

Research Article

# Cadmium in the Soil and its Presence in Cocoa

## El cadmio en el suelo y su presencia en el cacao

Luis Fernández\*, Luis Yanchatipán

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Ingeniería Ambiental, Macas, Ecuador

### ORCID

Luis Fernández: <https://orcid.org/0000-0002-3163-0123>

INDEXACIÓN II CONGRESO  
INTERNACIONAL DE  
CIENCIA Y TECNOLOGIA  
MORONA SANTIAGO  
CICTMS 2021

Corresponding Author: Luis  
Fernández

Published: 18 April 2024

Production and Hosting by  
Knowledge E

© Fernández,  
Yanchatipán. This article is  
distributed under the terms of  
the [Creative Commons](#)  
[Attribution License](#), which  
permits unrestricted use and  
redistribution provided that  
the original author and  
source are credited.

### Abstract

Cadmium is a heavy metal from both natural and anthropogenic sources, whose concentration in the soil poses a real danger to the health of all organisms. In Ecuador, cocoa is an important agricultural product whose demand has grown over time. It is also the main source of livelihood for hundreds of small farmers. However, the presence of cadmium in the soil has become a major concern, as a result, several remediation methods have been proposed to eliminate or neutralize cadmium in the soil. The bibliographic review proposes several physicochemical and biological methods capable of neutralizing the mobility of cadmium in the soil. The use of microorganisms capable of storing cadmium is a viable option due to its easy application and low implementation cost. The concentration of cadmium in cocoa beans shows values above the permissible limits established in Regulation No 488/2014 for cocoa products. Although there are no established values for cadmium concentrations in cocoa beans, this regulation can be taken as a reference in order to establish standards for cocoa production in Ecuador.

**Keywords:** *cadmium, cocoa, maximum permissible levels, bioremediation, bioaccumulation.*

### Resumen

El cadmio, metal pesado proveniente de fuentes naturales como antropogénicas cuya concentración en el suelo supone un peligro real para la salud de todo organismo. En el Ecuador el cacao es un importante producto agrícola cuya demanda ha crecido con el tiempo además de ser el sustento de cientos de pequeños productores, por ello se han planteado varios métodos de remediación que permiten eliminar o en cuyo caso neutralizar la presencia de cadmio en el suelo. La revisión bibliográfica propone diversos métodos fisicoquímicos y biológicos capaces de neutralizar la movilidad del cadmio en el suelo. El uso de microorganismos capaces de almacenar el cadmio supone una opción viable por su fácil aplicación y bajo costo de implementación. La concentración de cadmio en las semillas de cacao muestra valores por encima de los límites permisibles establecidos en Reglamento N° 488/2014 para productos derivados del cacao, aunque no exista valores establecido para concentraciones de cadmio en las semillas de cacao, se puede tomar como referencia este reglamento con el fin de establecer normas para la producción de cacao en el Ecuador.

**Palabras Clave:** *Cadmio, Cacao, Máximos Permisibles, Biorremediación, Bioacumulación.*

 OPEN ACCESS



## 1. Introducción

El cadmio es un metal pesado tóxico que se puede encontrar en el suelo de manera natural por la meteorización de la roca, las erupciones volcánicas, incendios forestales entre muchas otras, sin embargo una de las principales causas de su presencia en el suelo es debido a actividades antropogénicas como la actividad minera e industrial seguido de la agricultura (1). Si bien el cadmio se puede presentar de manera natural en el suelo es necesario mencionar que la concentración de cadmio producido por fuentes antropogénicas es 3 a 10 veces mayor que las producidas por fuentes naturales (2). El cadmio se bioacumula en el organismo cuando son consumidos por animales u organismos debido a la contaminación de praderas y suelos de cultivo con metales pesados provenientes de industrias de fundición, residuos y materias primas como fosfatos (3). Consientes de esto los entes gubernamentales de varios países han establecido valores máximos permisibles de cadmio en alimentos, fertilizantes, enmiendas y abonos orgánicos (4). El cacao en Ecuador es considerado el tercer producto agrícola mas importante despues de las flores y el banano, esta planta es capaz de absorber el cadmio presente en el suelo y almacenarlo en su tallo, hojas y semillas, por lo que es necesario investigar metodos de extracción o disminución de cadmio en el suelo. La fitoremediación es un conjunto de tecnologías que permiten reducir la concentración de ciertos contaminantes en el suelo a partir de diversos procesos bioquímicos relizados por las plantas, por su bajo costo y su fácil implementación se perfila como uno de los mejores metodos de regulación de la concentracion de cadmio en el suelo (5).

## 2. Materiales y Métodos

### 2.1. Revisión Bibliográfica

Se realizó un análisis de investigaciones acerca del cadmio y su bioacumulación en el suelo y las plantas propuestos por varios autores, esto permitió discernir los puntos más importantes sobre los cuales fundamentar la investigación.

### 2.2. Características y fuentes de cadmio

El cadmio es un elemento divalente, con un peso atómico de 48, masa atómica de 112,41, punto de fusión 320,9 °C y punto de ebullición de 767 °C. Es fácilmente soluble en ácidos minerales, con los que forma las sales correspondientes y es insoluble en agua, aunque sus sales de cloro y sulfato sí lo son. La incorporación natural de cadmio



procede, principalmente, de la actividad volcánica, lixiviación de rocas e incendios forestales. Las fuentes antropogénicas de cadmio varían desde productos de la extracción de zinc, combustión de carbón, escoria de las minas, material catódico de baterías, producción de hierro y acero, fertilizantes y pesticidas (6).

### 2.3. Factores del suelo que facilitan la absorción de cadmio

El cadmio de origen antropogénico se presenta en los horizontes superficiales del suelo y será más disponible que aquel que proviene de la meteorización de la roca, su absorción depende de los factores del suelo y del cultivo. Los factores que favorezcan la movilidad del cadmio facilitaran su absorción mientras que los que favorezcan su retención disminuyen la disponibilidad del mismo. El pH del suelo puede favorecer la retención de cadmio, mientras mayor sea este mayor será la retención debido a la formación de especies de menor densidad de carga negativa, óxidos y otros materiales de carga variable que favorecen la adsorción de este elemento (7–10). Los carbonatos también contribuyen a la retención de cadmio en formas poco disponibles para las plantas (11–13).

La mineralogía del suelo, aquellos suelos que posean una gran capacidad de intercambio catiónico (CIC) debido al material parental o el proceso edafogénico que sufrieron tendrán una mayor capacidad de retención de cadmio, mientras que suelos más evolucionados con pH ácido de textura gruesa y baja CIC tendrán una menor capacidad de retención de cadmio (14,15).

### 2.4. Absorción de cadmio en las plantas

El cadmio se acumula en los organismos al pasar de un nivel trófico a otro multiplicando su concentración a lo largo de las cadenas y redes tróficas(16). Normalmente este elemento no se encuentra biodisponible ya que es poco soluble en agua y está unido a las partículas del suelo. En las plantas la absorción de cadmio se realiza por medio de las raíces y depende de la biodisponibilidad, su concentración en el suelo, de la presencia de materia orgánica, el pH, el potencial redox, la temperatura, la concentración de otros elementos (17), la salinidad, la intensidad de la luz y el nivel de O<sub>2</sub> (18). Además, las plantas son capaces de acidificar el suelo modulando la actividad de una ATPasa de membrana denominada H<sup>+</sup>ATPasa, por medio de fitosideróforos o por la producción de exudados carboxilados, haciendo biodisponible los metales pesados presentes. El cadmio también puede penetrar utilizando transportadores de otros metales tales como



Ca<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup> y Zn<sup>2+</sup> (19). De igual forma, las bacterias y las micorrizas desempeñan un papel importante en la biodisponibilidad de estos metales en el suelo (20).

Una vez que los metales se han movilizado, son capturados por las células de las raíces, donde se unen inicialmente a la pared celular de las células epidérmicas para ser luego translocados por intercambio iónico al resto de la planta. Este proceso puede estar mediado por transportadores, por difusión simple o por ambas (21–24).

## 2.5. Remediación de suelos contaminados con cadmio

Dependiendo de su naturaleza, los métodos de remediación de suelos contaminados con metales pesados se clasifican en:

**1) Físicoquímicos:** aquéllos que utilizan las propiedades físicas y químicas de los contaminantes o del medio contaminado para transformar, separar o inmovilizar el contaminante (23).

**2) Biológicos:** también denominados biorremediación, en el cual se aprovecha el potencial metabólico de organismos vivos (bacterias, hongos y plantas) para limpiar ambientes contaminados (25, 26).

## 2.6. Técnicas de Biorremediación

**Biosorción:** los metales pesados pueden ser absorbidos pasivamente a los componentes celulares de los microorganismos debido a atracciones electrostáticas. Al tener los metales carga positiva son atraídos por las cargas negativas de los grupos carboxilos, fosforilos y aminos presentes en las paredes celulares, membranas y material extracelular de bacterias y hongos (27, 28).

**Bioprecipitación:** ciertos metales pesados pueden ser inmovilizados eficientemente debido a la acción de bacterias con la capacidad de reducirlos a un estado redox menor, reduciendo la biodisponibilidad de estos elementos (29).

**Biolixiviación (heterotrófica y autotrófica):** el proceso de biolixiviación heterotrófica consiste en la acidificación del medio por la movilización de protones a través de la membrana plasmática, ocasionando una liberación de metales a través de varias rutas; i.e. la competencia entre protones y metales en un complejo metal-anión o cuando se encuentran en una forma asimilada con algún otro elemento, lo cual genera una liberación de cationes metálicos. También el metabolismo heterotrófico puede ocasionar lixiviación debido a la producción de ácidos orgánicos y sideróforos (30).

**Biovolatilización:** algunas bacterias y hongos pueden llevar a cabo la metilación de metales pesados y metaloides como el Hg, As y Se. Los compuestos metilados difieren



en su solubilidad, toxicidad y volatilidad. Los metales metilados pueden ser reducidos a otras formas por medio de reacciones enzimáticas bacterianas, como es el caso del metil mercurio, el cual puede ser reducido a una forma menos tóxica y más volátil como el Hg<sup>0</sup>; esto se realiza mediante la acción de la enzima mercurio reductasa (31).

**Fitorremediación:** se basa en el uso de plantas para reducir in situ la concentración o peligrosidad de contaminantes orgánicos e inorgánicos de suelos, sedimentos, agua, y aire, a partir de procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismos asociados a su sistema de raíz que conducen a la reducción, mineralización, degradación, volatilización y estabilización de los diversos tipos de contaminantes (32).

## 2.7. El Cacao

*Theobroma cacao*, es una de las más importantes especies de bosques húmedos tropicales. Las semillas de cacao son la fuente del cacao comercial: chocolate y manteca de cacao. Las semillas fermentadas son tostadas, rotas y esparcidas para dar un polvo del cual se obtiene la grasa. En la preparación del chocolate, este polvo es mezclado con azúcar, sabores artificiales, y grasa extra de cacao. Las semillas de cacao son la mayor cosecha económica del mundo tropical, pero, solamente cerca del 10% por peso fresco de la fruta es comercializado, aunque varios productos comerciales promisorios pueden ser obtenidos de este fruto (33).

El cacao contiene cerca de 300 compuestos volátiles incluyendo esteroides, hidrocarburos, monocarbonilos, piroles, y otros más. Se ha dicho que los importantes componentes de sabor son esteroides alifáticos, polifenoles, carbonilos aromáticos insaturados, diketopiperazinas, pirazinas y teobromina. El cacao también contiene cerca de 18% de proteínas (8% digestibles); grasas (manteca de cacao); aminas y alcaloides incluyendo theobromina (0,5 a 2,7%), cafeína (0,25 a 1,43%), tiramina, dopamina, salsolinol, trigonelina, ácido nicotínico y aminoácidos libres; taninos, fosfolípidos, etc. (34).

## 2.8. El Cadmio en el cacao

El cadmio (Cd) es un metal pesado con propiedades intermedias entre el zinc (Zn) y el mercurio (Hg) (35, 36), ampliamente usado en la industria desde hace 50 años (35, 37). Actualmente se ha demostrado que provoca una serie de trastornos en la salud, afecta órganos vitales como pulmones, riñones, hueso y el probable desarrollo de cáncer (38), consecuencia de su alta movilidad y poder bioacumulativo (37–40). Se considera al cadmio junto con el plomo, mercurio y cromo como elementos peligrosos



debido a su toxicidad para la alimentación humana (39, 41); esta situación ha hecho que la comunidad científica a plantear alternativas de prevención, control y remediación.

En este contexto, los reportes científicos han tomado como norma de referencia para determinar los niveles de Cd al Reglamento N° 488/2014 (42), que rige desde enero del 2019 (1, 43) y establece límites tolerables entre 0,1 a 0,8 µg/g (0,8 mg/kg) a productos derivados del chocolate y no dispone límite máximo para granos sin procesar (44).

**Tabla 1**

*Concentraciones de cadmio en grano de diferentes variedades de cacao del Ecuador.*

Variedad	Cd promedio (mg/kg)	Referencia
CCN51	0,90	(45)
Nacional		
CCN-51	3,50	(46)
CCN-51	1,25	
CCN-51	1,02	
CCN-51	1,37	
CCN-51	1,02	
CCN-51	1,20	
CCN-51	1,06	
Nacional	1,49	
Nacional	2,50	
Nacional	1,25	
Nacional	1,16	
Nacional	0,77	

El estudio realizado por (45) muestra una media de cadmio 0,90 mg/kg mientras que (46) muestra una media de 1,49 mg/kg para la variedad CCN-51 y para la variedad Nacional una media de 1,43 mg/kg.

## 2.9. Efecto en el cultivo de cacao

El efecto del cadmio en el cacao se muestra en el crecimiento de los órganos de la planta ya que interfiere en los procesos bioquímicos y fisiológicos (47). Aunque no se encuentra mucha información específicamente sobre los efectos del Cd en el cacao, estudios en otras plantas han mostrado una disminución en la longitud y peso de la raíz, además de efectos tóxicos como la clorosis, necrosis, secamiento de ápices y disminución del área foliar (48–51).



### 3. Resultados

Las fuentes antropogénicas son las responsables de la mayor cantidad de cadmio presente en el suelo. Las actividades agrícolas, la minería y la metalurgia son las principales fuentes de contaminación de metales pesados.

El cadmio es un metal tóxico que se bioacumula en el organismo y aumenta su concentración en el mismo al pasar de una cadena trófica a otra, y en las plantas se absorbe por medio de las raíces concentrándose principalmente en el tallo, las hojas y las semillas.

La fitorremediación es una de las técnicas más sencillas y económicas para remediar suelos contaminados con cadmio, ya que ciertas plantas pueden absorber y acumular metales pesados impidiendo su movilización a través del suelo.

### 4. Discusión

Según Tantalean y Huauya (52), en su evaluación de tejidos las ramas son las que presentan un alto contenido de cadmio total. De acuerdo con sus resultados menciona que, a nivel de las ramas, el cadmio es móvil, esto concuerda con lo que menciona Hirzel et al. (53) que el cadmio a pesar de que no cumple una función biológica particular puede acumularse en raíces, brotes y partes comestibles de las plantas, además, cabe recalcar que Argüello et al. (54) menciona la planta de cacao acumula cadmio a pesar de que el suelo no esté contaminado con este metal.

El análisis de correlación de Florida et al. (55), muestra que entre el pH y  $\text{Cd}^{2+}$  en suelo no existe correlación significativa. Este resultado contrasta con lo reportado por Arévalo et al. (56), debido a que sus resultados se observaron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) entre el cadmio del suelo y el pH. En adición, el pH encontrado no se correlaciona con  $\text{Cd}^{2+}$ , esto se puede explicar si la disponibilidad del  $\text{Cd}^{2+}$  en el suelo está influenciada por parámetros, como la presencia de materia orgánica y arcilla.

### 5. Conclusiones

El uso de microorganismos en la remediación de suelos contaminados por cadmio presenta un panorama viable y eficaz, ya que es posible tratar los suelos de manera directa ahorrando costes de transporte y excavación.

Si nos basamos en el Reglamento N° 488/2014, las concentraciones de cadmio en las distintas variedades de cacao estudiadas en el Ecuador están por encima de los límites



permisibles por lo que es necesaria la implementación de técnicas de remediación que ayuden a reducir la presencia de este metal en el suelo.

## References

- [1] Meter A, Atkinson R, Laliberte B. Cadmio en el cacao de América Latina y el Caribe Análisis de la investigación y soluciones potenciales para la mitigación. Roma: Bioersity International; 2019.
- [2] He S, He Z, Yang X, Stoffella PJ, Baligar VC. Soil Biogeochemistry, Plant Physiology, and Phytoremediation of Cadmium-Contaminated Soils. In: *Advances in Agronomy*. 2015. p. 135–225.
- [3] Arroyave CQ, Araque PM, Pelaez J CA. BIOACCUMULATION AND TOXICITY EVALUATION OF CADMIUM AND MERCURY IN LLANERO GRASS (*Brachiaria dictyoneura*). Vol. 17. 2010.
- [4] Peláez-Peláez MJ, Bustamante-Cano JJ, Gómez-López ED. Presencia de cadmio y plomo en suelos y su bioacumulación en tejidos vegetales en especies de brachiaria en el Magdalena Medio colombiano. *Luna Azul*. 2016 May 15;43:82–101.
- [5] León-Villamar F, Calderón-Salazar J, Mayorga-Quinteros E. Estrategias para el cultivo, comercialización y exportación del cacao fino de aroma en Ecuador. *Revista Ciencia UNEMI*. 2016 Jun;9(18):45–55.
- [6] Sanabria R. Toxicidad y acumulación de cadmio en poblaciones de diferentes especies de *Artemia*. Universidad de Valencia; 2002.
- [7] Wu Q, Hendershot WH, Marshall WD, Ge Y. Speciation of cadmium, copper, lead, and zinc in contaminated soils. *Commun Soil Sci Plant Anal*. 2000 May 11;31(9–10):1129–1144.
- [8] Pardo M. INFLUENCE OF ELECTROLYTE ON CADMIUM INTERACTION WITH SELECTED ANDISOLS AND ALFISOLS. *Soil Sci*. 1997 Jun 2;162(10):733–740.
- [9] Naidu R, Kookana RS, Sumner ME, Harter RD, Tiller KG. Cadmium Sorption and Transport in Variable Charge Soils: A Review. *J Environ Qual*. 1997 May;26(3):602–617.
- [10] Pardo MT, Guadalix ME. Cadmium sorption by two acid soils as affected by clearing and cultivation. *Commun Soil Sci Plant Anal*. 1995 Jan 11;26(1–2):289–302.
- [11] García I, Simón M, Dorronsoro C, Aguilar J, Martín F, Ortiz I. CONTAMINACIÓN DE SUELOS POR OXIDACIÓN DE LODOS PIRÍTICOS. *Edafología*. 2000 Sep;7(3):159–168.



- [12] Hooda PS, Alloway BJ. Cadmium and lead sorption behaviour of selected English and Indian soils. *Geoderma*. 1998 Jun;84(1–3):121–134.
- [13] Cala V, de La Flor M, Mencía R. Influencia de las características fisicoquímicas y mineralógicas en la distribución de metales pesados en suelos de cultivo. *Boletín de la Sociedad Española de la Ciencia del Suelo*. 1997;1(2):205–213.
- [14] Ma LQ, Tan F, Harris WG. Concentrations and Distributions of Eleven Metals in Florida Soils. *J Environ Qual*. 1997 May;26(3):769–775.
- [15] Holmgren GGS, Meyer MW, Chaney RL, Daniels RB. Cadmium, Lead, Zinc, Copper, and Nickel in Agricultural Soils of the United States of America. *J Environ Qual*. 1993 Apr;22(2):335–348.
- [16] de Azevedo F. *Toxicologia do Mercúrio*. Rima. 2003.
- [17] Sanità di Toppi L, Gabbriellini R. Response to cadmium in higher plants. *Environ Exp Bot*. 1999 Apr;41(2):105–130.
- [18] Prasad MNV, Malec P, Waloszek A, Bojko M, Strzałka K. Physiological responses of *Lemna trisulca* L. (duckweed) to cadmium and copper bioaccumulation. *Plant Science*. 2001 Oct;161(5):881–889.
- [19] Clemens S. Evolution and function of phytochelatin synthases. *J Plant Physiol*. 2006 Feb;163(3):319–332.
- [20] Clemens S, Palmgren MG, Krämer U. A long way ahead: understanding and engineering plant metal accumulation. *Trends Plant Sci*. 2002 Jul;7(7):309–315.
- [21] Hart JJ, Norvell WA, Welch RM, Sullivan LA, Kochian L v. Characterization of Zinc Uptake, Binding, and Translocation in Intact Seedlings of Bread and Durum Wheat Cultivars. *Plant Physiol*. 1998 Sep 1;118(1):219–226.
- [22] Cataldo DA, Garland TR, Wildung RE. Cadmium Uptake Kinetics in Intact Soybean Plants. *Plant Physiol*. 1983 Nov 1;73(3):844–848.
- [23] Mullins GL, Sommers LE. Cadmium and zinc influx characteristics by intact corn (*Zea mays* L.) seedlings. *Plant Soil*. 1986 Jun;96(2):153–164.
- [24] Homma Y, Hirata H. Kinetics of cadmium and zinc absorption by rice seedling roots. *Soil Sci Plant Nutr*. 1984 Dec;30(4):527–532.
- [25] Watanabe K. Microorganisms relevant to bioremediation. *Curr Opin Biotechnol*. 2001 Jun;12(3):237–241.
- [26] Gadd GM. Metals, minerals and microbes: geomicrobiology and bioremediation. *Microbiology (N Y)*. 2010 Mar 1;156(3):609–643.
- [27] Kirchman DL. *Processes in Microbial Ecology*. Vol. 1. Oxford University Press; 2018.



- [28] Gadd GM. Microbial influence on metal mobility and application for bioremediation. *Geoderma*. 2004 Oct;122(2–4):109–119.
- [29] Valls M, de Lorenzo V. Exploiting the genetic and biochemical capacities of bacteria for the remediation of heavy metal pollution. *FEMS Microbiol Rev*. 2002 Nov;26(4):327–338.
- [30] Gadd GM. Interactions of Fungi with Toxic Metals. In: *The Genus Aspergillus*. Boston, MA: Springer US; 1994. p. 361–374.
- [31] Tabak HH, Lens P, van Hullebusch ED, Dejonghe W. Developments in Bioremediation of Soils and Sediments Polluted with Metals and Radionuclides – 1. Microbial Processes and Mechanisms Affecting Bioremediation of Metal Contamination and Influencing Metal Toxicity and Transport. *Rev Environ Sci Biotechnol*. 2005 Aug;4(3):115–156.
- [32] Roberto N, Yong Y, Borges R, Olgúin E. Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones. *Revista Ciencia*. 2004;69–83.
- [33] Leung A, Foster S. *Encyclopedia of common natural ingredients used in food, drugs, and cosmetics*. 2nd ed. New York; 1996. 649.
- [34] Kalvatchev Z, Garzaro D, Cedezo F. *Theobroma cacao* L.: Un nuevo enfoque para nutrición y salud. *Revista agroalimentaria*. 1998;4(6):23–25.
- [35] Pérez P, Azcona M. Los efectos del cadmio en la salud. *Revista de Especialidades Médico-Quirúrgicas*. 2012 Sep;17(3):199–205.
- [36] Antoine JMR, Fung LAH, Grant CN. Assessment of the potential health risks associated with the aluminium, arsenic, cadmium and lead content in selected fruits and vegetables grown in Jamaica. *Toxicol Rep*. 2017;4:181–187.
- [37] Gunnar N. ENCICLOPEDIA DE SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO. In: *METALES: PROPIEDADES QUIMICAS Y TOXICIDAD*. 10th ed. 2013.
- [38] Reyes Y, Vergara I, Torres O, Díaz M, González E. Contaminación por metales pesados Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Ingeniería Investigación y Desarrollo: I2+D*. 2016 Dec;16(2):66–77.
- [39] Engbersen N, Gramlich A, Lopez M, Schwarz G, Hattendorf B, Gutierrez O, et al. Cadmium accumulation and allocation in different cacao cultivars. *Science of The Total Environment*. 2019 Aug;678:660–670.
- [40] Maddela NR, Kakarla D, García LC, Chakraborty S, Venkateswarlu K, Megharaj M. Cocoa-laden cadmium threatens human health and cacao economy: A critical view. *Science of The Total Environment*. 2020 Jun;720:137645.
- [41] Casteblanco JA. Técnicas de remediación de metales pesados con potencial aplicación en el cultivo de cacao. *La Granja*. 2018 Jan 11;27(1):21–35.



- [42] Unión Europea-UE. Reglamento (UE) No 488/2014 de la comisión de 12 de mayo de 2014 que modifica el Reglamento (CE) no 1881/2006 por lo que respecta al contenido máximo de cadmio en los productos alimenticios. 2014.
- [43] Jiménez C. Global legal status of cadmium in cacao (*Theobroma cacao*): a fantasy or a reality. *Producción + Limpia*. 2015 Jun;10(1):89–104.
- [44] Pastor S. Niveles de cadmio en el chocolate: NM y ECA, sí; OTC, no. In: 2017 International Symposium on Cocoa Research (ISCR). Lima; 2017.
- [45] Argüello D, Chavez E, Laurysen F, Vanderschueren R, Smolders E, Montalvo D. Soil properties and agronomic factors affecting cadmium concentrations in cacao beans: A nationwide survey in Ecuador. *Science of The Total Environment*. 2019 Feb;649:120–127.
- [46] Barraza F, Schreck E, Lévêque T, Uzu G, López F, Ruales J, et al. Cadmium bioaccumulation and gastric bioaccessibility in cacao: A field study in areas impacted by oil activities in Ecuador. *Environmental Pollution*. 2017 Oct;229:950–963.
- [47] Hussain A, Ali S, Rizwan M, Zia-ur-Rehman M, Yasmeeen T, Hayat MT, et al. Morphological and physiological responses of plants to cadmium toxicity. In: *Cadmium toxicity and tolerance in plants*. Elsevier; 2019. p. 47–72.
- [48] Chang YS, Chang YJ, Lin CT, Lee MC, Wu CW, Lai YH. Nitrogen fertilization promotes the phytoremediation of cadmium in *Pentas lanceolata*. *Int Biodeterior Biodegradation*. 2013 Nov;85:709–714.
- [49] Huang B, Xin J, Dai H, Liu A, Zhou W, Yi Y, et al. Root morphological responses of three hot pepper cultivars to Cd exposure and their correlations with Cd accumulation. *Environmental Science and Pollution Research*. 2015 Jan 15;22(2):1151–1159.
- [50] Wang P, Deng X, Huang Y, Fang X, Zhang J, Wan H, et al. Root morphological responses of five soybean [*Glycine max* (L.) Merr] cultivars to cadmium stress at young seedlings. *Environmental Science and Pollution Research*. 2016 Jan 24;23(2):1860–1872.
- [51] Monteiro MS, Santos C, Soares AMVM, Mann RM. Assessment of biomarkers of cadmium stress in lettuce. *Ecotoxicol Environ Saf*. 2009 Mar;72(3):811–818.
- [52] Tantalean Pedraza E, Huauya Rojas MÁ. 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*. 2017 Aug 1;1(2):69.



- [53] Hirzel J, Retamal-Salgado J, Walter I, Matus I. Cadmium accumulation and distribution in plants of three durum wheat cultivars under different agricultural environments in Chile. *J Soil Water Conserv.* 2017 Dec 24;72(1):77–88.
- [54] Argüello D, Chavez E, Laurysen F, Vanderschueren R, Smolders E, Montalvo D. Soil properties and agronomic factors affecting cadmium concentrations in cacao beans: A nationwide survey in Ecuador. *Science of The Total Environment.* 2019 Feb;649:120–127.
- [55] Florida Rofner N, Claudio Melchor SI, Gómez Bernal R. El pH Y La Absorción De Cadmio En Almendras De Cacao Orgánico (*Theobroma Cacao L.*) En Leoncio Prado, Huánuco, Peru. *Folia Amazónica.* 2019 Jan 28;27(1):1–8.
- [56] Arévalo-Gardini E, Obando-Cerpa ME, Zú niga-Cernades LB, Arévalo-Hernández CO, Baligar V, He Z. METALES PESADOS EN SUELOS DE PLANTACIONES DE CACAO (*Theobroma cacao L.*) EN TRES REGIONES DEL PERÚ. *Ecología Aplicada.* 2016 Dec 22;15(2):81.