
Retención de nutrientes	CIC	x	Li et al. (2020); López et al. (2022)
Salinidad	CE	x	Yang et al. (2023); Arguello et al. (2019)
Micro-macro-nutrientes u otros metales traza	Zn	x	Tan et al. (2020); Barraza et al. (2021)
	Fe	↑	Hussain et al. (2020); Vanderschueren (2021)
	P	↑ / ↓	Shao; et al. (2021); Meter et al. (2019)
	Pb	x	Xiao et al. (2021); Barraza et al. (2021)
	Ca 2+	x	Zhang et al. (2020); Arguello et al. (2021)
	Mg2+	↓	Cai et al. (2021); López et al. (2022)
	K	↓	Wang et al. (2019); Correa et al. (2021)
	Mn	↓	Deng et al. (2020); Barraza et al. (2021)
Actividad	Colonización de micorriza	x	Liu et al. (2023)

microbiana del suelo			
Factores agronómicos	Aplicación de fertilizante	x	Nie et al. (2019); Barraza et al. (2021)
	Monocultivo vs agroforestería	Sí	Trujillo et al. (2020); Galvis et al. (2023)
Factores agronómicos	Orgánico vs convencional	Sí	Saengwilai et al. (2020); Ramtahal (2019)
	Edad de la plantación	↓	Rosales et al. 2020 (); Luis-Alaya et al. (2023)

### Alternativas de manejo de plantaciones de cacao contaminados con Cd

Aunque producto del análisis de los factores que afectan la biodisponibilidad de Cd, se han llevado a cabo experiencias positivas como las que se ve en el Cuadro 3, por ejemplo, incrementar los niveles de Zn (Tan et al. 2020; Barraza et al. 2021) y Mn (Deng et al. 2020; Barraza et al., 2021) en el suelo, se ha demostrado que cuando hay deficiencia de estos micronutrientes el Cd tiene más probabilidades de ingresar a la planta y a la mazorca del cacao.

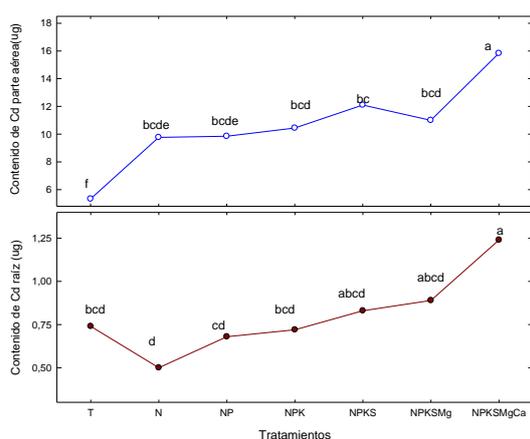
Por otro lado aplicar niveles de encalado en bajas dosis (2 a 3 t/ha de dolomita –  $\text{CaCO}_3\text{MgCO}_3$ ) para incrementar gradualmente el pH e incorporar calcio y magnesio que son esenciales para el crecimiento del cacao y pueden

precipitar al Cd (Argüello et al. 2021; López et al. 2022), la cual sería un practica viable en suelos ácidos del Ecuador, como los de la Amazonia, donde las altas precipitaciones y condiciones naturales hacen que los suelos sean acido, pero cuya alternativa no es válida para zonas de pH alcalino, donde se cultiva Cacao, también se ha demostrado que la incorporación de Ca y Mg ha sido efectiva para reducir la absorción de Cd en el arroz (Zhang et al. 2020; Cai et al. 2021).

Dentro de esas prácticas la omisión de nutrientes es una práctica factible si se observa el efecto simple de la fertilización con macronutrientes en la concentración de Cd en las diferentes estructuras morfológicas de las plantas. Se muestra una tendencia linealmente

proporcional donde a medida que se incrementa un elemento nutricional en la fertilización se eleva la concentración de Cd en el sistema aéreo y radicular (Pincay, 2022), por lo tanto, si se reduce algunos de estos nutrientes, se puede reducir la traslocación del Cd.

En ese sentido en este orden de ideas, encontró que cuando excluyeron la mayoría de los nutrientes, como se observa en la Figura 3, disminuye la acumulación de Cd en la parte aérea y radical, dado que disminuye su traslocación y con ellos procesos de acumulación, sin embargo, debe lograrse un equilibrio, dado que no pueden afectar los rendimientos del cultivo.

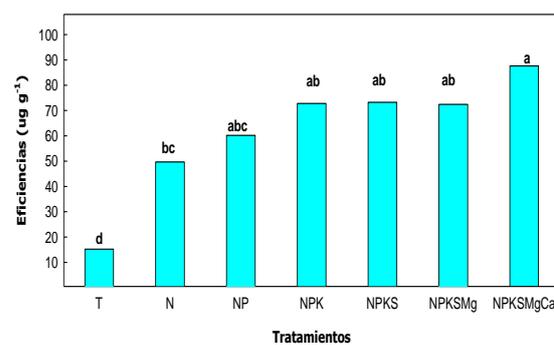


**Figura 3.** Efecto de la fertilización con macronutrientes sobre cacao CCN 51 en la concentración de Cd en la parte aérea

y raíz. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $P > 0,05$ ).

**Fuente:** Pincay (2022).

Este mismo autor señalan que la acumulación del Cd tanto en alza raíces como en las hojas está asociado a la eficiencia de absorción, la cual disminuye cuando algún nutriente es excluido, en la Figura 4 se observa que la mayor absorción se obtiene, cuando todos los macronutrientes primarios y secundarios son aportados al suelo y disminuye a medida que algún nutriente es excluido, sea al potasio, fosforo o el nitrógeno.



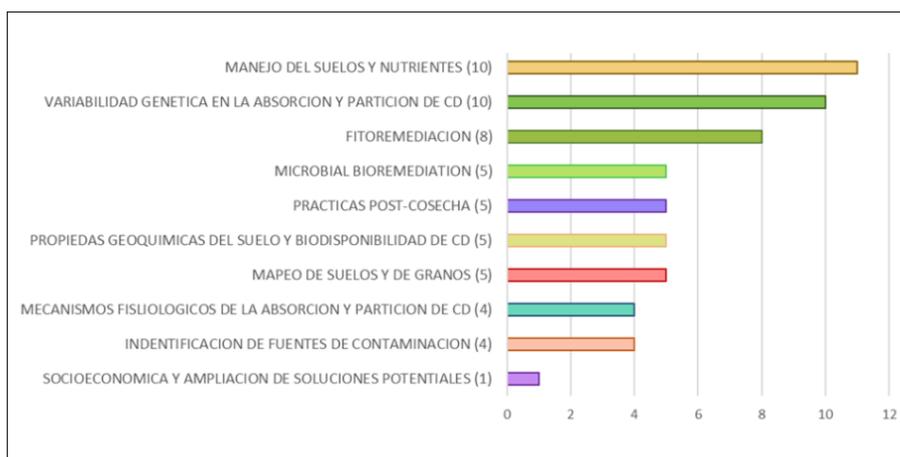
**Figura 4.** Efecto de la fertilización con macronutrientes sobre la eficiencia de absorción de Cd en cacao CCN 51.

**Fuente:** Pincay (2022).

### Efecto de la fertilización con macronutrientes para la disminución de la contaminación con Cd

Dado el éxito de la práctica de omisión de nutriente es que en la Figura 5 se destaca como la práctica más importante para disminución de contaminación con Cd es el manejo de suelos y nutrientes, seguido de la genética de las variedades

usadas, dadas que las mismas están asociada a la capacidad de absorción y traslocación de este metal pesado, quedando relegada, pero no por ser menos efectiva prácticas como la fitorremediación y biorremediación, debido al alto costos de las mismas (Meter et al. 2019).



**Figura 5.** Factores que afectan la translocación de cadmio  
Fuente: Meter et al. (2019).

### Cadmio en arroz

Uno de los cultivos, donde se observa con mayor preocupación la acumulación de Cd es el arroz, un ejemplo de ellos es lo señalado por Ramírez et al. (2015), en el sistema de riego de Rio Guárico (Venezuela), después de 5 años de aplicación de fertilizantes fosforados los

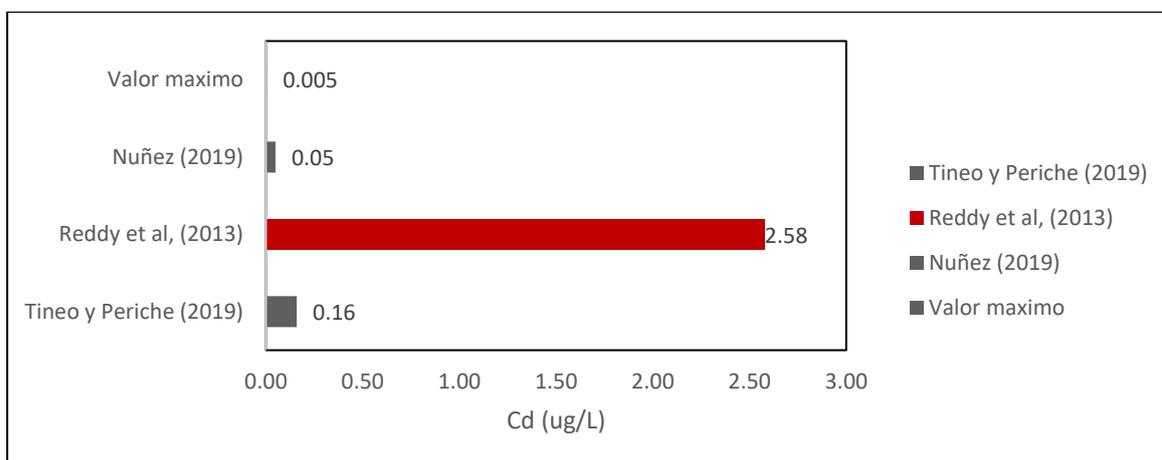
niveles de Cd aumentaron peligrosamente superando los 100 mg/kg.

A juicio de estos autores la peligrosidad, no está dada solo por la acumulación del Cd en el suelo, sino por la capacidad que tiene el mismo de translocarse al grano de arroz, afectando su calidad, ya que se ha demostrado una correlación lineal

entre el contenido de Cd en el suelo con el contenido de Cd en el grano de arroz, lo cual constituye un grave riesgo para la salud, como se mencionado previamente.

Las fuentes de contaminación del Cd provienen muchas veces del agua de riego, la cual ha sufrido procesos de contaminación por escurrimiento o lixiviación, factores asociados a la

textura del suelo, contenido de materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico, los cuales pueden superar en todo caso los niveles permitidos por las normas internacionales, que es de 0005 mg/l, encontrando que los reportes presentados por Tineo y Periche (2019), Reddy et al. (2013) y Núñez (2019) los valores obtenidos superan estos valores (Figura 6).



**Figura 6.** Cadmio en arroz proveniente de agua de riego

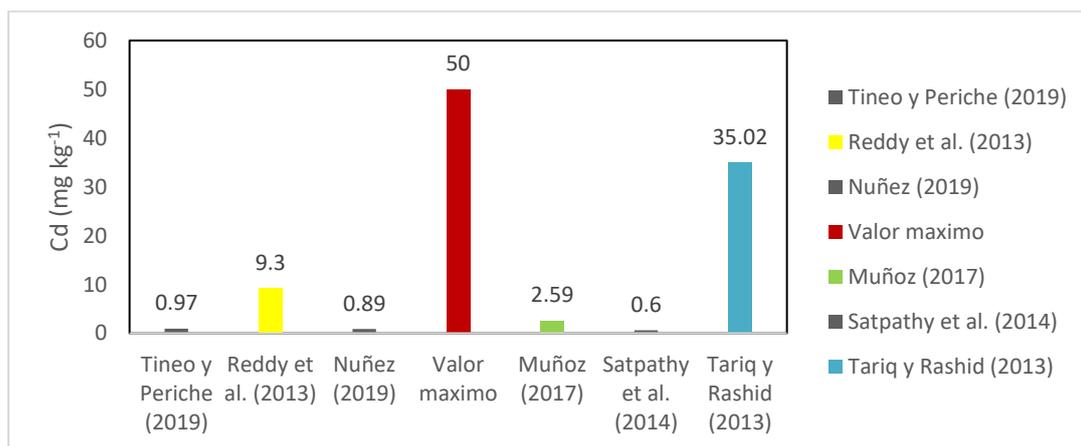
**Fuente:** Tineo y Periche (2019), Reddy et al. (2013) y Núñez (2019).

Otra fuente de contaminación del Cd provienen muchos suelos, los cuales han sufrido procesos de contaminación por la aplicación excesiva de fertilizantes fosfatados, factores que está asociado a la textura del suelo, contenido de materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico, así como la relación entre los diferentes cationes que se encuentran en

la rizosfera, en todos casos en los suelos bajo fertilización química, los valores pueden superar en todo caso los niveles permitidos por las normas internacionales, que es de 50 mg/kg, como reporto Ramírez et al. (2015) en el sistema de Rio Guárico, Venezuela después de 50 años de fertilización fosfatada, no obstante en los reportes

presentados por Tineo y Periche (2019), Reddy et al. (2013); Tariq y Rashid (2013); Satpathy et al. (2014); Muñoz,

2017 y Núñez (2019) los valores obtenidos están por debajo de estos valores (Figura 7).

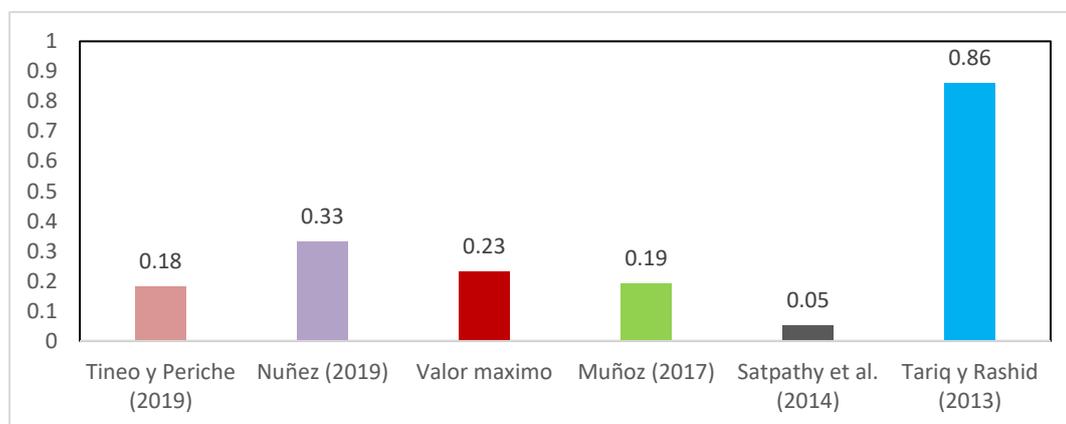


**Figura 7.** Cadmio acumulado en suelos sembrado con arroz.

**Fuente:** Tineo y Periche (2019), Reddy et al. (2013); Tariq y Rashid (2013); Satpathy et al. (2014); Muñoz (2017) y Núñez (2019).

Dado la acumulación de Cd en suelos y agua asociada al cultivo de arroz, el mayor riesgo es su acumulación a nivel de grano, lo cual afecta la calidad del producto al final de la cadena agroindustrial, afectando su comercialización por los riesgos

sanitario que representa, en este sentido Tineo y Periche (2019), Tariq y Rashid (2013); Satpathy et al. (2014); Muñoz, (2017) y Núñez (2019), presenta los valores de Cd en granos de arroz, que en muchos casos supera el valor máximo permitido de 0,23 mg/kg (Figura 8).

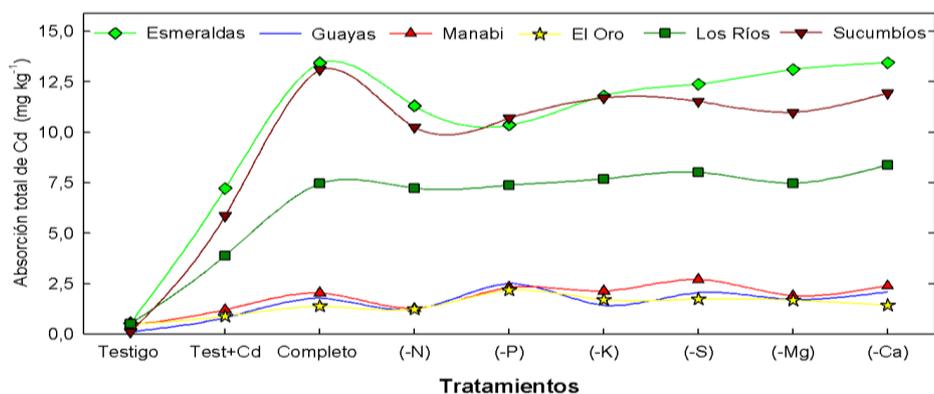


**Figura 8.** Cadmio acumulado en granos de arroz.

**Fuente:** Tineo y Periche (2019), Tariq y Rashid (2013), Satpathy et al. (2014), Muñoz, (2017) y Núñez (2019).

Dado que la aplicación completa de fertilizante, así como el riego con agua contaminada aumenta la absorción y acumulación de Cd en el grano de arroz, autores como Valarezo et al. (2022) propusieron la técnica de omisión de nutrientes, la cual disminuyó la absorción de cadmio por las plantas para diferentes suelos estudiados de Ecuador y resulta factible en termino de costo y de mantenimiento de la productividad. A continuación, se observan algunos de los hallazgos que demuestran la eficiencia de la misma.

El primer resultado que se presenta es el efecto, de la omisión de nutrientes (Figura 9), donde se evidencia que la absorción de Cd fue menor en los suelos de las Provincias El Oro, Guayas y Manabí, en comparación con resto de los suelos evaluados, siendo eficiente esta técnica para estas condiciones, la cual es producto de la disminución o exclusión de nitrógeno o fosforo durante la fertilización.

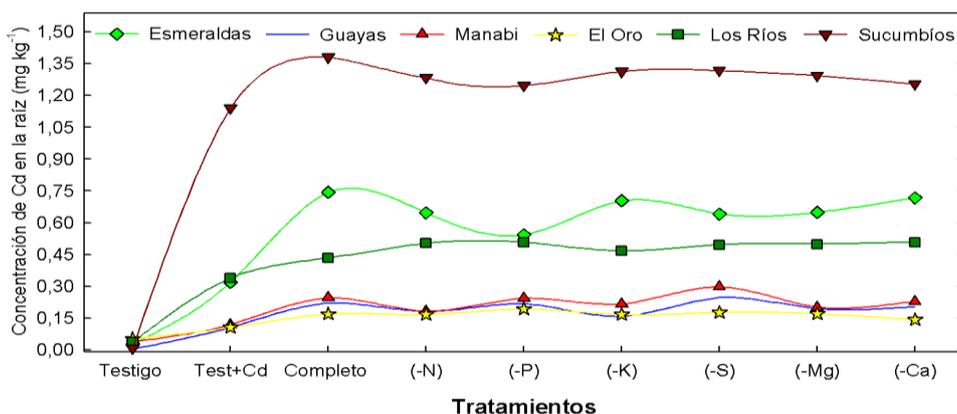


**Figura 9.** Efecto de la técnica omisión de nutrientes sobre absorción de Cd en plántulas de arroz sembradas en suelos de diferentes provincias del Ecuador.

**Fuente:** Valarezo et al. (2022).

La eficiencia de la técnica para evitar la acumulación de Cd en granos de arroz, se basa en evitar la traslocación del mismo y lograr su absorción en la rizosfera, lo cual se logró en los suelos de Sucumbíos y Esmeraldas, quienes

fueron los suelos donde hubo mayor absorción de Cd (Figura 10), demostrando la eficiencia del método para la remoción del Cd del suelo, pero no para evitar su traslocación dentro de la planta de arroz.

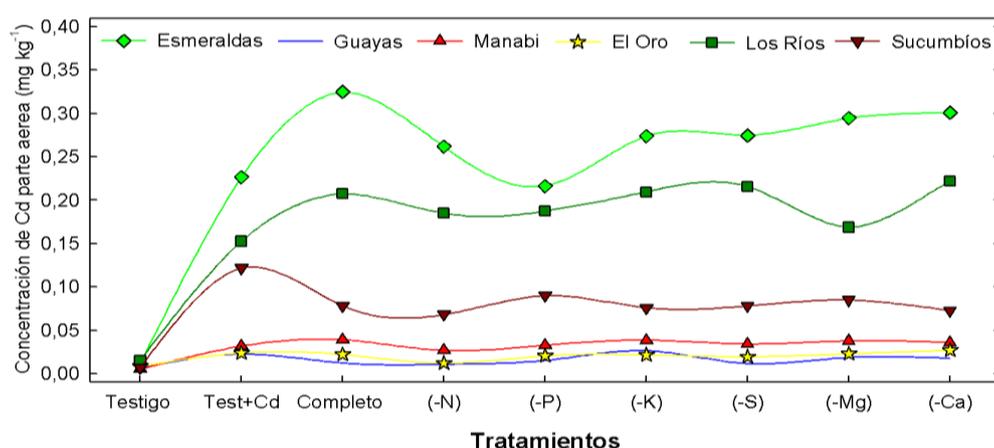


**Figura 10.** Efecto de la técnica omisión de nutrientes sobre concentración de Cd en la raíz de plántulas de arroz sembradas en suelos de diferentes provincias del Ecuador.

**Fuente:** Valarezo et al. (2022).

Finalmente, en la Figura 11, se observa que con la exclusión de nutrientes se logra reducir la translocación de Cd y con ellos reducir los riegos de contaminación del grano en la mayoría

de los suelos a excepción de Esmeralda y los Ríos, donde la técnica podría ser eficiente como estrategia de fitorremediación, pero no para garantizar la inocuidad de los granos de arroz.



**Figura 11.** Efecto de la técnica omisión de nutrientes en la sobre concentración de Cd en la parte aérea de plántulas de arroz sembradas en suelos de diferentes provincias del Ecuador.

**Fuente:** Valarezo et al. (2022).

Los resultados encontrados demuestra que la agricultura convencional ha generado aumento en los rendimientos, pero también problemas de contaminación con Cd que afectan la calidad del producto al final de la cadena agroindustrial siendo el chocolate y el arroz de mesa, dos de los productos más afectados, dado que esto afecta la comercialización de los mismos se deben buscar alternativas para mitigar la acumulación de Cd, siendo la

omisión de nutrientes una alternativa viable ,dado que reduce la absorción del contaminante sin afectar la producción a diferencia de la fitorremediación y biorremediación que además resultan más costosas, las investigaciones de la eficacia de esta técnica debe evaluarse en otras condiciones edafoclimáticas y en otras cadenas agroproductivas, dado el éxito que se observó en los resultados presentados en la revisión,

particularmente en suelos contaminados con Cd sembrados con arroz.

## CONCLUSIONES

La técnica de omisión de nutrientes ha sido probada de manera exitosa en cultivos como el arroz y cacao, por lo que su uso garantiza la reducción de la acumulación de Cd en los granos de arroz y la mazorca de Cacao, garantizado la inocuidad del producto procesado al final de la cadena agroindustrial en aras de satisfacer los estándares sanitarios y ambientales exigidos por el mercado exportador de Europa, Asia y Norteamérica.

La traslocación de Cd depende de las condiciones del suelo donde se producen este rubro, por lo cual las experiencias exitosas deben ser replicadas en otras condiciones edafoclimática, de manera de garantizar la viabilidad de la misma, para reducir la movilidad del Cd y de ahí su adsorción a nivel de la rizosfera.

Aunque la contaminación con Cd se produce a nivel de las prácticas agronómicas de estas cadenas productivas, las consecuencias que se generan repercuten en todas etapas de la cadena productiva, incluso a nivel agroindustrial, dado que, si detecta estos metales pesados en la materia prima, los mismos serán encontrados posteriormente en el producto final, lo que

afecta por lo tanto la calidad del mismo y por ende su comercialización y exportación.

## REFERENCIAS

- Abt, E., & Robin, L. P. (2020). Perspective on cadmium and lead in cocoa and chocolate. *Journal of agricultural and food chemistry*, 68(46), 13008-13015. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b08295>
- Ai, H., Wu, D., Li, C., & Hou, M. (2022). Advances in molecular mechanisms underlying cadmium uptake and translocation in rice. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1003953. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1003953>
- 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>
- Assa, A., Noor, A., R Yunus, M., Misnawi, & N Djide, M. (2018). Heavy metal concentrations in cocoa beans (*Theobroma cacao* L.) originating from East Luwu, South Sulawesi, Indonesia. *Journal of Physics: Conference Series*, 979, 12011. doi:10.1088/1742-6596/979/1/012011
- Barraza, F., Schreck, E., Lévêque, T., Uzu, G., López, F., Ruales, J., Maurice, L. (2017). Cadmium bioaccumulation and gastric bioaccessibility in cacao: A field study in areas impacted by oil activities in

- Ecuador. *Environmental Pollution*, 229, 950–963.  
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.07.080>
- Barraza, F., Schreck, E., Uzu, G., Lévêque, T., Zouiten, C., Boidot, M., & Maurice, L. (2021). Beyond cadmium accumulation: Distribution of other trace elements in soils and cacao beans in Ecuador. *Environmental Research*, 192, 110241.  
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.11.0241>
- Barrezueta-Unda, S., Armijos, I. A., & Vega, E. A. (2021). Comparación de niveles de cadmio en hojas, testa y almendra en cultivares de Theobroma cacao. *Revista Ciencia UNEMI*, 14(37), 73-80.  
<https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol14iss37.2021pp73-80p>
- Bayona-Penagos, L. V. (2020). Efecto y mitigación de la toxicidad por arsénico y cadmio en cultivo de arroz. *Revista Ciencias Agropecuarias (RCA)*, 6(2), 49-70.  
<https://doi.org/10.36436/24223484.327>
- Bermúdez-Espinoza, L. E., Murillo-Mora, M. K., & del Monserrate Ruiz-Cedeño, S. (2020). Actores de la cadena de valor del arroz en Manabí. Un estudio documental. *Polo del Conocimiento*, 5(8), 743-763.  
<https://www.polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/1621>
- Cai, Y., Wang, X., Beesley, L., Zhang, Z., Zhi, S., & Ding, Y. (2021). Cadmium uptake reduction in paddy rice with a combination of water management, soil application of calcium magnesium phosphate and foliar spraying of Si/Se. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(36), 50378-50387.  
<https://doi.org/10.1007/s11356-021-13512-6>
- 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>
- Chen, D., Wang, X., Wang, X., Feng, K., Su, J., & Dong, J. (2020). The mechanism of cadmium sorption by sulphur-modified wheat straw biochar and its application cadmium-contaminated soil. *Science of the Total Environment*, 714, 136550.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136550>
- Cobos Morán, E. S. H., Gómez, J., Hasang, F., & Medina, R. (2020). Sostenibilidad del cultivo del arroz (*Oryza sativa* L.) en la zona de daule, provincia del Guayas, Ecuador. *Journal of Science and Research*, 5(4), 1-16.  
<https://doi.org/10.5281/zenodo.4116460>
- Correa, J. E., Ramírez, R., Ruíz, O., & Leiva, E. I. (2021). Effect of soil characteristics on cadmium absorption and plant growth of Theobroma cacao L. seedlings. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(13), 5437-5445.  
<https://doi.org/10.1002/jsfa.11192>
- Deng, X., Chen, Y., Yang, Y., Lu, L., Yuan, X., Zeng, H., & Zeng, Q. (2020). Cadmium accumulation in rice (*Oryza sativa* L.) alleviated by basal alkaline fertilizers followed by topdressing of manganese fertilizer. *Environmental*

- Pollution*, 262, 114289.  
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114289>
- Fauziah, C. I., Rozita, O., Zauyah, S., Anuar, A. R., & Shamshuddin, J. (2001). Heavy metal content in soils of Peninsular Malaysia grown with cocoa and in cocoa tissues. *Malaysian Journal of Soil Science*, 5, 47–58.
- Furcal-Beriguete, P., & Torres-Morales, J. L. (2020). Determinación de concentraciones de cadmio en plantaciones de *Theobroma cacao* L. en Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 33(1), 122-137.  
<http://dx.doi.org/10.18845/tm.v33i1.5027>
- Galvis, D. A., Jaimes-Suárez, Y. Y., Rojas Molina, J., Ruiz, R., & Carvalho, F. E. L. (2023). Cadmium up Taking and Allocation in Wood Species Associated to Cacao Agroforestry Systems and Its Potential Role for Phytoextraction. *Plants*, 12(16), 2930.  
<https://doi.org/10.3390/plants12162930>
- García-Briones, A. R., Pico-Pico, B. F., & Jaimez, R. (2021). La cadena de producción del Cacao en Ecuador: Resiliencia en los diferentes actores de la producción. *Revista Digital Novasinergia*, 4(2), 152-172.  
<https://doi.org/10.37135/ns.01.08.10>
- Genchi, G., Sinicropi, M. S., Lauria, G., Carocci, A., & Catalano, A. (2020). The effects of cadmium toxicity. *International journal of environmental research and public health*, 17(11), 3782.  
<http://dx.doi.org/10.3390/ijerph17113782>
- Gramlich, A., Tandy, S., Andres, C., Paniagua, J. C., Armengot, L., Schneider, M., & Schulin, R. (2017). Cadmium uptake by cocoa trees in agroforestry and monoculture systems under conventional and organic management. *Science of The Total Environment*, 580, 677–686.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.12.014>
- Gramlich, A., Tandy, S., Gauggel, C., López, M., Perla, D., González, 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>
- Gu, Y., Wang, P., Zhang, S., Dai, J., Chen, H. P., Lombi, E., ... & Kopittke, P. M. (2020). Chemical speciation and distribution of cadmium in rice grain and implications for bioavailability to humans. *Environmental Science & Technology*, 54(19), 12072-12080.  
<https://doi.org/10.1021/acs.est.0c03001>
- Guarin, D., Hamamura, N. R., Cortez, J. B., Benavides, J., Spargo, J., Gultinan, M., ... & Drohan, P. J. (2023). Cadmium contamination in cacao farms of Piura, North Peru: A comprehensive assessment of geogenic and anthropogenic sources and implications for future production. *Environmental Challenges*, 100765.  
<https://doi.org/10.1016/j.envc.2023.100765>
- Hayat, M. T., Nauman, M., Nazir, N., Ali, S., & Bangash, N. (2019). Environmental hazards of cadmium: past, present, and future. In *Cadmium toxicity and*

- tolerance in plants* (pp. 163-183). Academic Press.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814864-8.00007->
- Hou, Q., Yang, Z., Ji, J., Yu, T., & Yuan, J. (2021). Effects of soil pH and mineral nutrients on cadmium uptake by rice grain in the Pearl River Delta, China. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 106, 99-108. <https://doi.org/10.1007/s00128-020-03057-8>
- Huang, L., Wang, Q., Zhou, Q., Ma, L., Wu, Y., Liu, Q., ... & Feng, Y. (2020). Cadmium uptake from soil and transport by leafy vegetables: a meta-analysis. *Environmental Pollution*, 264, 114677. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114677>
- Huang, Y., Sheng, H., Zhou, P., & Zhang, Y. (2020). Remediation of Cd-contaminated acidic paddy fields with four-year consecutive liming. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 188, 109903. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109903>
- Hussain, B., Li, J., Ma, Y., Tahir, N., & Ullah, A. (2020). Effects of Fe and Mn cations on Cd uptake by rice plant in hydroponic culture experiment. *PLoS One*, 15(12), e0243174. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0243174>
- Ibarra, A., Molina, J., Crespo, B., Pozo, M., & Ramírez, L. R. (2023). Análisis de la cadena agroalimentaria de arroz en Ecuador. *Polo del Conocimiento*, 8(5), 3-21. <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/5540>
- Jiale, C., Chao, Z., Jinzhao, R., Chunhua, Z., & Ying, G. (2021). Cadmium bioavailability and accumulation in rice grain are controlled by pH and Ca in paddy soils with high geological background of transportation and deposition. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 106, 92-98. <https://doi.org/10.1007/s00128-020-03067-6>
- Lata, S., Kaur, H. P., & Mishra, T. (2019). Cadmium bioremediation: a review. *Int. J. Pharm. Sci. Res*, 10, 4120-4128. [http://dx.doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.10\(9\).4120-28](http://dx.doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.10(9).4120-28)
- León-Serrano, L. A., Matailo-Pinta, A. M., Romero-Ramón, A. A., & Portalanza-Chavarría, C. A. (2020). Ecuador: producción de banano, café y cacao por zonas y su impacto económico 2013-2016. *Revista Científica UISRAEL*, 7(3), 103-121. <https://doi.org/10.35290/rcui.v7n3.2020.324>
- Li, H., Zhang, H., Yang, Y., Fu, G., Tao, L., & Xiong, J. (2022). Effects and oxygen-regulated mechanisms of water management on cadmium (Cd) accumulation in rice (*Oryza sativa*). *Science of the Total Environment*, 846, 157484. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157484>
- Li, Y., Liu, C., Weng, L., Ye, X., Sun, B., Zhou, D., & Wang, Y. (2020). Prediction of the uptake of Cd by rice (*Oryza sativa*) in paddy soils by a multi-surface model. *Science of the Total Environment*, 724,

138289. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138289>
- Liu, K., Liu, H., Zhou, X., Chen, Z., & Wang, X. (2021). Cadmium Uptake and Translocation By Potato in Acid and Calcareous Soils. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 107, 1149-1154. <https://doi.org/10.1007/s00128-021-03377-3>
- Liu, Y., Chen, Z., Xiao, T., Zhu, Z., Jia, S., Sun, J., ... & Liu, C. (2022). Enrichment and environmental availability of cadmium in agricultural soils developed on Cd-rich black shale in southwestern China. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(24), 36243-36254. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-18008-x>
- Liu, Y., Cui, W., Li, W., Xu, S., Sun, Y., Xu, G., & Wang, F. (2023). Effects of microplastics on cadmium accumulation by rice and arbuscular mycorrhizal fungal communities in cadmium-contaminated soil. *Journal of Hazardous Materials*, 442, 130102. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.130102>
- Llatance, W. O. (2018). Bioacumulación de cadmio en el cacao (*Theobroma cacao*) en la Comunidad Nativa de Pakun, Perú. *Revista Forestal Del Perú*, 33(1), 63-75. <http://dx.doi.org/10.21704/rfp.v33i1.1156>
- López, J. E., Arroyave, C., Aristizábal, A., Almeida, B., Builes, S., & Chavez, E. (2022). Reducing cadmium bioaccumulation in *Theobroma cacao* using biochar: basis for scaling-up to field. *Heliyon*, 8(6). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09790>
- Luis-Alaya, B., Toro, M., Calsina, R., Ogata-Gutiérrez, K., Gil-Polo, A., Ormeño-Orrillo, E., & Zúñiga-Dávila, D. (2023). Evaluation of the Presence of Arbuscular Mycorrhizae and Cadmium Content in the Plants and Soils of Cocoa Plantations in San Martin, Peru. *Diversity*, 15(2), 246. <https://doi.org/10.3390/d15020246>
- 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. Roma (Italia): Bioversity International 77 p. <https://hdl.handle.net/10568/>.
- Meza Cabrera, W. G., Chacha Bueno, L. F., Quiñonez Bustos, J. P., & Loqui Sánchez, A. J. (2021). Diseño y construcción de piscinas con fines de investigación para arroz orgánico. *RECIMUNDO*, 5(3), 37-44. [https://doi.org/10.26820/recimundo/5.\(2\).julio.2021.37-44](https://doi.org/10.26820/recimundo/5.(2).julio.2021.37-44).
- Mite, F., Carrillo, M., & Durango, W. (2010, November). Avances del monitoreo de presencia de cadmio en almendras de cacao, suelos y aguas en Ecuador. In XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del suelo (Vol. 1, pp. 1-21). <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5872/4/iniapbeetpart1dnmsa.pdf>
- Muñoz Bautista, J. D. (2017). Determinación de Cadmio en fertilizantes, plantas de *Oryza sativa* L. y suelos de la provincia del Guayas: Propuesta de saneamiento Tesis de Licenciatura. Facultad de

- Ciencias Naturales. Universidad de Guayaquil, Ecuador.  
<http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/re dug/17569/1/TESIS%20JORGE%20MU%C3%91OZ%202017.pdf>
- Nie, X., Duan, X., Zhang, M., Zhang, Z., Liu, D., Zhang, F., ... & Xia, X. (2019). Cadmium accumulation, availability, and rice uptake in soils receiving long-term applications of chemical fertilizers and crop straw return. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 31243-31253.  
<https://doi.org/10.1007/s11356-019-05998-y>
- Niño-Savala, A. G., Zhuang, Z., Ma, X., Fangmeier, A., Li, H., Tang, A., & Liu, X. (2019). Cadmium pollution from phosphate fertilizers in arable soils and crops. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*, 6(4), 419-430.  
<https://doi.org/10.15302/J-FASE-2019273>
- Niu, H., Leng, Y., Li, X., Yu, Q., Wu, H., Gong, J., ... & Chen, K. (2021). Behaviors of cadmium in rhizosphere soils and its interaction with microbiome communities in phytoremediation. *Chemosphere*, 269, 128765.  
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128765>
- Núñez, G. A. L. (2015). Caracterización de la problemática de las aguas residuales en Ixmiquilpan Hidalgo. Tesis de Licenciatura en Geografía Humana. México: Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Iztapalapa. Recuperado de: [http://dcsh.izt.uam.mx/licenciaturas/geografia\\_humana/wp-](http://dcsh.izt.uam.mx/licenciaturas/geografia_humana/wp-content/uploads/2015/09/Tesina-Ana-Laura-Nu%C3%B1ez-2015.pdf)  
[content/uploads/2015/09/Tesina-Ana-Laura-Nu%C3%B1ez-2015.pdf](http://dcsh.izt.uam.mx/licenciaturas/geografia_humana/wp-content/uploads/2015/09/Tesina-Ana-Laura-Nu%C3%B1ez-2015.pdf)
- Oliva, M., Rubio, K., Epquin, M., Marlo, G., & Leiva, S. (2020). Cadmium uptake in native cacao trees in agricultural lands of Bagua, Peru. *Agronomy*, 10(10), 1551.  
<https://doi.org/10.3390/agronomy10101551>
- Ortega, E. R., Doria, M. C., Arenas, G. V., Dávila, F. S., Zare, E. G., & Ordoñez, E. S. (2020). Bioacumulación de metales pesados en tres especies de peces bentónicos del río Monzón, región Huánuco. *REBIOL*, 40(1), 69-78.  
<https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/accbbiol/article/view/2997>
- Parada-Gutiérrez, O., & Veloz-Cordero, R. L. (2021). Análisis socioeconómico de productores de cacao, localidad Guabito, provincia Los Ríos, Ecuador. *Ciencias Holguín*, 27(1), 1-17.  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181565709001>
- Park, H. J., Kim, S. U., Jung, K. Y., Lee, S., Choi, Y. D., Owens, V. N., ... & Hong, C. O. (2021). Cadmium phytoavailability from 1976 through 2016: Changes in soil amended with phosphate fertilizer and compost. *Science of The Total Environment*, 762, 143132.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143132>
- Pérez Almeida, I. B. (2019). Aportes de la biotecnología al mejoramiento del arroz en Ecuador. *REVISTA CIENTÍFICA ECOCIENCIA*, 6(5), 1-22.  
<https://doi.org/10.21855/ecociencia.65.225>

- Pincay Ganchozo, R. A. (2022). Efectos de la fertilización con macronutrientes sobre la absorción de cadmio de dos materiales genéticos de cacao (*Theobroma cacao* L.) utilizados como patrones, bajo condiciones controladas. Tesis de Licenciatura. Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC), Ecuador. <http://repositorio.utc.edu.ec/jspui/bitstream/27000/8593/1/UTC-PIM-%20000467.pdf>
- Ramírez, R., Subero, N., Sequera, O., & Parra, J. (2015). Contenido de cadmio en arroz (*Oryza sativa* L.) y en suelos fertilizados con fosfatos por un periodo entre 5 y 51 años. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 41(1). [http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev\\_agro/article/view/10837](http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_agro/article/view/10837)
- 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 & Foods*, 7(5), 731–736. <https://doi.org/10.3920/QAS2013.0388>
- Ramtahal, G., Umaharan, P., Hanuman, A., Davis, C., & Ali, L. (2019). The effectiveness of soil amendments, biochar and lime, in mitigating cadmium bioaccumulation in *Theobroma cacao* L. *Science of the Total Environment*, 693, 133563. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.369>
- Ramtahal, G., Yen, I. C., Bekele, I., Bekele, F., Wilson, L., & Sukha, B. (2014). Cost-effective Method of Analysis for the Determination of Cadmium, Copper, Nickel and Zinc in Cocoa Beans and Chocolates. *Journal of Food Research*, 4(1), 193–199. <http://dx.doi.org/10.5539/jfr.v4n1p193>
- Rassaei, F. (2023). Biochar effects on rice paddy cadmium contaminated calcareous clay soil: A study on adsorption kinetics and cadmium uptake. *Paddy Water Environ*, 21, 389–400. <https://doi.org/10.1007/s10333-023-00937-7>
- Raza, A., Habib, M., Kakavand, S. N., Zahid, Z., Zahra, N., Sharif, R., & Hasanuzzaman, M. (2020). Phytoremediation of cadmium: physiological, biochemical, and molecular mechanisms. *Biology*, 9(7), 177. <https://doi.org/10.3390/biology9070177>
- Reddy, M. V., Satpathy, D., & Dhiviya, K. S. (2013). Assessment of heavy metals (Cd and Pb) and micronutrients (Cu, Mn, and Zn) of paddy (*Oryza sativa* L.) field surface soil and water in a predominantly paddy-cultivated area at Puducherry (Pondicherry, India), and effects of the agricultural runoff on the elemental concentrations of a receiving rivulet. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185, 6693–6704. <https://doi.org/10.1007/s10661-012-3057-3>
- Rodríguez Albarracín, H. S., Darghan Contreras, A. E., & Henao, M. C. (2019). Spatial regression modeling of soils with high cadmium content in a cocoa producing area of Central Colombia. *Geoderma Regional*, 16, e00214. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2019.e00214>

- Rosales-Huamani, J. A., Breña-Ore, J. L., Sespedes-Varkarsel, S., Huamanchumo de la Cuba, L., Centeno-Rojas, L., Otiniano-Zavala, A., ... & Castillo-Sequera, J. L. (2020). Study to determine levels of cadmium in cocoa crops applied to inland areas of Peru: "The case of the Campo Verde-Honoría Tournavista corridor". *Agronomy*, 10(10), 1576. <https://doi.org/10.3390/agronomy10101576>
- Saengwilai, P., Meeinkuirt, W., Phusantisampan, T., & Pichtel, J. (2020). Immobilization of cadmium in contaminated soil using organic amendments and its effects on rice growth performance. *Exposure and Health*, 12, 295-306. <https://doi.org/10.1007/s12403-019-00312-0>
- Satpathy, D., Reddy, M. V., & Dhal, S. P. (2014). Risk assessment of heavy metals contamination in paddy soil, plants, and grains (*Oryza sativa* L.) at the East Coast of India. *BioMed research international*, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/545473>
- Scaccabarozzi, D., Castillo, L., Aromatisi, A., Milne, L., Búllon Castillo, A., & Muñoz-Rojas, M. (2020). Soil, site, and management factors affecting cadmium concentrations in cacao-growing soils. *Agronomy*, 10(6), 806. <https://doi.org/10.3390/agronomy10060806>
- Shao, X., Yao, H., Cui, S., Peng, Y., Gao, X., Yuan, C., ... & Mao, X. (2021). Activated low-grade phosphate rocks for simultaneously reducing the phosphorus loss and cadmium uptake by rice in paddy soil. *Science of the Total Environment*, 780, 146550. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146550>
- Suhani, I., Sahab, S., Srivastava, V., & Singh, R. P. (2021). Impact of cadmium pollution on food safety and human health. *Current Opinion in Toxicology*, 27, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.cotox.2021.04.004>
- Tan, L., Qu, M., Zhu, Y., Peng, C., Wang, J., Gao, D., & Chen, C. (2020). ZINC TRANSPORTER5 and ZINC TRANSPORTER9 function synergistically in zinc/cadmium uptake. *Plant Physiology*, 183(3), 1235-1249. <https://doi.org/10.1104/pp.19.01569>
- Tantalean, E., & Rojas, M. Á. H. (2017). Distribución del contenido de cadmio en los diferentes órganos del cacao CCN-51 en suelo aluvial y residual en las localidades de Jacintillo y Ramal de Aspuzana. *Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable*, 1(2), 69-78. <https://doi.org/10.25127/aps.20172.365>
- Tariq, S. R., & Rashid, N. (2013). Multivariate analysis of metal levels in paddy soil, rice plants, and rice grains: a case study from Shakargarh, Pakistan. *Journal of Chemistry*, 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/539251>
- Tineo Nuñez, B. G., & Periche Viera, R. E. (2019). Evaluación del contenido de metales pesados en la margen izquierda del valle del río Tumbes y su absorción por el cultivo de arroz durante el periodo Marzo-Julio 2018. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional de Tumbes. Perú.

- <http://repositorio.untumbes.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12874/383/TESIS%20-%20PERICHE%20Y%20TINEO.pdf?sequence=1>
- Torres, A. A., García, G., Cadena, D., & Sánchez, V. (2019). Evaluación y planificación de sistemas agroforestales sustentables de cacao (*Theobroma cacao* L.) y bambú (*Guadua angustifolia* K.), Montalvo, Ecuador. *Journal of Science and Research*, 4(4), 10-21. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3473533>
- Trujillo, A. T., Manchola, L. V. C., & Santofimio, E. M. J. (2020). Metales en suelos productores de arroz del Distrito Juncal, Huila-Colombia. *Suelos Ecuatoriales*, 50(1y2), 1-12. DOI: 10.47864/SE(50)2020p1-12\_121
- Valarezo, J. X., Carrillo, Rubio. G., Peña, K., & García-Orellana, Y. (2022). Omisión de macronutrientes y biodisponibilidad de cadmio en suelos de Ecuador. *Acta Agronómica*, 71(3). <https://doi.org/10.15446/acag.v71n3.105855>
- Vanderschueren, R., Argüello, D., Blommaert, H., Montalvo, D., Barraza, F., Maurice, L., ... & 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, 146779. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146779>
- Vitola, V., & Ciprova, I. (2016). The effect of cocoa beans heavy and trace elements on safety and stability of confectionary products. *Rural Sustainability Research*, 35(330). <https://doi.org/10.1515/plua-2016-0003>
- Wang, K., Fu, G., Yu, Y., Wan, Y., Liu, Z., Wang, Q., ... & Li, H. (2019). Effects of different potassium fertilizers on cadmium uptake by three crops. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 27014-27022. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05930-4>
- Xiao, J., Yin, X., Sykes, V. R., & He, Z. (2022). Differential accumulation of heavy metals in soil profile and corn and soybean grains after 15-year poultry litter application under no-tillage. *Journal of soils and sediments*, 1-15. <https://doi.org/10.1007/s11368-021-03087-7>
- Xiao, Z., Peng, M., Mei, Y., Tan, L., & Liang, Y. (2021). Effect of organosilicone and mineral silicon fertilizers on chemical forms of cadmium and lead in soil and their accumulation in rice. *Environmental Pollution*, 283, 117107. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117107>
- Yang, X., Li, J., Zheng, Y., Li, H., & Qiu, R. (2023). Salinity elevates Cd bioaccumulation of sea rice cultured under co-exposure of cadmium and salt. *Journal of Environmental Sciences*, 126, 602-611. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2022.05.053>
- Yosa, M. C., & Regalado, J. G. (2021). Análisis de la competitividad de las exportaciones de café de Ecuador versus Colombia y Brasil hacia el mercado de USA. *X-pedientes Económicos*, 5(12), 65-80.

---

[https://ojs.supercias.gob.ec/index.php/X-pedientes\\_Economicos/article/view/63](https://ojs.supercias.gob.ec/index.php/X-pedientes_Economicos/article/view/63)

Yuan, C., Li, Q., Sun, Z., & Sun, H. (2021). Effects of natural organic matter on cadmium mobility in paddy soil: A review. *Journal of environmental sciences*, 104, 204-215. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2020.11.016>

Zhang, S., Li, Q., Nazir, M. M., Ali, S., Ouyang, Y., Ye, S., & Zeng, F. (2020). Calcium plays a double-