



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA



Componente práctico del Examen de Grado de carácter Complexivo,
presentado al H. Consejo Directivo de la Facultad, como requisito previo
para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

TEMA:

“Presencia de cadmio (Cd) en el cacao (*Theobroma cacao* L.) de
exportación”.

AUTOR:

Julio Gabriel Alvarez Velastegui

TUTOR:

Ing. Agr. Dalton Leonardo Cadena Piedrahita, MBA.

BABAHOYO - LOS RÍOS - ECUADOR

2021

DEDICATORIA

Este trabajo investigativo es dedicado en primer lugar a Dios, quien me brindó sabiduría e inteligencia para poder terminar con éxito esta investigación.

A mi mamá Julia Luisa Velastegui Franco, a mi papá Julio Francisco Alvarez Córdova, a mi hija Tíffany Bridget Alvarez Sarco y toda mi familia.

A todas las personas que directa o indirectamente aportaron con este trabajo investigativo.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios en primer lugar por darme la vida, la inteligencia y sabiduría para poder culminar este trabajo de investigación, la cual me permite cumplir con el último requisito para así poder culminar mi carrera profesional y graduarme de Ingeniero Agrónomo.

Un agradecimiento enorme a nuestra institución “Universidad Técnica de Babahoyo” por dejarme participar en las aulas de mi querida Facultad de Ciencias Agropecuarias, que en la cual culminé mis estudios de tercer nivel.

A mi tutor Ing. Agr. Dalton Leonardo Cadena Piedrahita, MBA.

RESUMEN

“Presencia de cadmio (Cd) en el cacao (*Theobroma cacao* L.) de exportación”.

Actualmente conforme a criterio de calidad del suelo, Acuerdo Ministerial 097 – Anexo 2 de Norma de Calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados, del Ministerio del Ambiente del Ecuador, el valor normal es 0,5 mg/kg de cadmio. Aunque el cadmio en el suelo se encuentra de diversas formas naturales, la actividad volcánica (incluyendo el vulcanismo subterráneo) es considerada la mayor fuente natural de liberación de cadmio a la atmósfera. Dentro de las principales fuentes antropogénicas de cadmio en el suelo, podemos decir que la aplicación directa a los suelos de fertilizantes de fosfato ocupa uno de los primeros lugares. Los fertilizantes de fosfato son una de las fuentes más ubicuas de contaminación con cadmio en los suelos agrícolas de todo el mundo, ya que el cadmio a menudo ocurre en altas concentraciones en las rocas de fosfato de las que se produce el fertilizante. La biodisponibilidad de cadmio a las plantas de cacao depende de varios factores: CIC, pH, materia orgánica, textura del suelo, conductividad eléctrica, macro y micronutrientes, influencia de los microorganismos del suelo sobre el comportamiento del cadmio en los suelos. En 2014 se emite el Reglamento UE n.º 488/2014, que establece los límites máximos de cadmio para chocolates y otros derivados. De acuerdo con el plazo de transición de 5 años, se exigió su cumplimiento a partir del 1 de enero de 2019. Varias investigaciones realizadas en nuestro país han reportado la presencia de Cd en niveles tóxicos en suelos cacaoteros y almendras de cacao con cantidades superiores a 1 mg/kg de Cd: en las provincias de El Oro, Guayas, Zamora, Los Ríos, Francisco de Orellana, Esmeraldas y la parte tropical de Pichincha. Hasta el momento se ha encontrado un valor de 4,08 mg/kg de Cd en la almendra, que es el más elevado en la Provincia de El Oro; le siguen Guayas y Manabí con 3,57 y 3,46 mg/kg, respectivamente. En cuanto a la provincia de Los Ríos se encuentra un promedio de 0,57 mg/kg, con un de mínimo 0,23 mg/kg y un máximo de 1,23 mg/kg. La ingesta de cadmio poblacional de productos que contengan cacao y derivados van entre 0,005 a 0,39 ug/kg de peso corporal al mes lo cual equivale a 0,02 – 1,6 % de tolerancia, para personas que consumen mayormente estos productos su porcentaje será considerado de 30 a 69 % para adultos y 96 % para niños no causando estos motivos de intranquilidad a los consumidores.

Palabras clave: cadmio, cacao, almendra, exportación, metales pesados.

SUMMARY

“Presence of cadmium (Cd) in export cocoa (*Theobroma cacao* L.)”

Currently, according to soil quality criteria, Ministerial Agreement 097 - Annex 2 of the Environmental Quality Standard for soil resources and remediation criteria for contaminated soils, of the Ministry of the Environment of Ecuador, the normal value is 0.5 mg / kg of cadmium. Although cadmium in the soil is found in various natural forms, volcanic activity (including underground volcanism) is considered the largest natural source of cadmium release into the atmosphere. Among the main anthropogenic sources of cadmium in the soil, we can say that the direct application of phosphate fertilizers to soils occupies one of the first places. Phosphate fertilizers are one of the most ubiquitous sources of cadmium contamination in agricultural soils around the world, as cadmium often occurs in high concentrations in the phosphate rocks from which the fertilizer is produced. The bioavailability of cadmium to cocoa plants depends on several factors: CEC, pH, organic matter, soil texture, electrical conductivity, macro and micronutrients, influence of soil microorganisms on the behavior of cadmium in soils. In 2014, EU Regulation No. 488/2014 was issued, which establishes the maximum cadmium limits for chocolates and other derivatives. In accordance with the transition period of 5 years, compliance with it was required as of January 1, 2019. Several investigations carried out in our country have reported the presence of Cd at toxic levels in cocoa soils and cocoa beans with amounts greater than 1 mg / kg of Cd: in the provinces of El Oro, Guayas, Zamora, Los Ríos, Francisco de Orellana, Esmeraldas and the tropical part of Pichincha. So far, a value of 4,08 mg/kg of Cd has been found in almonds, which is the highest in the Province of El Oro; They are followed by Guayas and Manabí with 3,57 and 3,46 mg/kg, respectively. As for the province of Los Ríos, there is an average of 0,57 mg/kg, with a minimum of 0,23 mg/kg and a maximum of 1,23 mg/kg. The population intake of cadmium of products containing cocoa and derivatives ranges between 0,005 to 0,39 ug/kg of body weight per month, which is equivalent to 0,02 – 1,6 % tolerance, for people who mostly consume these products their This percentage will be considered from 30 to 69 % for adults and 96 % for children, not causing these reasons of concern to consumers.

Keywords: cadmium, cocoa, almond, export, heavy metals.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTO.....	II
RESUMEN	III
SUMMARY.....	IIV
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I. MARCO METODOLÓGICO.....	3
1.1. Definición del tema caso de estudio.	3
1.2. Planteamiento del problema.....	3
1.3. Justificación.	4
1.4. Objetivos.	5
1.4.1. Objetivo general.	5
1.4.2. Objetivos específicos.....	5
1.5. Fundamentación teórica.....	5
1.5.1. El Cadmio en el suelo.	5
1.5.2. Biodisponibilidad del Cadmio a las plantas de cacao.	9
1.5.3. Efecto del Cadmio en las plantas de cacao.....	12
1.5.4. Niveles máximos permitidos de Cadmio en los derivados del cacao.....	13
1.5.5. Presencia de Cadmio en el cacao ecuatoriano.....	14
1.5.6. Incidencia del Cadmio en la salud humana.....	16
1.5.7. Proyectos de investigación en curso sobre Cadmio en el cultivo de cacao.....	17
1.6. Hipótesis.	20
1.7. Metodología de la investigación.....	20
CAPÍTULO II. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.	21
2.1. Desarrollo del caso.....	21
2.2. Situaciones detectadas.	21
2.3. Soluciones planteadas.....	22
2.4. Conclusiones.	22
2.5. Recomendaciones.	24
BIBLIOGRAFÍA	25

INTRODUCCIÓN

El cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) tiene gran importancia socioeconómica en América Latina y el Caribe (ALC) ya que es uno de los principales productos de exportación, sea como materia prima o elaborados. En la región, el cultivo de cacao posee una histórica trayectoria vinculada a millones de personas, muchos de ellos vinculados con la agricultura familiar (AF), por lo que es fuente de ingresos económicos y favorece en la redistribución de la riqueza de los países. Este cultivo constituye una alternativa para enfrentar los efectos del cambio climático y en la actualidad es clave para concretar procesos de paz, constituyéndose en varios países en una opción viable para sustituir cultivos ilícitos y otros cultivos menos rentables (Durango et al. 2019).

En cuanto a la composición nutricional del cacao, tras el tostado, aproximadamente la mitad de la semilla de cacao es grasa, el resto son proteínas, fibra e hidratos de carbono. Alrededor del 60% de esa grasa es saturada, por lo que es de los alimentos que mayor proporción de este tipo de grasa contienen. La cantidad de azúcar es muy baja, por lo que no es un alimento dulce, mientras que los taninos, polifenoles responsables del sabor áspero y amargo del cacao, suponen el 4 – 8%. Los componentes estimulantes, teobromina y cafeína rondan el 1,4% y más de 400 compuestos volátiles que se producen durante la fermentación y el tostado contribuyen al aroma y sabor característicos del cacao (Roperó 2010).

En América, el cacao se lo cultiva desde México hasta Brasil; este último es el más importante en hectáreas sembradas, ya que representa el 40% del total de la región. Los países que le siguen en cantidad de hectáreas sembradas son Ecuador (24%), Colombia (9%), República Dominicana (9%), Perú (6%) y Venezuela (4%) (Durango et al. 2019).

En Ecuador, en el año 2019, la superficie cosechada de cacao fue de 498 794 hectáreas, con una producción nacional de 313 284 toneladas y con un rendimiento promedio de 0,63 ton/ha. En cuanto a la participación en la producción nacional de almendra seca de cacao, Los Ríos aportó con el 24,61 %, Guayas 20,04 %, Manabí 18,65 %, Esmeraldas 10,54 %, Santo Domingo de los Tsáchilas 8,67 %, Zamora Chinchipe 0,08 % y el resto compartido entre otras provincias (MAG 2019).

El cadmio (Cd) es un metal pesado no esencial para las plantas, cuya presencia puede deberse al uso de fertilizantes fosfatados y como subproducto de la explotación de zinc y cobre; puede ser absorbido y acumulado en raíces, tallos, hojas, frutos y semillas; cuya concentración depende de la edad y especie. Afecta el crecimiento, la fotosíntesis y reduce las concentraciones de nitratos, generando desequilibrios en el metabolismo del cloroplasto y clorosis. En el cacao, el Cd se acumula en las semillas, tal como lo demuestran estudios realizados en Venezuela y Perú. La ingesta directa o indirecta (cereales, chocolates, gomas de mascar y confites) de Cd, produce daños al riñón, hígado, pulmón, páncreas, testículos y hueso ocasionando deficiencias renales, osteoporosis, hipertensión arterial, diabetes, enfisema pulmonar y algunos cánceres de próstata, pulmón, vejiga y páncreas (Llatance et al. 2018).

Las exportaciones de cacao ecuatoriano hacia mercados europeos, se ven amenazadas por indicios de contaminación de Cadmio (Cd) en niveles superiores a los permitidos por Normativas alimentarias de la Comunidad Europea. Se considera que las fuentes de contaminación de Cadmio provienen de forma natural, ya sea por las erupciones volcánicas, la mineralización del material parental u ocasionadas por el hombre, donde sobresale las explotaciones mineras, uso excesivo de fertilizantes a base de fósforo, quema de basuras urbanas, uso inadecuado de agroquímicos, gases provenientes de las industrias, quema de combustibles fósiles, contaminación por derivados del petróleo o al secar el cacao en carreteras (Mite et al. 2015).

CAPITULO I. MARCO METODOLÓGICO.

1.1. Definición del tema caso de estudio.

El presente trabajo práctico de modalidad del Examen Complexivo previo a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo es el siguiente:

“Presencia de cadmio (Cd) en el cacao (*Theobroma cacao* L.) de exportación”.

1.2. Planteamiento del problema.

Al ser el cacao una materia prima de consumo humano “lujoso”, las exigencias de calidad e inocuidad del grano son ahora más estrictas. En este sentido, las concentraciones de metales pesados (MPs) como el cadmio en el cacao se han convertido en tema de salud pública. A decir de varios expertos y medios especializados, Ecuador es poseedor de uno de los mejores cacaos finos de aroma del mundo, pero la ausencia de tecnificación poscosecha de este rubro podría poner en riesgo enormemente la calidad del mismo (Lara 2017).

El mismo autor manifiesta que se podría suponer que, altos contenidos de cadmio en cacao (niveles que superen las normas establecidas) pueden poner en riesgo el consumo de cacao ecuatoriano en el mundo, con graves consecuencias en la exportación debido a los altos estándares de calidad que rigen este mercado, debiendo recordar que este cultivo es uno de los principales rubros de exportación que tiene el Ecuador.

La presencia de metales en tejidos de cacao como Br, Cr, Cd, y Pb, que se pueden acumular en granos de cacao, principalmente en las partes comestibles (almendra), se ha convertido en un problema, pues esto conlleva a riesgos potenciales para la salud por ingestión de productos contaminados. También se ha informado que los granos de cacao tienen diferentes concentraciones de Cd dependiendo no sólo en la variedad sino también en el sitio geográfico. La producción cacaotera en el Ecuador ha conseguido mejora en parámetros como rendimiento y calidad sensorial, pero en los últimos años se ha puesto en riesgo la producción nacional sobre la alarmante noticia de presencia de cadmio (Cd), esto según varios autores podría deberse a suelos o afluentes contaminados, o a su vez

al manejo poscosecha, particularmente en los sistemas tradicionales de secado (Zambrano 2018).

1.3. Justificación.

Los metales pesados como el Cadmio se encuentran de manera natural en la corteza terrestre en forma de minerales, de donde pueden ser absorbidos por las plantas y tomadas de ellas por el ser humano, lo que constituye un riesgo potencial para la salud. Sobre el cadmio en los alimentos, se ha llegado a la conclusión de que la exposición alimentaria media al cadmio en los países europeos se acerca o supera ligeramente la ingesta semanal tolerable de 2,5 µg/kg de peso corporal. En algunos subgrupos de la población, la ingesta semanal tolerable llega casi a duplicarse. A pesar de que es poco probable que se produzcan efectos negativos sobre la función renal en un individuo expuesto a dicho nivel, es necesario reducir la exposición al cadmio en la población (Lara 2017).

Existe una gran preocupación en toda la cadena de comercio del cacao a nivel mundial; productores, exportadores, importadores y consumidores; debido a la presencia de Cadmio en las semillas del cacao y en su transmisión directa al chocolate de consumo humano; pues este metal pesado, se acumula en el organismo y es responsable de enfermedades por su carácter tóxico, acumulativo de alta permanencia y se moviliza a través del agua y aire. A lo largo de los años, este fruto se ha sometido a diferentes tipos de controles de calidad; el 16 de septiembre de 2013, la Unión Europea notificó al Comité de Medidas Sanitarias y Fitosanitarias de la Organización Mundial del Comercio (OMC) la Enmienda al Reglamento Europeo No. 1881/2006, en la cual se establecen niveles máximos (NM) de metales pesados como el cadmio para el Cacao, chocolate y productos derivados del cacao, el mismo que entró en vigor en enero de 2019, y otros países están elaborando reglamentos similares. (Wong 2017).

Dicho esto, se justifica la ejecución del siguiente trabajo, en el cual se hablará sobre la presencia de Cadmio en cacao, además de como este metal pesado incide en el chocolate y por ende en la salud humana.

1.4. Objetivos.

1.4.1. Objetivo general.

- Conocer las consecuencias de la presencia de cadmio (Cd) en el cacao (*Theobroma cacao* L.) de exportación.

1.4.2. Objetivos específicos.

- Mencionar los daños a la salud humana ocasionados por el consumo de cacao con presencia de Cadmio.
- Mencionar algunas investigaciones sobre la presencia de Cadmio en el cacao de exportación.

1.5. Fundamentación teórica.

1.5.1. El Cadmio en el suelo.

De acuerdo con (Wong 2017), se refiere a la presencia de Cadmio en el suelo de la siguiente manera:

“Actualmente conforme a criterio de calidad del suelo, Acuerdo Ministerial 097 – Anexo 2 de Norma de Calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados, del Ministerio del Ambiente del Ecuador, el valor normal es 0,5 mg/kg de cadmio”.

El Cd tiene un tiempo aproximado de permanencia de 900 años, desafortunadamente, el 90 % del Cd no se inmoviliza en el suelo. Una de las principales fuentes de Cd en el suelo, son los fertilizantes a base de fósforo (54%), por deposición aérea (41%) y por la incorporación de abono de origen animal con presencia de Cd. Los fertilizantes de fósforo, principalmente el superfosfato contiene altas concentraciones de metales pesados tales como Cd, Cu y Zn como impureza. La incorporación paulatina de éstos elementos aumentaría la concentración de en el suelo y su posterior ingreso a los tejidos de las plantas (Tierra et al. 2018).

1.5.1.1. Fuentes naturales de Cadmio en el suelo.

El cadmio se encuentra ampliamente distribuido en la corteza terrestre en una concentración media de 0,1 mg/kg. La abundancia de Cd en rocas sedimentarias e ígneas no excede de 0,3 mg/kg y las concentraciones son parecidas en depósitos arcillosos y en rocas metamórficas. Aunque los niveles altos de Cd en suelos se relacionan principalmente con la contaminación, pueden ser también de origen litológico; por ejemplo, existen hallazgos de cantidades anormalmente altas de cadmio en roca caliza de algunas zonas de Francia, originarias del Jurásico y el Cretácico. El cadmio es un constituyente muy habitual en casi todos los compuestos de zinc, que pueden llegar a contener un 0,1-0,3 % de cadmio. También puede encontrarse en minerales de plomo y cobre, si bien en este caso las concentraciones de cadmio son considerablemente más bajas. Uno de los depósitos de zinc más asociado al cadmio es la esfalerita o blenda de zinc (ZnS). Algunos minerales de baja importancia económica que contienen cadmio son el sulfuro de cadmio o greenockita (CdS), el óxido de cadmio (CdO) y el carbonato de cadmio u otavita (CdCO₃). Gran parte de la dispersión del cadmio al ambiente tiene como causa del desgaste y erosión de las rocas, y el posterior transporte de grandes cantidades del metal a los océanos, cuyo contenido de cadmio es de alrededor de 0,1 µg/kg. Sin embargo, la actividad volcánica (incluyendo el vulcanismo subterráneo) es considerada la mayor fuente natural de liberación de cadmio a la atmósfera (Gara 2016).

1.5.1.2. Fuentes antropogénicas de Cadmio en el suelo.

La actividad antropogénica puede aumentar la concentración de cadmio en los suelos agrícolas mediante la aplicación de fertilizantes de fosfato derivados de material sedimentario y agua de riego de áreas con altos niveles de cadmio. La minería y la fundición de minerales, la quema de combustibles fósiles, y otras actividades industriales también pueden conducir a la contaminación localizada con cadmio. Existen cuatro fuentes clave de contaminación antropogénica con cadmio: aplicación directa a suelos agrícolas, agua de riego y sedimentos fluviales, deposición atmosférica, reciclaje de cadmio dentro de sistemas de producción del cacao:

a) Aplicación directa a suelos agrícolas: lodos de aguas residuales (biosólidos), el compost, estiércol animal y fertilizante de fosfato son materiales directamente aplicados a los suelos pueden contener cadmio y contaminarlos. Los fertilizantes de fosfato son una de las fuentes más ubicuas de contaminación con cadmio en los suelos agrícolas de todo el mundo, ya que el cadmio a menudo ocurre en altas concentraciones en las rocas de fosfato de las que se produce el fertilizante. Las rocas de fosfato sedimentario pueden contener cadmio en concentraciones de 1 a 150 mg/kg (también se han registrado niveles de hasta 300 mg/kg) en comparación con fuentes volcánicas con 1 a 4 mg/kg. Cabe señalar que alrededor del 85 % del fosfato usado en los fertilizantes proviene de depósitos sedimentarios. La cantidad de cadmio que se aplica a una plantación de cacao mediante el uso de fertilizantes contaminados depende no solo de la concentración en la roca de origen, sino también del programa de fertilización que se está siguiendo. En Malasia Peninsular, se atribuyeron los niveles de cadmio en los suelos de cultivo de cacao (media de 0,11 mg/kg) y granos de cacao (media de 0,66 mg/kg) al uso de fertilizantes con fosfato debido a una correlación significativa entre el contenido de fósforo y cadmio del suelo. En ALC, algunos estudios también han indicado que los fertilizantes de fosfato son una posible fuente de cadmio en el suelo, pero la baja aplicación de fertilizantes en muchas áreas puede limitar el impacto de esta fuente en las plantaciones. Otras enmiendas de suelo también pueden contener altos niveles de cadmio: compuestos de zinc y piedra caliza, los cuales a menudo se fabrican a partir de subproductos de la minería u otras industrias.

b) Agua de riego y sedimentos fluviales: los ríos y arroyos que atraviesan áreas con altos niveles de cadmio pueden suministrar cadmio y otros metales pesados a las áreas agrícolas aguas abajo a través de aguas superficiales y subterráneas, o a través de sistemas de riego. El cadmio puede provenir de la meteorización de lecho de roca, pero las concentraciones pueden ser exacerbadas por la minería y la degradación de la tierra u otras operaciones. El agua no tiene que transportar altos niveles de cadmio para afectar los niveles del suelo: tanto las condiciones de agua salina como los ciclos de sequía-inundación pueden aumentar el de cadmio presente en el suelo. Investigaciones en plantaciones de cacao en ALC sugieren que el agua puede ser una fuente de contaminación de cadmio. Tres

estudios en Ecuador han llegado a conclusiones similares. Un estudio en colaboración entre la cooperativa francesa Ethiquable y el Centro de Investigación IRD encontró que las concentraciones más altas de cadmio en granos de cacao se encontraron en granjas que eran inundadas regularmente por el río (con concentraciones que alcanzaron los 4,3 mg/kg); el segundo estudio sugirió que los niveles elevados de cadmio en los ríos utilizados para el riego podrían ser la fuente de altos niveles de cadmio del suelo observados en 12 áreas de estudio; mientras que el tercer estudio mostró que las muestras de granos con la mayor concentración de cadmio (5,28 – 10,4 mg/kg) procedían de una granja en una región con minería artesanal. En Perú, se han registrado diferencias en las concentraciones de cadmio en muestras de suelo tomadas de suelos no inundados (< 0,008 mg/kg), inundados (0,043 mg/kg) y semi-inundados (0,11 mg/kg) en los que se retiene menos agua, pero por un período de tiempo más largo.

c) Deposición atmosférica: los procesos industriales son las principales fuentes de emisiones de cadmio a la atmósfera, esto incluye la minería y la fundición (principalmente de zinc), la producción de hierro y acero, las industrias de petróleo y gas, la incineración de desechos y la producción de cemento. El movimiento de cadmio emitido a la atmósfera depende del tamaño de partícula con niveles muy altos de contaminación con cadmio ocurriendo hasta 30 km desde la fuente, y la contaminación a través de aerosoles se extiende a distancias mucho mayores. El cadmio de la deposición atmosférica se concentra en la capa superior del suelo húmico, donde al parecer es fácilmente disponible para las plantas. No hay evidencia de que la contaminación atmosférica provoque un mayor contenido de cadmio en los granos de cacao, ya que las plantaciones normalmente no están ubicadas cerca de las zonas industriales. No se han encontrado diferencias en el contenido promedio de cadmio en granos con la distancia de una refinería de petróleo en Esmeraldas, o de llamas de gas en la región del Amazonas, y encontraron bajas concentraciones de cadmio en muestras de aerosol recolectadas en las granjas (por debajo del límite legislativo ecuatoriano de 0,5 ng/m³). Sin embargo, se han informado mayores concentraciones de cadmio en los granos de cacao de una granja cercana a la carretera Santo Domingo - Esmeraldas en comparación con las granjas más lejanas, lo que se atribuye a la contaminación, pero que no presentaron significancia estadística.

d) Reciclaje de cadmio dentro de sistemas de producción del cacao: cuando se reportan altas concentraciones de cadmio en los granos de cacao, las concentraciones también son altas o incluso más altas en las hojas y en las cáscaras de las mazorcas. Las hojas muertas y las cáscaras de mazorcas generalmente se dejan degradar en las plantaciones para reducir la pérdida de nutrientes y mejorar la materia orgánica del suelo. Todo el cadmio en estos tejidos se lixiviará a través del suelo o se reciclará dentro del sistema. La mayor concentración de cadmio en las capas superiores de los suelos en relación con los subsuelos puede deberse, al menos en parte, a la acumulación a lo largo de los años de cadmio de hojas y cáscaras, aunque no se descarta la posibilidad de contaminación de otras fuentes antropogénicas. En Colombia, se ha encontrado que la hojarasca de cacao tiene un mayor contenido de cadmio que los granos y hojas de cacao con un promedio de 85,5 mg/kg, lo cual implica un alto nivel de ciclos de cadmio (Meter et al. 2019).

1.5.2. Biodisponibilidad del Cadmio a las plantas de cacao.

a) Capacidad de intercambio catiónico: una mayor CIC implica una mayor capacidad de las superficies de partículas del suelo para retener los cationes, y puede llevar a una disminución de la biodisponibilidad del cadmio. A medida que disminuye la CIC, existe una mayor competencia entre los cationes y Cd^{2+} para los sitios de ligazón que dan como resultado la desorción de cadmio de las partículas del suelo a la solución del suelo. La CIC está influenciada por las propiedades del suelo, incluida la textura, el contenido y tipo de arcilla y la mineralogía, el pH, el contenido de óxidos e hidróxidos de hierro, aluminio y manganeso y el contenido de materia orgánica.

b) pH: El pH del suelo es uno de los parámetros más importantes que influyen en la especiación de cadmio, la movilidad, la solubilidad y, por lo tanto, su biodisponibilidad. A medida que el pH decrece, también lo hace el CIC del suelo. En los suelos alcalinos, el cadmio es menos biodisponible ya que tiende a ligarse fuertemente a las partículas del suelo. El aumento del pH del suelo de los suelos ácidos casi siempre conduce a una menor absorción de cadmio por las plantas. La mayoría de los estudios sobre el cacao encuentran correlaciones significativas y negativas entre el pH del suelo y el cadmio biodisponible. Sin embargo, el entorno

de pH en el suelo no es uniforme ya que las plantas exudan ácidos de sus raíces para mejorar la solubilidad de nutrientes y iones. Esto significa que incluso en suelos neutros o alcalinos, todavía puede ocurrir acumulación de cadmio en los tejidos de las plantas. Se ha encontrado que el cadmio es un problema importante en el cacao que se cultiva en suelos de pH casi neutro.

c) Materia orgánica: la cantidad de materia orgánica de los suelos tiene un papel preponderante en la biodisponibilidad del cadmio debido a su capacidad para adsorber el cadmio. La capacidad de la materia orgánica para unirse con el cadmio se debe a su alta CIC, y el incremento de la actividad microbológica, así como su capacidad quelante. El contenido de materia orgánica también puede reducir la biodisponibilidad de cadmio indirectamente al afectar otras propiedades del suelo, principalmente aumentando el pH del suelo. Sin embargo, las sustancias húmicas a veces forman complejos solubles con cadmio y aumentan su movilidad. Existen investigaciones que han informado de una disminución en cadmio biodisponible del suelo y de absorción de cadmio por las plantas utilizando diversas enmiendas de materia orgánica como biochar, gallinaza, estiércol de cerdo o ganado, compost, vermicompost, carbón activado o carbón.

d) Textura del suelo: el contenido de cadmio como su biodisponibilidad en los suelos debido a las diferentes capacidades de intercambio catiónico dependen mucho de la textura del suelo. Los suelos de textura fina (arcillas) generalmente tienen una mayor capacidad de adsorción que los suelos de textura más gruesa (arenas), mientras que el contenido total de cadmio y la biodisponibilidad parecen ser más altos en los suelos francos (una mezcla de arcilla, arena y limo) que en los suelos arenosos. Sin embargo, este patrón no siempre es claro, ya que la capacidad de adsorción de la arcilla depende de la estructura del mineral de arcilla dominante: los tipos de arcilla 2:1 tienen mayores capacidades de absorción que los tipos de arcilla 1:1. En los trópicos, las arcillas tienden a estar altamente meteorizadas y están dominadas por tipos de arcilla 1:1 con CIC correspondientemente más baja. Esta puede ser la razón de los resultados inconsistentes en los estudios correlativos en plantaciones de cacao en los que se han informado ser positivos, negativos y sin correlación entre el contenido de arcilla y la biodisponibilidad de cadmio, los cuales se han llevado a cabo en Ecuador, Honduras, Bolivia y Perú. Dados estos resultados conflictivos, el contenido de arcilla no parece ser un indicador confiable

de la biodisponibilidad de cadmio, sin embargo, puede desempeñar un papel importante en la biodisponibilidad de cadmio para las plantas de cacao.

e) Conductividad eléctrica: la conductividad eléctrica del suelo (CE) es una medida de su capacidad para conducir una corriente eléctrica. Una CE elevada significa un gran número de cationes (nutrientes) que se ubican en los sitios de intercambio catiónico del suelo, e indica un suelo fértil. Sin embargo, los suelos con una alta CE debido al exceso de iones de sodio y magnesio (o cloruro) pueden ser perjudiciales para la salud de las plantas, y también aumentar la biodisponibilidad de cadmio. Como la mayor parte del cacao se produce en un bioma de la selva tropical, podría ser poco probable que la CE del suelo sea alta. A pesar de esto, podría ser un problema en áreas que utilizan agua de riego salina o donde los ciclos naturales o de riego de inundaciones y sequías son comunes, ya que el Cl^- puede formar complejos con Cd^{2+} en la fracción intercambiable que está ligado a las partículas del suelo y ponerlos en solución. Es probable que esto sea más importante en suelos alcalinos.

f) Macro y micronutrientes: existe una compleja naturaleza del papel de la nutrición mineral en la reducción de la absorción de cadmio. Algunos iones pueden influir en la absorción de cadmio de forma directa mediante la competencia por los sitios de intercambio del suelo, y la quelación o complejación con compuestos de cadmio. Sin embargo, predecir el efecto no siempre es sencillo, ya que también depende del compuesto aplicado y del modo de aplicación que puede resultar en un cambio en el pH o la CIC y, por lo tanto, afectar la biodisponibilidad del cadmio. La aplicación de fertilizantes de fosfato no contaminados con cadmio o reduce la biodisponibilidad del cadmio al inmovilizar el cadmio en el suelo, o lo aumenta al reducir el pH del suelo. Hay estudios que han mostrado un efecto negativo del contenido de P del suelo en la concentración de cadmio biodisponible y un efecto negativo débil en la concentración de cadmio en las cáscaras de mazorcas; otras investigaciones encontraron que los niveles de cadmio del suelo se correlacionaban de manera significativa y positiva con el contenido de P en las hojas de cacao. Si hablamos del zinc, éste comparte propiedades químicas muy similares con el cadmio, y esto ha llevado a la conclusión de que una deficiencia relativa de zinc en el suelo puede llevar a una mayor absorción de cadmio, ya que compiten por las mismas membranas de transporte. También, se conoce que el sílice (SiO_2) reduce

la biodisponibilidad del cadmio del suelo, así como su absorción y movimiento dentro de las plantas. Una fuente muy usada como un filtro rentable y eficiente para el agua contaminada es la tierra de diatomeas o diatomita. Además, la diatomita se puede incorporar a los suelos para reducir la biodisponibilidad del cadmio del suelo.

g) Influencia de los microorganismos del suelo sobre el comportamiento del cadmio en los suelos: existen resultados positivos y negativos sobre el efecto de la vida microbiana del suelo (bacterias, levaduras y otros hongos, incluidos los hongos micorrízicos arbusculares) en la absorción de cadmio por las plantas. Es probable que esto se deba a la variedad de organismos en consideración y sus interacciones dentro de la comunidad del suelo. Las bacterias tolerantes a cadmio vienen de un amplio grupo filogenético que parece presentar diversos mecanismos para la inmovilización de cadmio en estudios in vitro y en experimentos de campo aumentado la bioprecipitación en Otavita o en formas secundarias de carbonato de cadmio que se solo forman debido al metabolismo microbiano. También se sabe que la actividad microbiana del suelo aumenta la disponibilidad de cadmio mediante la excreción de ácidos orgánicos y la subsiguiente solubilización de minerales que contienen cadmio. En varios estudios donde las plantas fueron inoculadas con micorrizas se ha visto que absorbían menos cadmio y/o eran más tolerantes a las altas concentraciones de cadmio en el suelo que las plantas sin micorrizas. Sin embargo, así como los hongos micorrízicos amplían la capacidad de las raíces para secuestrar los nutrientes del suelo, también se ha demostrado que benefician la absorción de cadmio por parte de las plantas. Hasta donde se conoce, las micorrizas no son muy buenas inmovilizando el cadmio (Meter et al. 2019).

1.5.3. Efecto del Cadmio en las plantas de cacao.

Aunque por muchos años se pensó que el cadmio, no tenía una función biológica, en los últimos tiempos se ha encontrado que el Cadmio desencadena una serie de reacciones metabólicas que promueven un gran número de cambios en las plantas, como lo es inducir la a diferentes tipos de expresión génica e incrementa la actividad de enzimas antioxidantes como por ejemplo las peroxidasas (III) y las súper oxido dismutasa (SOD) las cuales les ayudan a hacer frente al estrés oxidativo ocasionado por los radicales libres, ayudando a prolongar su vida. Sin

embargo, una acumulación de cadmio en exceso, conlleva a cambios morfológicos, estructurales, fisiológicos, bioquímicos y moleculares como lo son la desorganización de cloroplastos (alterando la tasa fotosintética), cambios en el número de granos en la almendra y deformación en el núcleo de las células de la raíz (Charrupi y Martínez 2017).

1.5.4. Niveles máximos permitidos de Cadmio en los derivados del cacao.

La contaminación de metales pesados en la dieta humana se ha convertido en un tema que genera preocupación en muchos países alrededor del mundo, pues su alta concentración podría causar problemas en la salud de los seres humanos. Las consecuencias de la contaminación que provoca el cadmio en el chocolate y productos derivados del cacao es un tema de interés que impacta a la economía de los países productores, sin embargo, la falta del establecimiento de un Nivel Máximo (NM) de cadmio para el chocolate y productos del cacao podría amenazar las exportaciones de algunos países (Zambrano 2018).

La FAO/OMS presenta datos estimados sobre la ingestión alimentaria de cadmio en muchos países de todo el mundo. En las estimaciones se utilizan métodos diferentes, que se indican en los documentos originales. Los niveles máximos de cadmio para cacao en polvo vendido al consumidor final o como ingredientes en cacao en polvo edulcorado vendido al consumidor final (para tomar), es de 1,5 ppm. Estas cifras, que documentan la declaración relativa al pequeño margen de seguridad entre la exposición derivada de una alimentación normal y la exposición que produce efectos nocivos, confirman el acierto de tomar medidas para reducir la exposición al cadmio derivada de la alimentación, no sólo para el consumidor medio sino también, con mayor razón, para quienes están especialmente expuestos a causa de la contaminación local o de determinados hábitos alimentarios (Niño 2015).

A partir del 2011, Ecuador, con una posición país consensuada, ha negociado enmiendas al Reglamento (CE) 1881/2006 de la Unión Europea relativa al contenido máximo de cadmio en productos alimenticios, para afectar lo menos posible al sector productivo y exportador de cacao y derivados. El borrador final que

se presentó en enero de 2013, recogió todas las observaciones planteadas por el país: 1) eliminación de la referencia a la relación entre suelos volcánicos y cadmio, 2) aplicación de la norma al chocolate y no al grano de cacao, 3) aplicación de control interno y no a nivel de frontera, 4) carga de prueba en manos del productor final, 5) límites máximos de 0,8 mg/kg para chocolates con más del 50 % de sólidos de cacao y de 0,3 mg/kg en concentraciones menores al 50 % de sólidos de cacao y 6) un periodo de transición de 5 años para la aplicación de la normativa. En 2014 se emite el Reglamento UE n.º 488/2014, que establece los límites máximos de cadmio para chocolates y otros derivados. De acuerdo con el plazo de transición de 5 años, se exigió su cumplimiento a partir del 1 de enero de 2019: (MAG 2019).

NIVELES MÁXIMOS DE CADMIO EN CHOCOLATES Y CACAO EN POLVO ESTABLECIDOS EN EL REGLAMENTO (UE) n. 488/2014	
Producto	Límite máximo de cadmio permitido mg/kg
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 % y 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: Reglamento (UE) n. 488/2014 de la comisión

1.5.5. Presencia de Cadmio en el cacao ecuatoriano.

El cadmio en el suelo puede tener origen natural o antrópico, pero independientemente de ello las plantas lo absorben y pueden acumularlo en distintas estructuras y propiedades. Esta situación se presenta en el cacao con acumulación importante en sus almendras y hojas. El cadmio en el fruto del cacao

se constituye de manera desigual, en el Ecuador se ha encontrado que la mayor cantidad de cadmio se acumula en el jugo y la pulpa (mucílago) del cacao. Este Cd puede moverse hacia la testa y la almendra del cacao y terminar finalmente en el chocolate. Estrategias sencillas tales como lavar la pulpa más grano antes del proceso de fermentación, puede eliminar cantidades importantes de contaminación sin afectar la calidad del grano (Cedeño 2020).

El cadmio por lo general es absorbido del suelo por las plantas y, en el caso del cacao, se concentra en las almendras o semillas, lo que provoca la afectación de la salud de los consumidores y se convierte en una limitante para la comercialización. Experimentos realizados por INIAP en Ecuador arrojan como resultado que la contaminación por cadmio se hace más evidente en los primeros 5 cm del suelo. La hojarasca en grandes cantidades es un factor que favorece la presencia o el aporte del metal en la capa superior. Se expone que en la época seca hay más concentración de cadmio en el suelo, con respecto a la época lluviosa, pero en la almendra la mayor cantidad de cadmio concentrado ocurre en la época lluviosa. También se ha encontrado en últimos estudios que la mayor cantidad de cadmio está en el mucílago, por lo que se deben tomar medidas en poscosecha. Se estima que el mucílago tiene 4 - 5 veces más cadmio que la testa y 5 - 7 veces más que la almendra (Arvelo et al. 2017).

En el 2000, la Comisión Reguladora de la UE propuso un valor límite de 0,8 mg/kg al contenido de Cd en el chocolate. Este valor significa un problema para algunos países productores de cacao de América Latina. Un análisis de muestras en laboratorio demostró que el cacao proveniente de varios países presenta una alta contaminación con metales pesados, en el caso del Ecuador se encontraron valores de 0,18 – 1,76 ppm de Cd. Investigaciones en nuestro país han reportado la presencia de Cd en niveles tóxicos en suelos cacaoteros y almendras de cacao con cantidades superiores a 1 mg/kg de Cd: en las provincias de El Oro, Guayas, Zamora, Los Ríos, Francisco de Orellana, Esmeraldas y la parte tropical de Pichincha. Además, se indicó como principales posibles fuentes de contaminación, la quema de fundas plásticas usadas en la agricultura, cercanía a las carreteras y uso de aguas provenientes de minas (Díaz et al. 2018).

En estudios realizados en nuestro país sobre la presencia de metales pesados, en las muestras de almendras de cacao, se encontró que el mayor promedio se registra en cacao sembrado en las provincias de El Oro, Santa Elena y Orellana con 1,35; 1,32 y 1,15 mg/kg de Cd. Mientras que, el menor promedio de 0,47 mg/kg de Cd, se encuentra en Morona Santiago. Las concentraciones máximas encontradas y que presentan valores mayores a los 2,0 mg/kg ocurren en seis provincias (Manabí, El Oro, Guayas, Napo, Orellana y Zamora Chinchipe). Las muestras han sobrepasado los valores críticos, pues hay fincas que tienen índices de contaminación elevados. Además, hasta el momento se ha encontrado un valor de 4,08 mg/kg de Cd en la almendra, que es el más elevado en la Provincia de El Oro. Le siguen Guayas y Manabí con 3,57 y 3,46 mg/kg, respectivamente. En cuanto a la provincia de Los Ríos se encuentra un promedio de 0,57 mg/kg, con un de mínimo 0,23 mg/kg y un máximo de 1,23 mg/kg (Mite et al. 2010).

1.5.6. Incidencia del Cadmio en la salud humana.

En el organismo, el Cd puede tener un tiempo de residencia por un periodo de 10 - 30 años, por lo que su excreción es lenta. Sin embargo, la exposición continua a este elemento causa efectos negativos a la salud de la persona, principalmente en los riñones. Estos órganos son los que acumulan mayor cantidad de Cd en el cuerpo humano. La intoxicación por cadmio en el organismo causa náuseas, vómito, edema pulmonar y principalmente deficiencia renal, cáncer de próstata. En países como Japón, la toxicidad por Cd produce osteomalacia. La ingesta máxima de Cd por día no debe sobrepasar de 0,0004 mg Cd/kg/día (Tierra et al. 2018).

La exposición de la población humana al cadmio (Cd) presente ya sea en aire, alimentos y agua puede producir efectos en órganos como los riñones, el hígado, los pulmones, sistema cardiovascular, inmunológico y reproductor. Los alimentos, son la fuente principal de exposición a Cadmio, en la población general que no fuma. En Estados Unidos, la media geométrica de la ingesta diaria de Cadmio en los alimentos está estimada en 18,9 µg/ día. En la mayoría de los países, la ingesta media diaria de cadmio en los alimentos está en el intervalo de 0,1–0,4 µg/kg de peso corporal. A la fecha la evidencia científica y técnica existente sobre

este asunto corresponde sobre todo a los estudios realizados por la EFSA (European Food Safety Authority) (INVIMA 2016).

En Japón a finales de los años 70 surgió el primer síntoma de la contaminación con cadmio ya que este pasó a formar parte de la cadena alimenticia, donde se acumuló en arroz provocando así una sintomatología Itai-itai, identificada por problemas renales graves y óseos, donde los alimentos se observaron contaminados con cadmio provenientes de una mina, estos contaminantes pueden estar de forma natural o por explotaciones de minas, quema de basuras, etc. El cadmio es retenido en riñones especialmente en células tubulares proximales ocasionando una difusión renal lo cual hace aumentar la excreción de proteínas en la orina otro caso puede llevar a un desequilibrio en el metabolismo de calcio con formación de cálculos renales también la desmineralización ósea, el cadmio es clasificado como una sustancia cancerígena. La ingesta de cadmio poblacional de productos que contengan cacao y derivados van entre 0,005 a 0,39 ug/kg de peso corporal al mes lo cual equivale a 0,02 – 1,6 % de tolerancia, para personas que consumen mayormente estos productos su porcentaje será considerado de 30 a 69% para adultos y 96% para niños no causando estos motivos de intranquilidad a los consumidores (Gonzalez 2016).

1.5.7. Proyectos de investigación en curso sobre Cadmio en el cultivo de cacao.

De acuerdo con (Meter et al. 2019), en la actualidad los proyectos sobre Cadmio en el cultivo de cacao que se encuentran en curso son los siguientes:

1.5.7.1. Regional – América Latina y el Caribe.

ID del proyecto	P01
Título del proyecto	Plataforma Multi Agencia de cacao para América Latina y el Caribe “Cacao 2030-2050”
Institución líder/ implementadora	Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) Escuela Politécnica del Litoral (ESPOL)
Expertos clave	Manuel Carrillo Centeno (INIAP) Eduardo Chávez (ESPOL) Ramón Espinel (ESPOL)

Socios	Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA) Costa Rica, Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IDIAF), Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) Perú, Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), Universidad Nacional de Costa Rica (UNA), CATIE (Costa Rica), CIAT (Colombia), CEFA (Italy), GIZ (Alemania), Rikolto (VECO), Fine Chocolate Industry Association (FCIA)
Fuentes de financiamiento	FONTAGRO
Alcance geográfico	América Latina y el Caribe
Estatus de propuesta	Aprobada
Fecha inicial	2019
Fecha final	2022
Enlaces	https://www.fontagro.org/micrositios/plataforma-multiagencia-de-cacao2030-2050/
Objetivo general	Desarrollar y transferir tecnología para la producción de cacao fino de aroma, con calidad y seguridad en América Latina y el Caribe, fortaleciendo las capacidades de los sistemas nacionales de I & D & I con un horizonte de impacto de 2030 y 2050. Los objetivos específicos del proyecto son: i) generar conocimiento y alternativas para el manejo del cadmio en el cacao, ii) establecer y estandarizar una metodología para medir el cadmio para generar mapas y técnicas para reducir los niveles de cadmio, iii) generar información socioeconómica del impacto de las regulaciones internacionales, y iv) difundir y transferir el conocimiento y las alternativas generadas por el proyecto.
Resultados previstos	<ul style="list-style-type: none"> • Genotipos del cacao con menos acumulación de cadmio. • Estudio del efecto de la omisión de nutrientes en la concentración de cadmio y la productividad del cultivo. • Propuesta para la edición de genes. • Metodología estandarizada para la determinación del cadmio en la región. • Informe que contiene mapas de cadmio de algunos países, y validación de estrategias para mitigar la absorción de cadmio. • Informe de efectos del secado y fermentación de cacao sobre el contenido de cadmio. • Documento de marco estratégico para la Plataforma de Cacao a largo plazo 2030-2050. • Análisis socioeconómico y de impacto de las regulaciones de la UE relativas a la concentración de cadmio. Análisis de la normativa vigente para la importación de fertilizantes en la región. • Memorias de talleres anuales. • Planes de formación para entrenadores, periodistas, y agricultores. • Repositorio virtual/plataforma con información sobre el cadmio en cacao.

ID del proyecto	P02
------------------------	-----

Título del proyecto	Fomentar innovaciones relevantes para el clima y bajo en cadmio para mejorar la resiliencia y la inclusividad de la cadena de cacao en Colombia, Ecuador y Peru (Clima-LoCa)
Institución líder/ implementadora	ALLIANCE BIOVERSITY-CIAT
Expertos clave	Mayesse Da Silva, Mirjam Pulleman, Andres Charry, Christian Bunn, Rachel Atkinson, Evert Thomas, Xavier Argout, Eduardo Chavez, Erik Smolders, Darwin Martinez, Rey Gastón Loor, Manuel Carrillo, Pathmanathan Umaharan, Laurence Maurice, Caren Rodriguez, Roxana Yockteng, Olivier Sounigo, Angela Castaño, Jaime Osorio, Andrea Montenegro y otros en cada uno de los países de implementación.
Socios	ALLIANCE BIOVERSITY-CIAT, CIRAD, AGROSAVIA, INIAP, ESPOL, WAGENINGEN UNIV., KU LEUVEN, CRC, IRD
Fuentes de financiamiento	Europe Aid (DeSIRA)
Alcance geográfico	Colombia, Ecuador, Perú
Estatus de propuesta	Contrato en proceso de finalización
Fecha inicial	Enero 2020 (planificada)
Fecha final	Diciembre 2023 (planificada)
Objetivo general	Clima-LoCa abordará importantes desafíos relacionados con la resiliencia, competitividad e inclusividad de los crecientes sectores del cacao en Colombia, Ecuador y Perú. Aquí, la resiliencia se refiere a la capacidad de los pequeños productores y otros actores de la cadena productiva para mitigar los impactos negativos de la nueva regulación de inocuidad de la UE sobre cadmio en cacao; y del cambio climático. Más específicamente, el objetivo de la Acción es apoyar el desarrollo, la implementación y el escalamiento de innovaciones relevantes para el clima y bajo en cadmio que se ajusten a los diversos contextos de la producción de pequeños cacaoteros.
Resultados previstos	<p>El objetivo se logrará en base a 4 productos que se desarrollan a través de 4 paquetes de trabajo (WPs) interdisciplinarios.</p> <ul style="list-style-type: none"> • WP1 desarrollará líneas de base y evaluaciones de impacto para el cadmio y el cambio climático, e informará políticas públicas teniendo en cuenta la variación edafoclimática, genética y socioeconómica dentro y entre los 3 países • WP2 proporcionará evaluaciones científicas en ensayos de investigación en múltiples sitios para identificar prácticas y genotipos que reduzcan la acumulación de cadmio en la almendra de cacao, considerando los efectos sobre la productividad, la salud del suelo, la relevancia para el clima y los costos-beneficios • WP3 piloteará prácticas agronómicas y genotipos de bajo absorción de cadmio en colaboración con asociaciones de agricultores, y desarrollará conjuntamente estrategias de mitigación y escalamiento en plataformas de multi-actores <p>WP4 fortalecerá la coordinación regional de la investigación y la capacidad científica (incl. capacidad de laboratorios).</p> <p>Todos los WP incluyen actividades importantes dedicadas a la difusión de los resultados del proyecto y desarrollarán herramientas para la toma de decisiones y materiales de capacitación, dirigidos a diversos usuarios.</p>

1.5.7.2. Perú.

ID del proyecto	P05
Título del proyecto	Plan de Acción Cacao Seguro USDA-FAS/MINAGRI
Institución líder/ implementadora	Instituto de Cultivos Tropicales-ICT / USDA-FAS – MINAGRI
Expertos clave	Harold Tarver (USDA-FAS), Benjamin Lownik (USDA-FAS), Enrique Arévalo-Gardini (ICT), Tommy Fairlie Canon (ICT/USDA-FAS)
Socios	USDA-FAS (Cacao Seguro Project), USAID, MINAGRI, SENASA, INIA
Fuentes de financiamiento	USAID, USDA-FAS
Alcance geográfico	Perú
Fecha inicial	2018
Fecha final	2021
Objetivo general	<p>Este proyecto busca estimular la intensificación de la investigación sobre el cadmio en el cacao en Perú a través de acciones (financiamiento de proyectos, etc.) tomadas por el gobierno peruano. Los Temas de Investigación Incluyen:</p> <ul style="list-style-type: none">• Ensayos de los enfoques más prometedores para mitigar la acumulación de cadmio• La respuesta concertada de Perú en el ámbito internacional, CODEX, UE, etc.,• Estándares de laboratorio y metodologías para analizar el contenido de cadmio• Alcance

1.6. Hipótesis.

H0: La presencia de cadmio en el cacao de exportación no es perjudicial.

H1: La presencia de cadmio en el cacao de exportación es perjudicial.

1.7. Metodología de la investigación.

Consistió en la investigación bibliográfica de diferentes bases teóricas y científicas manifestadas por varios autores (páginas web, material publicado, e-books, enciclopedias, periódicos, tesis, tesinas, papers, review, artículos y revistas) en referencia al tema de estudio, lo que permitió fundamentar los objetivos planteados.

CAPÍTULO II. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.

2.1. Desarrollo del caso.

El presente trabajo correspondió al componente práctico del examen de grado de carácter complejo, previo a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo, realizado mediante la investigación bibliográfica en diferentes sitios web, en base al tema de estudio “Presencia de cadmio (Cd) en el cacao (*Theobroma cacao* L.) de exportación”.

2.2. Situaciones detectadas.

En el suelo existe la presencia del metal pesado llamado cadmio; esto puede ser debido a fuentes naturales y fuentes antropogénicas.

Las condiciones del suelo juegan un papel muy importante cuando se trata de la biodisponibilidad de cadmio para las plantas de cacao.

En 2014 la Unión Europea emite el Reglamento UE n.º 488/2014, relativo al contenido máximo de cadmio en productos alimenticios, para afectar lo menos posible al sector productivo y exportador de cacao y derivados.

En Ecuador se han realizado diversas investigaciones que han mostrado cantidades excesivas de cadmio en suelos cacaoteros y en almendras de cacao.

El cadmio es un metal pesado que afecta en gran medida a la salud humana, principalmente a los riñones.

2.3. Soluciones planteadas.

Estrategias sencillas tales como lavar la pulpa más grano antes del proceso de fermentación, puede eliminar cantidades importantes de contaminación sin afectar la calidad del grano.

Los fertilizantes de fósforo contienen altas concentraciones de Cd, por lo que su incorporación al suelo debe realizarse en cantidades adecuadas.

El contenido de materia orgánica (tiene la capacidad para adsorber el cadmio) también puede reducir la biodisponibilidad de cadmio indirectamente al afectar otras propiedades del suelo, principalmente aumentando su pH, además, la utilización de diversas enmiendas de materia orgánica como biochar, gallinaza, estiércol de cerdo o ganado, compost, vermicompost, carbón activado o carbón, permiten una disminución en cadmio biodisponible del suelo y de absorción de cadmio por las plantas de cacao.

2.4. Conclusiones.

Actualmente conforme a criterio de calidad del suelo, Acuerdo Ministerial 097 – Anexo 2 de Norma de Calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados, del Ministerio del Ambiente del Ecuador, el valor normal es 0,5 mg/kg de cadmio.

Aunque el cadmio en el suelo se encuentra de diversas formas naturales (rocas sedimentarias e ígneas, depósitos arcillosos y en rocas metamórficas, constituyente muy habitual en casi todos los compuestos de zinc, puede encontrarse en minerales de plomo y cobre en concentraciones bajas, en forma de sulfuro de cadmio o greenockita (CdS), el óxido de cadmio (CdO) y el carbonato de cadmio u otavita (CdCO₃)), la actividad volcánica (incluyendo el vulcanismo subterráneo) es considerada la mayor fuente natural de liberación de cadmio a la atmósfera

Dentro de las principales fuentes antropogénicas de cadmio en el suelo, podemos decir que la aplicación directa a los suelos de fertilizantes de fosfato ocupa uno de los primeros lugares. Los fertilizantes de fosfato son una de las fuentes más

ubicuas de contaminación con cadmio en los suelos agrícolas de todo el mundo, ya que el cadmio a menudo ocurre en altas concentraciones en las rocas de fosfato de las que se produce el fertilizante.

La biodisponibilidad de cadmio a las plantas de cacao depende de varios factores: CIC, pH, materia orgánica, textura del suelo, conductividad eléctrica, macro y micronutrientes, influencia de los microorganismos del suelo sobre el comportamiento del cadmio en los suelos.

En 2014 se emite el Reglamento UE n.º 488/2014, que establece los límites máximos de cadmio para chocolates y otros derivados. De acuerdo con el plazo de transición de 5 años, se exigió su cumplimiento a partir del 1 de enero de 2019: chocolate con leche con un contenido de materia seca total de cacao <30 % (0,10 mg/kg), chocolate con un contenido de materia seca total de cacao <50 % y chocolate con leche con un contenido de materia seca total de cacao \geq 30 % (0,30 mg/kg), chocolate con un contenido de materia seca total de cacao \geq 50 % (0,80 mg/kg), cacao en polvo vendido al consumidor final o como ingrediente en cacao en polvo edulcorado vendido al consumidor final (chocolate para beber) (0,60 mg/kg).

Varias investigaciones realizadas en el Ecuador han encontrado que la mayor cantidad de cadmio se acumula en el jugo y la pulpa (mucílago) del cacao, el cual puede moverse hacia la testa y la almendra del cacao y terminar finalmente en el chocolate. También se ha estimado que el mucílago tiene 4 - 5 veces más cadmio que la testa y 5 - 7 veces más que la almendra. Investigaciones en nuestro país han reportado la presencia de Cd en niveles tóxicos en suelos cacaoteros y almendras de cacao con cantidades superiores a 1 mg/kg de Cd: en las provincias de El Oro, Guayas, Zamora, Los Ríos, Francisco de Orellana, Esmeraldas y la parte tropical de Pichincha. Hasta el momento se ha encontrado un valor de 4,08 mg/kg de Cd en la almendra, que es el más elevado en la Provincia de El Oro; le siguen Guayas y Manabí con 3,57 y 3,46 mg/kg, respectivamente. En cuanto a la provincia de Los Ríos se encuentra un promedio de 0,57 mg/kg, con un de mínimo 0,23 mg/kg y un máximo de 1,23 mg/kg.

En el organismo, el Cd puede tener un tiempo de residencia por un periodo de 10 - 30 años, por lo que su excreción es lenta. Sin embargo, la exposición

continúa a este elemento causa efectos negativos a la salud de la persona, principalmente en los riñones; estos órganos son los que acumulan mayor cantidad de Cd en el cuerpo humano. La ingesta de cadmio poblacional de productos que contengan cacao y derivados van entre 0,005 a 0,39 ug/kg de peso corporal al mes lo cual equivale a 0,02 – 1,6 % de tolerancia, para personas que consumen mayormente estos productos su porcentaje será considerado de 30 a 69% para adultos y 96% para niños no causando estos motivos de intranquilidad a los consumidores.

2.5. Recomendaciones.

De acuerdo a lo expuesto en el presente trabajo, se recomienda lo siguiente:

Realizar análisis de suelo en terrenos donde se pretende establecer plantaciones de cacao, con el objetivo de determinar la concentración de cadmio y decidir si es factible sembrar dicho cultivo.

Realizar análisis de suelo en plantaciones de cacao ya establecidas con el fin de determinar la concentración de cadmio, para en caso de ser necesario, implementar estrategias que disminuyan su biodisponibilidad a las plantas, como, por ejemplo, una adecuada fertilización en base a fósforo, así como también el uso de enmiendas orgánicas que permiten una disminución en cadmio biodisponible del suelo y de absorción de cadmio por las plantas de cacao.

BIBLIOGRAFÍA

Arvelo, M; González, D; Maroto, S; Delgado, T; Montoya, P. 2017. Manual Técnico del Cultivo de Cacao. Prácticas Latinoamericanas (en línea). San José - Costa Rica, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). 143 p. Consultado 6 mar. 2021. Disponible en <http://repositorio.iica.int/>.

Cedeño, W. 2020. REMOCIÓN DE CADMIO EN ALMENDRAS DE CACAO EN PROCESO POSCOSECHA CON AGENTES QUELANTES, MEDIOS ÁCIDOS, LAVADO Y PRESECADO (en línea). Calceta - Manabí, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. 56 p. Consultado 6 mar. 2021. Disponible en <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/1344>.

Charrupi, N; Martínez, D. 2017. Estudio ambiental del cadmio y su relación con suelos destinados al cultivo de cacao en los departamentos de Arauca y Nariño (en línea). Bogotá - Colombia, Universidad de La Salle - Ciencia Unisalle. 132 p. Consultado 6 mar. 2021. Disponible en https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1717&context=ing_ambiental_sanitaria.

Díaz, L; Mendoza, E; Bravo, M; Domínguez, N. 2018. Determinación de Cadmio y Plomo en almendras de cacao (*Theobroma cacao*), proveniente de fincas de productores orgánicos del cantón Vinces. Espirales Revista Multidisciplinaria de investigación 2(15):16. DOI: <https://doi.org/10.31876/re.v2i15.213>.

Durango, W; Caicedo, M; Vera, D; Sotomayor, I; Saini, E; Chávez, E. 2019. La Cadena de Valor del cacao en América Latina y El Caribe (en línea). s.l., INIAP, FONTAGRO, ESPOL. Consultado 6 feb. 2021. Disponible en <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5382>.

Gara, S. 2016. ECOTOXICOLOGÍA DEL CADMIO. RIESGO PARA LA SALUD DE LA UTILIZACIÓN DE SUELOS RICOS EN CADMIO (en línea). Madrid - España, Universidad Complutense. 23 p. Consultado 5 mar. 2021. Disponible en <http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/GARA%20SANCHEZ%20BARRON.pdf>.

Gonzalez, C. 2016. EVALUACION DE LA CONCENTRACION MINIMA ACEPTABLE E IDENTIFICACIÓN DE METALES PESADOS PRESENTES EN EL GRANO DE CACAO DEL ECUADOR (en línea). Machala - Ecuador, Universidad Técnica de Machala. 22 p. Consultado 6 mar. 2021. Disponible en <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/7789/1/Gonzalez.pdf>.

INVIMA. (2016). PROGRAMA NACIONAL DE VIGILANCIA Y CONTROL DE CADMIO EN PRODUCTOS DERIVADOS DEL CACAO (LICOR DE CACAO, CHOCOLATE DE MESA, COCOA EN POLVO Y CHOCOLATINA DE LECHE) (en línea). Bogotá - Colombia, Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos. 22 p. Consultado 6 mar. 2021. Disponible en <https://www.invima.gov.co/documents/20143/441038/Documento-tecnico-Cadmio-en-cacao.pdf/36200805-c21d-c444-ee08-47a0f6c8c230>.

Lara, V. 2017. EVALUACION DEL CONTENIDO DE CADMIO EN DOS VARIETADES DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) CONSIDERANDO DISTINTOS METODOS DE SECADO EN LA LOCALIDAD DE LUZ DE AMERICA (en línea). Santo Domingo - Ecuador, Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE. 61 p. Consultado 5 mar. 2021. Disponible en <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/12962/1/T-ESPE-002802.pdf>.

Llatance, W; Gonza, C; Guzmán, W; Pariente, E. 2018. Bioacumulación de cadmio en el cacao (*Theobroma cacao*) en la Comunidad Nativa de Pakun, Perú. *Revista Forestal del Perú* 33(1):63. DOI: <http://dx.doi.org/10.21704/rfp.v33i1.1156>.

MAG. (2019). AGENDA ESTRATÉGICA NACIONAL - Medidas integrales para la prevención y mitigación de la presencia elevada de cadmio en la cadena de cacao (en línea). Quito - Ecuador, Ministerio de Agricultura y Ganadería. 50 p. Consultado 6 mar. 2021. Disponible en http://cefaecuador.org/wp-content/uploads/2021/02/1_AGENDA-CADMIO-ECUADOR.pdf.

_____. 2019. Ficha del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) (en línea, sitio web). Consultado 6 feb. 2021. Disponible en <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/cacao>.

Meter, A; Atkinson, R; Laliberte, B. 2019. Cadmio en el cacao de América Latina y el Caribe - Análisis de la investigación y soluciones potenciales para la mitigación (en línea). Roma, Bioversity International. 84 p. Consultado 5 mar. 2021. Disponible en https://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1505/Cadmio_en_el_cacao_de_America_Latina_y_el_Caribe.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Mite, F; Albán, L; Cargua, J; Carrillo, M. 2015. Análisis de la Problemática de Cadmio en el cultivo de cacao del Ecuador (en línea). Ecuador, Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Consultado 6 feb. 2021. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/304346536_Analisis_de_la_Problematica_de_Cadmio_en_el_cultivo_de_cacao_del_Ecuador.

Mite, F; Carrillo, M; Durango, W. 2010. AVANCES DEL MONITOREO DE PRESENCIA DE CADMIO EN ALMENDRAS DE CACAO, SUELOS Y AGUAS EN ECUADOR. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Estación Experimental Tropical Pichilingue. Departamento Nacional de Manejo de Suelos y Aguas :22.

Niño, I. 2015. CUANTIFICACIÓN DE CADMIO EN CACAO PROVENIENTE DEL OCCIDENTE DE BOYACÁ POR LA TÉCNICA ANALÍTICA DE VOLTAMPEROMETRÍA (en línea). Tunja - Colombia, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. 77 p. Consultado 6 mar. 2021. Disponible en <https://repositorio.uptc.edu.co/jspui/bitstream/001/1425/2/TGT-174.pdf>.

Ropero, A. 2010. Cacao y Chocolate (en línea). s.l., Universitas Miguel Hernández y Badali. Consultado 6 feb. 2021. Disponible en <http://badali.umh.es/assets/documentos/pdf/artic/cacao.pdf>.

Tierra, W; Otero, L; Ruales, J; Maldonado, P. 2018. Cadmio y arsénico en chocolate y arroz de Quito, Guayaquil y Cuenca – Ecuador (en línea). Bionatura 01(Bionatura Conference Serie). DOI: <https://doi.org/10.21931/RB/CS/2018.01.01.12>.

Wong, A. 2017. “DETERMINACIÓN DE CADMIO (Cd) EN SUELO DE CULTIVO PARA CACAO CCN- 51 MEDIANTE ANÁLISIS DE ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA”. (en línea). Guayaquil - Ecuador, Universidad de Guayaquil. 64 p. Consultado 5 mar. 2021. Disponible en <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/23213/1/ANDRES-WONG-TESIS-FINAL.pdf>.

Zambrano, D. (2018). “Estudio del contenido en cadmio de cacao (Theobroma cacao L) ecuatoriano y su incidencia en el consumo humano”. (en línea). España, Universidad de Córdoba. Consultado 5 mar. 2021. Disponible en <http://hdl.handle.net/10396/20041>.

