



Evaluación de Cadmio en fruto y palmito de *Bactris gasipaes* Kunth en unidades productivas del municipio de Villagarzón Putumayo

Haiter Yasmani Villavicencio García

**Instituto Tecnológico del Putumayo
Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas
Ingeniería Ambiental
Mocoa, Putumayo
2025**

Evaluación de Cadmio en fruto y palmito de *Bactris gasipaes* Kunth en unidades productivas del municipio de Villagarzón Putumayo

Haiter Yasmani Villavicencio García

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de: Ingeniero Ambiental

Director de tesis:

Juan Fernando Revelo Enríquez

Línea de investigación

Transformación del territorio y desarrollo regional sostenible

Grupo de investigación

Grupo de investigación en Recursos Naturales Amazónicos (GRAM)

Instituto Tecnológico del Putumayo

Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas

Ingeniería Ambiental

Mocoa, Putumayo

2025

Juan Fernando Revelo Enríquez

Director de tesis

Miller Obando Rojas

Jurado

Dedicatoria

Dedico esta tesis a los profesionales y defensores del medio ambiente que trabajan incansablemente por un futuro sostenible. Su compromiso y dedicación son una fuente de inspiración y un recordatorio de la importancia de preservar nuestro planeta para las generaciones futuras. Espero que este trabajo contribuya al avance del conocimiento en el campo de la ingeniería ambiental y a la promoción de prácticas sostenibles.

Agradecimientos

Deseo expresar mi más profundo agradecimiento en primer lugar, a mi familia, en especial mi madre María Irene Rozo de Rojas, a mi hermano Edinson Alexander Diaz García y su esposa Angie Daniela Diaz Peña y sin duda a mi compañera de vida Alicia Brisbany Diaz Peña, por su continuo apoyo y confianza en mis capacidades. Su aliento y motivación han sido pilares en mi formación personal y profesional.

Agradezco a la institución por generar el espacio para que los jóvenes del departamento del Putumayo puedan formarse en la región y no abandonar su ámbito social y familiar con el objetivo de obtener un título profesional.

De la misma manera es de vital importancia resaltar el compromiso, responsabilidad y rigor científico demostrado por el Mg. Miller Obando Rojas en su acompañamiento como evaluador.

Finalmente, reconozco a todas las instituciones y personas que facilitaron la recolección de datos y la realización de este estudio. Su colaboración ha sido crucial para la culminación de este trabajo.

Resumen

El cadmio es un metal pesado considerado de suma importancia en los procesos de vigilancia, monitoreo y control de contaminantes ya que representa un riesgo para la salud humana, vegetal, animal y ecosistémica. Esta investigación tiene como objetivo evaluar la concentración de cadmio en fruto y palmito de *Bactris gasipaes* Kunth, de esta manera se contribuye con la seguridad alimentaria y salud pública. Se muestrearon dos unidades productivas en el Municipio de Villagarzón, Putumayo pertenecientes a las Veredas San Vicente del Palmar y Simón Bolívar, el análisis de las muestras se realizó con un Espectrómetro de masas de plasma acoplado inductivamente en el laboratorio de química analítica de la Corporación Colombiana de investigación agropecuaria (AGROSAVIA). Se encontró concentraciones de cadmio (0,04 y 0,08 mg/kg) en fruto y palmito, sin embargo, dichas concentraciones fueron inferiores a las permitidas establecidos según la Resolución 4506 del 2013 y el reglamento 488 del 2014 de la comisión europea por lo que respecta al contenido máximo de cadmio en los productos alimenticios. De igual modo, se resalta el hecho de que la aplicación de fertilizantes fosfatados genera altas concentraciones de cadmio así como la presencia de metales pesados que generan alteraciones en los procesos fisiológicos y bioacumulación en unidades productivas.

Palabras clave: *Bactris gasipaes*, fertilizantes, cadmio, salud, bioacumulación.

Abstract

Cadmium is a heavy metal considered extremely important in the processes of surveillance, monitoring, and control of pollutants, as it poses a risk to human, plant, animal, and ecosystem health. This research aims to evaluate the concentration of cadmium in the fruit and heart of palm of *Bactris gasipaes* Kunth, thus contributing to food security and public health. Two production units were sampled in the municipality of Villagarzón, Putumayo, belonging to the neighborhoods of San Vicente del Palmar and Simón Bolívar. The analysis of the samples was conducted using an inductively coupled plasma mass spectrometer in the analytical chemistry laboratory of the Colombian Corporation for Agricultural Research (AGROSAVIA). Cadmium concentrations (0.04 and 0.08 mg/kg) were found in the fruit and heart of palm; however, these concentrations were below the limits established by Resolution 4506 of 2013 and Regulation 488 of 2014 of the European Commission regarding the maximum cadmium content in food products. Similarly, it is noteworthy that the application of phosphate fertilizers generates high concentrations of cadmium as well as the presence of heavy metals that cause alterations in physiological processes and bioaccumulation in production units.

Keywords: *Bactris gasipaes*, fertilizers, cadmium, health, bioaccumulation.

Tabla de contenido

Introducción	11
Justificación	13
Objetivos	15
Objetivo General	15
Objetivos Específicos	15
Marco referencial.....	16
Marco teórico	16
Incidencia ecosistémica.....	18
<i>Movilidad y acumulación en el suelo</i>	<i>18</i>
<i>Impacto en organismos acuáticos</i>	<i>18</i>
<i>Efectos en la vegetación.....</i>	<i>18</i>
<i>Disrupción en la fauna terrestre</i>	<i>19</i>
Marco conceptual.....	19
<i>Generalidades del chontaduro.....</i>	<i>19</i>
Palmas.	19
<i>Bactris gasipaes</i> Kunth y su morfología.	19
Reproducción.....	20
Clasificación taxonómica.....	21
Distribución geográfica.	21
<i>Fundamentos sobre los metales pesados.....</i>	<i>22</i>
Biodisponibilidad de metales pesados.	22
Absorción atómica.	23

Cadmio.....	23
Uso del cadmio en la industria.....	23
Incidencia en la salud humana.....	24
Incidencia del cadmio en la cadena trófica.....	26
<i>Inocuidad alimentaria.....</i>	<i>26</i>
Marco legal	27
Marco contextual	29
<i>Clima.....</i>	<i>30</i>
<i>Geografía.....</i>	<i>31</i>
<i>Economía.....</i>	<i>31</i>
Metodología	32
Métodos y alcance de la investigación	32
<i>Tipo de investigación</i>	<i>32</i>
<i>Población.....</i>	<i>32</i>
<i>Análisis de cadmio en fruto</i>	<i>34</i>
<i>Análisis de cadmio en palmito.....</i>	<i>35</i>
<i>Comparación de resultados con normatividad nacional e internacional.....</i>	<i>36</i>
Resultados.....	37
Discusión	39
Conclusiones	40
Recomendaciones	41
Referencias Bibliográficas.....	42
Apéndices.....	55

Lista de Tablas

Tabla 1. Clasificación taxonómica del chontaduro (<i>Bactris gasipaes</i> Kunth)	21
Tabla 2. Normatividad legal.....	27

Lista de Figuras

Figura 1 Distribución de estudios en Colombia. A) estudios por departamento. B) estudios de plomo Pb. C) estudios de mercurio Hg. D) estudios de cadmio Cd.	17
Figura 2 Zonas geográficas generales.....	31
Figura 3 Unidades productivas para evaluación de cadmio en el Municipio de Villagarzón Putumayo	33
Figura 4 Concentración de Cadmio según tipo de fertilización y órgano de la planta ...	37
Figura 5 Contenido de cadmio en sistemas productivos.....	38

Introducción

Las elevadas concentraciones de cadmio en las plantas, originadas por fenómenos naturales como la bioacumulación, constituyen un peligro tanto para la salud humana como para los ecosistemas. Diversos estudios científicos han documentado los efectos negativos de su ingesta en los seres humanos, incluyendo daños al sistema nervioso central, circulatorio, digestivo, urinario, respiratorio, óseo y quimiosensorial (Pérez y Azcona, 2012; Martínez et al., 2012). Por otro lado, Hernández et al. (2019) señala que, en los organismos vegetales, este metal tóxico provoca una reducción en el crecimiento, disminuye la capacidad fotosintética, interfiere con la transpiración y afecta la cantidad de clorofila. Adicionalmente, se ha registrado que el cadmio genera clorosis, estrés oxidativo, desequilibrios nutricionales y altera la actividad de enzimas relacionadas con el metabolismo de los ácidos orgánicos y el ciclo de Krebs (Hernández et al., 2019).

La investigación científica sobre la familia Arecaceae es limitada, y aunque los estudios realizados en las especies evaluadas han mostrado resultados dentro de los límites permitidos por la normativa internacional, es importante destacar que dichas investigaciones se han llevado a cabo en áreas libres de cultivos ilícitos, como la coca, y donde no se han aplicado aspersiones aéreas con glifosato. Además, ninguno de estos estudios se ha centrado específicamente en las plantaciones de chontaduro, lo que pone de manifiesto una importante carencia en cuanto al monitoreo, control y evaluación de la calidad de estos productos destinados al consumo humano. Este vacío resalta la necesidad de ampliar las investigaciones para garantizar la seguridad y sostenibilidad de este recurso.

El Departamento del Putumayo tiene una producción significativa de cultivos de coca, como lo evidencia el monitoreo realizado por el Observatorio de Drogas de Colombia, que indica

que la región contribuyó con 50.342,69 hectáreas en el año 2023. En este periodo, el municipio de Villagarzón representó el 4,6 % de la producción total del departamento, con un área cultivada de 2.312,09 hectáreas (Observatorio de Drogas de Colombia, 2023). Estas cifras han suscitado una creciente preocupación entre las autoridades territoriales, quienes han implementado diversas estrategias de control con el objetivo de reducir y erradicar la presencia de cultivos de coca. Entre las alternativas se ha destacado la búsqueda de la conversión de cultivos ilícitos a lícitos mediante la implementación de programas de financiamiento. En años anteriores, se optó por abordar esta problemática a través de la aspersión aérea y la erradicación manual (Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito [UNODC] 2016). Los aspectos mencionados ponen de manifiesto el uso de agroquímicos en la región, lo que puede facilitar la aparición de fenómenos naturales como la bioacumulación, biomagnificación y translocación de metales pesados, como el cadmio, en las unidades productivas establecidas posteriormente a la presencia de cultivos de coca.

En los últimos años, la producción de chontaduro ha mostrado un crecimiento significativo, impulsado por sus diversas propiedades nutricionales, que incluyen calcio, fósforo, y vitaminas A, B1 y B2, así como hierro y ácidos grasos (Restrepo y Estupiñán, 2007; Montealegre, Y. 2020). Este fruto se ha convertido en una fuente relevante para la elaboración de productos derivados, tales como harina, conservas, enlatados, galletas, concentrados para porcinos y aves de corral, chontaduro en salmuera, mermelada, chontaduro en almíbar, galletas con crema de chontaduro, chips, jugo y palmitos (Escobar, 2015; Riasco, 2018; Granados, 2021).

En Colombia, las unidades productivas de *Bactris gasipaes* Kunth generan aproximadamente 49.000 toneladas anuales, con una estimación de 12.000 hectáreas sembradas en todo el territorio nacional (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR], 2021). Esta creciente demanda se distribuye principalmente en departamentos como Nariño, Valle del Cauca,

Cauca, Putumayo y Chocó. La presente investigación se desarrolló en el Departamento del Putumayo, dado que las plantaciones de *Bactris gasipaes* Kunth son fundamentales para la economía regional. Según la red de información y comunicación del sector agropecuario colombiano, el Putumayo produjo 13.033,50 toneladas en 2023, con un área sembrada de 2.775,50 hectáreas; específicamente, el municipio de Villagarzón aportó 6.017 toneladas, cultivadas en 1.234 hectáreas (Agronet, 2024). De este modo, el chontaduro contribuye de manera significativa al Producto Interno Bruto nacional, que se estima en un 7,1 % para el sector de agricultura, ganadería, caza y silvicultura (Departamento administrativo nacional de estadística [DANE], 2025).

Justificación

La producción científica enfocada en las concentraciones de cadmio en unidades productivas a nivel nacional presenta una notable limitación. Los estudios más relevantes, en términos de volumen y alcance, se concentran en las regiones centrales del país, según el análisis de diversas fuentes de divulgación científica. En este contexto, el departamento del Putumayo destaca por la escasez de investigaciones orientadas a evaluar su producción agrícola desde la perspectiva de la inocuidad alimentaria. Esta situación pone de manifiesto la necesidad de impulsar proyectos que promuevan el monitoreo y control de metales pesados en las unidades productivas de la región, con el fin de garantizar estándares de seguridad alimentaria y fomentar un desarrollo productivo sostenible (Mahecha et al., 2017)

La inocuidad alimentaria representa un desafío global que obliga a las entidades de control a establecer regulaciones y normativas en la producción de alimentos destinados al consumo humano. En este contexto, en 2015, la Asamblea de las Naciones Unidas integró la

salud y el bienestar como uno de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) en la agenda 2030 (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2018). Es fundamental destacar que este proyecto contribuye al control de la contaminación por metales pesados en las unidades productivas, persiguiendo dos objetivos primordiales: la protección de la salud de los consumidores y la validación del cumplimiento normativo para fines de exportación.

La actividad exportadora impulsa el desarrollo interno del país mediante el aumento en la demanda de productos, lo que se traduce en mayores ingresos, reducción del desempleo, estimulación de la producción nacional y disminución de la dependencia interna. Sin embargo, persiste una falta de normativas legales, tanto a nivel nacional como internacional, que regulen *Bactris gasipaes* Kunth y sus productos derivados en relación con la concentración de metales pesados. Esta situación representa una deficiencia en el marco normativo que rige la protección de la salud pública. Por lo tanto, se presenta un análisis del estado de dos unidades productivas de chontaduro, con la expectativa de que se implemente un acto legislativo a nivel nacional que permita evaluar el desempeño en el manejo fitosanitario de los cultivos. Asimismo, es recomendable que el gobierno nacional realice una autoevaluación respecto a las estrategias implementadas, como la aspersión aérea para la erradicación de cultivos ilícitos, con el fin de contrastar el costo-beneficio de dichas acciones y, en última instancia, garantizar la seguridad y confianza de los consumidores.

La relevancia de esta contribución científica radica en el fortalecimiento de la producción de conocimientos sobre la evaluación de la concentración de cadmio en productos destinados al consumo. Además, se busca potenciar la cadena de producción del chontaduro en el municipio de Villagarzón, dado que la evaluación in situ de cadmio permitirá determinar la calidad y la

inocuidad del fruto y del palmito. Finalmente, se pretende generar insumos valiosos para los procesos de exportación en un contexto donde la demanda es inferior a la producción.

Objetivos

Objetivo General

Evaluar la concentración de Cadmio en fruto y palmito de *Bactris gasipaes* Kunt en unidades productivas del Municipio de Villagarzón, Putumayo

Objetivos Específicos

Cuantificar las concentraciones de cadmio en fruto y palmito de *Bactris gasipaes* Kunth en unidades productivas del municipio de Villagarzón departamento del Putumayo.

Establecer la relación entre la aplicación de fertilizantes químicos y orgánicos y las concentraciones de cadmio en las unidades productivas del municipio de Villagarzón, en el departamento del Putumayo.

Analizar las concentraciones de cadmio en fruto y palmito de *Bactris gasipaes* Kunth con los límites establecidos por normatividad nacional e internacional en unidades productivas del municipio de Villagarzón, departamento del Putumayo.

Marco referencial

Marco teórico

Colombia cuenta con una gran diversidad de frutas tropicales las cuales se han venido posicionando en los mercados internacionales entre ellas las Arecaceae para que la producción de estos cultivos responda al aumento de la demanda nacional y de exportación, se aplican plaguicidas para el control de plagas y enfermedades. El uso inadecuado de estos agroquímicos puede implicar riesgos de salud pública, contaminación ambiental e inferir en el comercio (Rodríguez & Rodríguez, 2020).

Los metales pesados resultan tóxicos si superan ciertas concentraciones fisiológicas, ocasionando daño oxidativo a la planta por la sobreproducción de especies de oxígeno reactivo (ROS). Las principales ROS son el anión superóxido (O_2^-), el radical hidroxilo (OH.) y el peróxido de hidrógeno (H_2O_2). Las plantas poseen sistemas enzimáticos de defensa frente a las ROS tales como la superóxido dismutasa (SOD), la catalasa (CAT), las enzimas del ciclo ascorbato-glutación y las deshidrogenasas dependientes de NADP (Carvajal, 2019), de igual manera se ha observado que en suelos contaminados y con pH ácidos, las producciones de cultivos disminuyen debido a que los metales pesados presentan mayor solubilidad, mayor concentración y por consiguiente mayor biodisponibilidad para las plantas, siendo que a mayores valores de pH (alrededor de la naturalidad) la producción de los cultivos aumenta, como consecuencia de una baja solubilidad, menores concentraciones, y, por tanto, menor toxicidad.

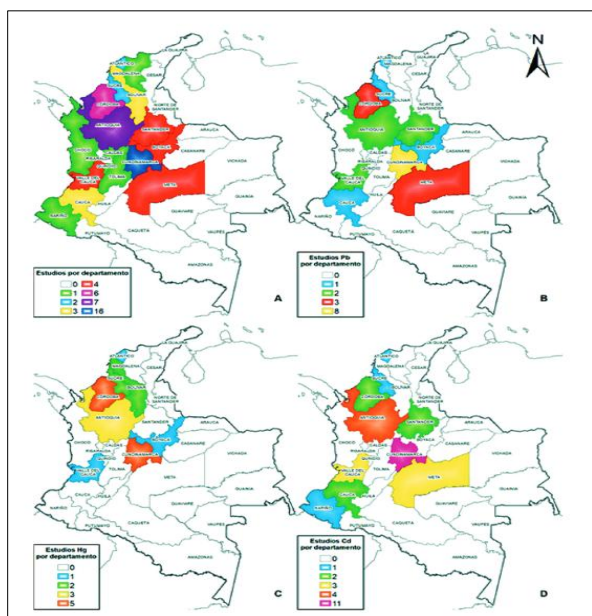
El cadmio es un contaminante que mayormente se asocia al suelo, con origen natural cuando proviene de material parental o antrópico cuando la fuente son actividades desarrolladas por el hombre.

Según Kabata-Pendias (2004) y Ceccon, 2008, en los últimos 100 años las concentraciones de este compuesto metálico han aumentado debido a las actividades antrópicas, donde se destaca la agricultura como una fuente no puntual. Asimismo, Alloway 2013 menciona que en el aumento de las concentraciones tienen participación fuentes naturales. Todo esto representaría un riesgo de salud pública, principalmente en los países en vías de desarrollo (Mahecha Pulido et al., 2017).

En la figura 1 sección d, se encuentran los estudios relacionados con el cadmio, elemento que se analiza en el 88% de los estudios recopilados, una las principales fuentes es el uso persistente de fertilizantes fosforados, además del asocio de este elemento con aguas contaminadas usadas para riego, en el caso del departamento de Cundinamarca, sin embargo, ninguno de ellos se realizó en Putumayo y mucho menos en *Bactris gasipaes* Kunth. (Mahecha et al., 2017).

Figura 1

Distribución de estudios en Colombia. A) estudios por departamento. B) estudios de plomo Pb. C) estudios



Fuente: Mahecha et al., 2017

Incidencia ecosistémica

La afectación de los ecosistemas por parte del Cadmio esta correlacionada directamente con varios factores que determinan el nivel de riesgo es, por ello, que se puede describir de una forma más detallada de la siguiente manera:

Movilidad y acumulación en el suelo

El cadmio tiene una alta capacidad de movilización en suelos ácidos y con bajo contenido de materia orgánica (Marchive, et al., 2021). Puede ser absorbido por las raíces de las plantas e integrarse en la cadena trófica, afectando no solo a organismos primarios sino también a consumidores secundarios y terciarios. Además, se une fuertemente a partículas finas, lo que facilita su transporte por agua y aire, aumentando su alcance geográfico (Galvis, 2021).

Impacto en organismos acuáticos

En los cuerpos de agua, el cadmio puede bioacumularse en organismos como peces, moluscos y crustáceos, afectando su metabolismo y capacidad reproductiva. Este metal pesado interfiere en la regulación de iones esenciales, como calcio y magnesio, provocando toxicidad y disminuyendo la biodiversidad. La bioacumulación también representa un riesgo para depredadores acuáticos y aves que consumen estos organismos, ampliando su impacto (Bertolotti & Moccetti, 2018).

Efectos en la vegetación

El cadmio es tóxico para la mayoría de las plantas, ya que inhibe procesos esenciales como la fotosíntesis y la absorción de nutrientes. Puede sustituir elementos esenciales como el

zinc en enzimas clave, alterando su función y generando estrés oxidativo. En cultivos agrícolas, estas afectaciones reducen los rendimientos y, en algunos casos, contaminan los productos destinados al consumo humano (Sánchez et al., 2021).

Disrupción en la fauna terrestre

En animales terrestres, la exposición al cadmio puede producir efectos acumulativos, especialmente en órganos como los riñones y el hígado. Esto no solo afecta la salud de los individuos, sino que también puede alterar dinámicas poblacionales y de interacción entre especies (Affa, 2021).

Marco conceptual

Generalidades del chontaduro

Palmas.

Las palmas son una especie vegetal característica de la zona tropical, siendo importantes por su uso para la alimentación humana y animal, combustible, construcción, utensilios y herramientas, medicinal, ornamental, cultural (Mesa y Galeano, 2013). El género *Bactris* ocupa el segundo lugar en el neotrópico mayormente distribuido en tierras bajas. Dentro de estas especies tres se encuentran en la región andina y una de ellas es la palma domesticada *Bactris gasipaes* Kunth conocida como chontaduro, pejibaye, tembé, pupunha dicha especie es la más cultivadas en América, debido a sus frutos comestibles de consumo local y el procesamiento industrial para exportación del palmito (Borchsenius y Moraes, 2006).

***Bactris gasipaes* Kunth y su morfología.**

La descripción de la morfología de esta especie vegetal es muy similar entre la literatura científica sin embargo un aportante institucional de la botánica refirió lo siguiente:

Bactris gasipaes Kunth es una palmera de sotobosque con tronco solitario o cespitoso, de 2–18 m de alto, 8–25 cm de diámetro y densamente cubierto de espinas negras de 5–15 cm de largo en los entrenudos o raramente sin espinas. Corona formada por 7–20 hojas arqueadas de 2–5 m largo; 90–145 pares de folíolos de 50–100 cm de largo y 4 cm de ancho, lanceolados o lineares insertados en el raquis en grupos (3–5) y desplegados en varios planos de orientación; espinas pequeñas de color café amarillento en las venas y márgenes de los folíolos. Base de los pecíolos cubierta de espinas negras. Inflorescencia interfoliar al inicio y posteriormente infrafoliar, ramificada y con pocas espinas; bráctea peduncular persistente y cubierta de espinas (Valencia et al., 2013).

Reproducción

El chontaduro es una Arecaceae que se puede reproducir de forma sexual y asexual por semilla o asexual mediante hijuelos y cultivo de tejidos no disponiéndose aún de materiales mejorados resultantes de un proceso de selección genética (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [Corpoica] s.f).

Clasificación taxonómica.

Tabla 1

Clasificación taxonómica del chontaduro (Bactris gasipaes Kunth)

Taxonomía	
Nombre científico:	<i>Bactris gasipaes</i> (H.B.K)
Nombre común:	Chontaduro, Pijuayo, Pejibaye, entre otros.
Reino:	Plantae
Filo:	Magnoliophyta
Clase:	Equisetopsida
Subclase:	Magnoliidae
Superorden:	Lilianaes
Orden:	Arecales
Familia:	Areacea
Género:	<i>Bactris</i>
Especie:	<i>gasipaes</i>

Nota. Datos tomados de la página web Trópicos (2025).

Distribución geográfica.

La distribución geográfica de *Bactris gasipaes* Kunth silvestre y domesticado está asociado a bosques húmedos tropicales. Se ha mencionado en la literatura que su distribución se extiende desde el Darién en Panamá, la provincia de Santa Cruz en Bolivia hasta el Estado de Rondonia en Brasil. De igual modo en la actualidad se ha registrado su presencia hasta Honduras (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [Corpoica], 2000).

Fundamentos sobre los metales pesados

Comúnmente, el término de metales pesados es utilizado para referirse a un conjunto de diversos elementos químicos a los que son atribuidos diferentes efectos de contaminación, toxicidad y ecotoxicidad (Angon et al., 2024) (Londoño et al., 2016). Los metales ejercen su acción de muchas maneras, pero por lo general lo hacen dentro de las células corporales. Algunos interrumpen las reacciones químicas, mientras que algunos bloquean la absorción de los nutrientes esenciales, y otros cambian las formas de los compuestos químicos vitales utilizándolos. Algunos metales se unen a los nutrientes en el estómago lo que evita su absorción. Estos resultados dependen del metal específico y del órgano afectado. Es así como ciertos metales se bioacumulan alcanzando concentraciones tóxicas, otros tienen propiedades cancerígenas en ciertos órganos del cuerpo, algunos tienen propiedades mutagénicas, pero el grupo final de efectos ocurre con los denominados teratogénicos, es decir, aquellos que inducen cambios genéticos en organismos en desarrollo (Bishak et al., 2015) (Haidar et al., 2023). Es por esto, que al profundizar en este tipo de estudios es necesario establecer un marco de referencia para aclarar algunos interrogantes relacionados con sus funciones y propiedades.

Biodisponibilidad de metales pesados.

Comprende la fracción de metales pesados que están disponibles para su absorción por los organismos vivos, comprende a las formas solubles e intercambiables controladas por diversas reacciones químicas.

Absorción atómica.

Es una técnica analítica que permite evaluar la concentración de un analito mediante el análisis de la capacidad que poseen los átomos de los metales para emitir una luz a determinada longitud de onda. Cuando un átomo se encuentra en su estado fundamental se le suministra determinada energía, la cual es absorbida por los átomos, llevándolos a un estado de excitación, cuando el átomo vuelve a su estado fundamental cede una cantidad idéntica a la que absorbió para pasar a su estado de excitación, lo que produce emisiones de radiación a una determinada longitud de onda. En la espectrofotometría la muestra es vaporizada mediante procesos de elevación de temperatura, conocidos como atomización (Pérez, 2014).

Cadmio.

Según Aguirre (2022) “El Cadmio (Cd) es un metal de color plateado, maleable y blando, de dureza 2 en la escala de Mohs, número atómico 48, masa atómica 112,4 g/mol, densidad 8,64 g/cm³, punto de ebullición 765° C y punto de fusión 321°C. En la tabla periódica se ubica en el grupo IIB metales de transición junto con zinc y mercurio” (p. 3).

Uso del cadmio en la industria.

Uno de los usos del cadmio es para la creación de baterías de níquel-cadmio, este elemento de almacenamiento es utilizado en varios dispositivos electrónicos como los portátiles, teléfonos, vehículos, entre otros (López, 2012). El cadmio se utiliza en la producción de pigmentos de colores amarillo, naranja y rojo, que se emplean en pinturas, plásticos, tintas y otros materiales. El pigmento de cadmio más común es el sulfuro de cadmio (CdS), que se caracteriza por su alta resistencia a la luz y el calor (Gamboa, 2019).

El Cadmio es un elemento perteneciente al grupo de metales pesados que no cumplen con una función metabólica para la mayoría de seres vivos exceptuando la diatomea marina *Thalassiosira weissflogii* (Sterckeman y Thomine, 2020), se considera un metal altamente tóxico para humanos, animales y plantas (Wiesler, 2011).

Incidencia en la salud humana.

En relación a la incidencia con el ser humano se ha determinado que “el Cadmio está entre los contaminantes alimentarios de origen ambiental, que produce efectos tóxicos en la salud” (Iglesias et al., 2023, p. 2). Por ende, compromete la calidad de vida de las personas. Debido a que las afecciones anatómo fisiológicas que induce este metal son directas a la salud, y debido a esto investigadores han logrado identificar algunas referencias frente a este tema las cuales son:

Según (Gil et al., 2021; Mendes et al., 2006) Este metal puede estar presente en suelos de manera natural debido a la meteorización de una roca parental que sea rica en cadmio, o de forma artificial por la aplicación de insumos contaminados. Esto quiere decir, que si el contaminante puede provenir de la meteorización o de la aplicación de fertilizantes y enmiendas usadas en la producción agrícola.

(Genchi et al., 2020; Smolders, 2001) indica que, el Cd ha sido detectado en varios productos alimenticios, tanto de origen vegetal, como animal. Por ende es importante resaltar que (Barraza et al., 2017; Genchi et al., 2020) menciona que la forma para adquirir este metal en el cuerpo puede ser a través de la inhalación de partículas suspendidas, la ingesta de alimentos ya contaminados, y (Reyes et al., 2016) afirma que este también puede ingresar al organismo de la piel, depositando la mayor parte en el hígado y principalmente en los riñones en los que produce

mayor daño al lesionar las células tubulares proximales por acumulación crónica. Debido a que el exceso puede causar la muerte.

Otros autores indican que:

El Cadmio es capaz de inducir la síntesis de proteínas ricas en cistina denominadas metalotioneínas en hígado y riñones. Las metalotioneínas son responsables de la retención del cadmio en dichos órganos, y ejercen una acción protectora al facilitar la eliminación del metal: el complejo cadmio-metalotioneína el cual solo puede ser filtrado por el glomérulo y excretado a través de la orina. (Sánchez, 2016, p. 11).

Seguido a esto “se observa que in vivo que el cadmio puede inducir respuestas estrogénicas como la hiperplasia e hipertrofia del endometrio, así como aumentar el riesgo de cáncer de este tejido tras la ingesta mantenida en la dieta durante varios años” (Tchernitchin et al., 2008) Sin embargo la información sobre el riesgo por cadmio en Colombia es limitada, requiriendo más estudios para determinar su impacto real en la salud pública y posibles soluciones a la disminución de consumo.

La Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades [ATSDR] (2012) informa que “Ingerir alimentos con niveles muy altos de cadmio produce irritación grave del estómago, vómitos y diarrea, pudiendo causar la muerte en algunas ocasiones” (p.11). Del mismo modo (Sánchez, 2016) indica que:

El cadmio ha sido calificado como agente carcinógeno de tipo I por la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC), lo cual implica que existe

suficiente evidencia de su carcinogenicidad en humanos. Su papel en el cáncer de pulmón ha sido más descrito y comprobado; aunque hay indicios in vitro que señalan la relación del cadmio con el cáncer de próstata no se ha conseguido suficiente evidencia mediante estudios epidemiológicos sobre poblaciones expuestas al cadmio (p.12).

Incidencia del cadmio en la cadena trófica.

Se refiere específicamente a la relación existente entre especies, dentro de una comunidad biológica, una especie sirve de alimento para otra y a su vez ésta se convertirá en alimento para otra especie. Se debe tener en cuenta que cada uno de los eslabones de una cadena trófica tienen una función, si llega a desaparecer se genera un desorden implícito que afecta el equilibrio del ecosistema entero (Hernández et al., 2020).

Inocuidad alimentaria

Se define como el conjunto de condiciones, protocolos y medidas necesarias durante la producción, almacenamiento, distribución y preparación de cualquier tipo de alimento a fin de asegurar que una vez ingeridos por el consumidor final no representen un riesgo significativo para su salud; por lo tanto, se considera un aspecto a tener en cuenta en materia de calidad alimentaria.

Marco legal

Tabla 2

Normatividad legal

Norma	Descripción
Constitución política de Colombia 1991	En el capítulo III trata de los derechos colectivos y del ambiente.
Norma oficial mexicana Nom-147-semarnat/ssal de 2004	La presente Norma Oficial Mexicana establece criterios para la caracterización y determinación de concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio, vanadio y sus compuestos inorgánicos; así como los criterios de remediación.
Ley 99 de 1993	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y crea las corporaciones autónomas regionales CAR'S y se dictan otras disposiciones.
Ley 822 de 2003	Establecer los requisitos y procedimientos concordados para el registro, control y venta de agroquímicos genéricos en el territorio nacional, incluidos sus ingredientes activos grado técnico y sus formulaciones, para minimizar los riesgos de la salud humana y su impacto en el medio ambiente.
Decreto 2811 de 1974	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.

	Artículo 4. Entidades de naturaleza pública y privada deberán aplicar un uso racional, un manejo adecuado y disposición final de plaguicidas con el objetivo de garantizar la salud de las comunidades y la protección de los recursos naturales renovables, agrícolas y pecuarios.
Decreto 1843 de 1991	Artículo 13. Clasificación toxicológica y del permiso de uso de plaguicidas en el territorio nacional. Artículo 14. Clasificación toxicológica de los plaguicidas extremadamente tóxicos, altamente tóxicos, medianamente tóxicos, ligeramente tóxicos.
Decreto 1443 de 2004	Establece medidas ambientales para el manejo de los plaguicidas, y para la prevención y el manejo seguro.
Resolución 0170 de 2009	Se declaró el año 2009 como año de los suelos y el 17 de junio como Día Nacional de los Suelos; además se le asigna al Ministerio, entre otras la obligación de formular políticas y expedir normas, directrices e impulsar programas y proyectos dirigidos a la conservación, protección Por la cual se establece el procedimiento para la expedición del dictamen técnico-ambiental al que alude la Norma Andina para el Registro y Control de Plaguicidas Químicos de Uso Agrícola, Decisión 436, de la Comisión de la Comunidad Andina, y se toman otras determinaciones.
Resolución 1442 de 2008	
Resolución 4506 de 2013.	Por el cual se establecen los niveles de contaminantes en los alimentos destinados al consumo humano y se dictan otras disposiciones.
Niveles máximos	
Expedido por:	

Ministerio de
Salud
y Protección
Social

Resolución
1442 de
2008

Por la cual se establece el procedimiento para la expedición del dictamen técnico-ambiental al que alude la Norma Andina para el Registro y Control de Plaguicidas Químicos de Uso Agrícola, Decisión 436, de la Comisión de la Comunidad Andina, y se toman otras determinaciones.

Ley 1159 de
2007

Por medio de la cual se aprueba el "Convenio de Rotterdam para la Aplicación del Procedimiento de Consentimiento Fundamentado previo a ciertos Plaguicidas y Productos Químicos Peligrosos, Objeto de Comercio Internacional", hecho en Rotterdam el diez (10) de septiembre de mil novecientos noventa y ocho (1998).

Marco contextual

Acerca de la ubicación geográfica del Municipio de Villagarzón, Putumayo se ha mencionado que:

El Municipio de Villagarzón se encuentra localizado en el sector central del departamento del Putumayo, a 1°2' de Latitud Norte y 76° 37' de Longitud Oeste del Meridiano de Greenwich, en el pie de monte amazónico, comprendido dentro de los siguientes límites territoriales: al Norte, los

municipios de Santiago, San Francisco y Mocoa. Al Sur, los municipios de Orito y Puerto Caicedo. Al Oriente, los municipios de Mocoa y Puerto Guzmán y al Occidente, el municipio de San Francisco y el Departamento de Nariño (Escuela Superior de Administración Pública, 2000).

Clima

El clima del Municipio de Villagarzón Putumayo se puede describir climatológicamente de varias maneras dependiendo el autor, ya que, cada uno tiene en cuenta diferentes variables para definirlo. Con respecto a su definición se ha mencionado que:

Villagarzón se encuentra en la región climatológica del piedemonte amazónico, en una zona donde el principal generador de lluvia es la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), modificado a su vez por las condiciones de cobertura vegetal y estructura del perfil del suelo, que genera altas tasas de evaporación causantes de los elevados niveles de humedad en la atmósfera adyacente. Por su posición geográfica, el municipio pertenece al tipo de clima, Bosque Tropical Lluvioso (según la clasificación de Koeppen); y según la clasificación de Holdridge, en Bosque muy húmedo Tropical. La temperatura promedio oscila entre los 23 y 25 °C, con un rango de humedad relativa media mensual. La elevación más alta del municipio está sobre los 3.500 m.s.n.m, y la más baja sobre los 440 m.s.n.m (Alcaldía de Villagarzón, 2020).

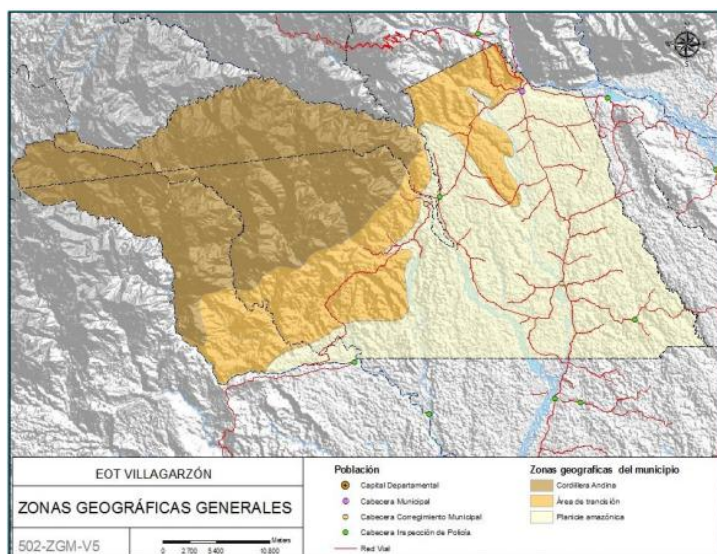
Geografía

La geografía del municipio de Villagarzón, Putumayo la describen algunos autores de la siguiente manera:

Los 1390 km² aproximadamente del área superficial jurisdiccional de Villagarzón, se distribuyen en tres (3) grandes formas de relieve o zonas geográficas generales. La zona cordillerana, o Cordillera Andina en la Ilustración 2, con un 37 % de área, se caracteriza por sus altas pendientes y por ser la zona con mejores áreas en conservación de bosque al comparar con mapa de cobertura vegetal (Lasso, 2016).

Figura 2

Zonas geográficas generales



Fuente: Alcaldía Municipal de Villagarzón

Economía

Su actividad económica deriva de la ganadería (hatos lecheros y cría) y agricultura en donde se destaca la producción de chontaduro, yuca, plátano, maíz, entre otros. La piscicultura y

especies menores también hacen parte de su actividad económica al igual que la explotación maderera e hidrocarburos. (Programa de las naciones unidas para el desarrollo [PNUD] (s.f).

Metodología

Métodos y alcance de la investigación

Tipo de investigación

Este estudio se enmarca en el ámbito de la investigación mixta, dado que se han utilizado datos tanto cuantitativos como cualitativos. Se llevó a cabo un análisis de la concentración de cadmio en los frutos y en palmito, considerando la fertilización química y orgánica, así como el uso actual e histórico del suelo. Asimismo, se obtuvo información social con el objetivo de identificar las causas de la contaminación, abordando tres dimensiones de grupos seleccionados según la intensidad del uso de agroquímicos. Este enfoque permite evaluar la intervención antrópica y su impacto en la contaminación de los frutos y en palmito asociados al cultivo de chontaduro (Sampieri et al., 2010).

Población

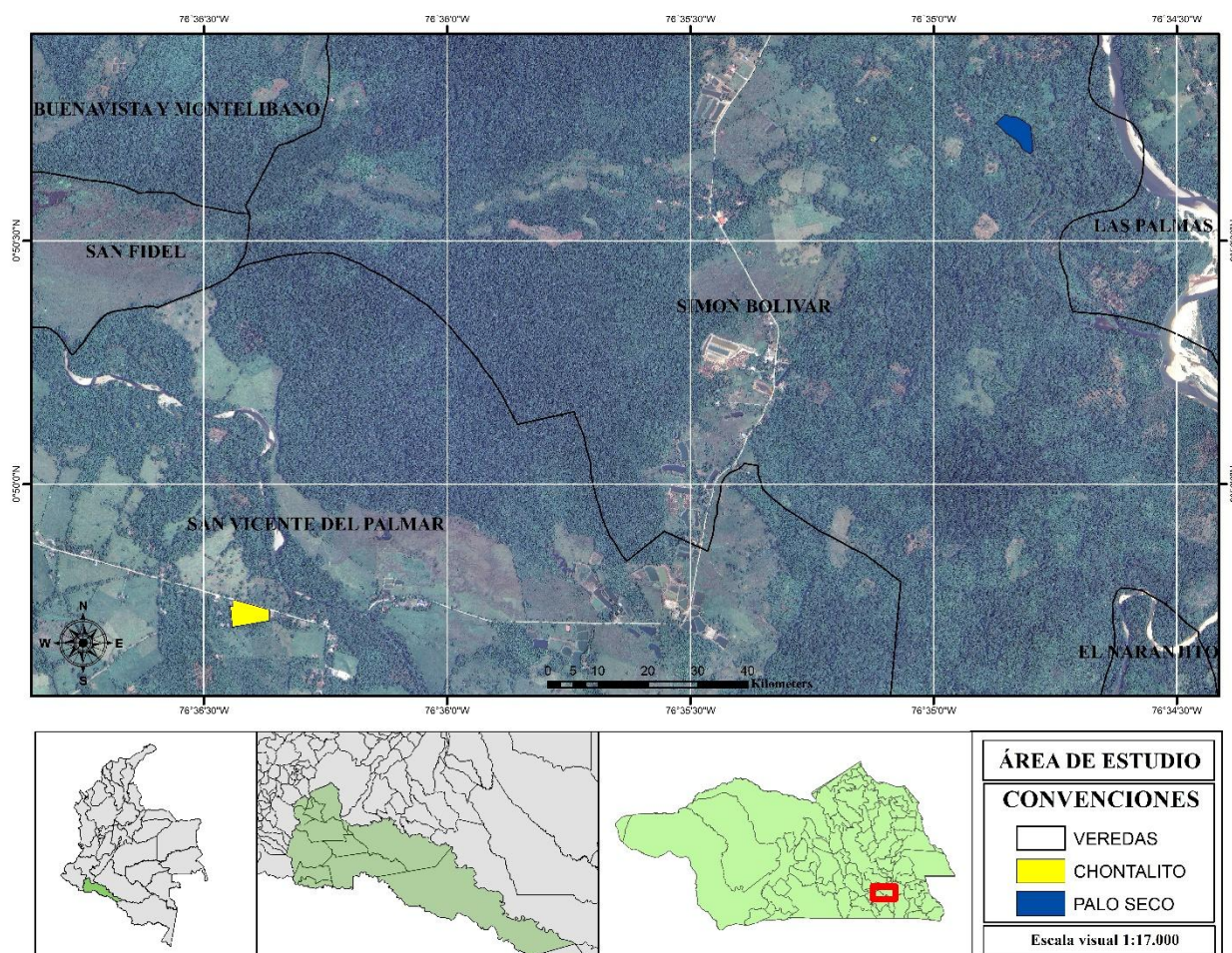
La población fue de tipo finito la cual estará conformada por la selección de dos unidades productivas de *Bactris gasipaes* Kunt del municipio de Villagarzón.

Área de estudio

El área de estudio se encuentra en el municipio de Villagarzón, Putumayo ubicadas en las veredas Palo Seco y Chontalito y localizadas geográficamente en las coordenadas 00° 50' 43.352'' N 76° 34' 50.875'' W y 0° 49' 43.652'' N 76° 36' 23.933'' W respectivamente.

Figura 3

Unidades productivas para evaluación de cadmio en el Municipio de Villagarzón Putumayo



Fuente: Esta investigación

Objetivo 1. Cuantificar las concentraciones de cadmio en fruto y palmito de *Bactris gasipaes* Kunth en unidades productivas del municipio de Villagarzón departamento del Putumayo.

Análisis de cadmio en fruto

La obtención de frutos se realizó teniendo en cuenta la metodología descrita en la guía de toma de muestras de tejido vegetal para análisis químico GA-G-57; por ende, las muestras en el cultivo de chontaduro fueron debidamente codificadas para el área de producción y teniendo en cuenta su homogeneidad en términos de topografía, tipo de suelo y palmas sanas.

Para el ascenso, se utilizó una marota artesanal que consiste en dos triángulos de madera amarrados al estípite (Tallo o tronco). Una vez el operario se situaba en la parte superior de la palma realizó el descenso del racimo de chontaduro para recolectar las muestras de fruto. El operario dispuso de guantes de nitrilo para la manipulación de los frutos, posteriormente el material vegetal se llevó al laboratorio de Biología del Instituto Tecnológico del Putumayo donde se procedió a seleccionar 12 frutos por racimo de cada acepción; cuatro del tercio inferior, cuatro del tercio medio y cuatro del tercio superior, por medio de extracción manual, se hizo limpieza de los frutos seleccionados con alcohol isopropílico se secaron los frutos, se retiró el pericarpio y del mesocarpo se obtuvo la muestra de aproximadamente 500g la cual se almacenó en 1 bolsa de papel Kraft (1Kg) y a su vez se la introdujo en una bolsa ziploc debidamente rotulada.

A continuación, se acondicionaron las muestras en una nevera de icopor y para conservación de la cadena de frío se introdujeron 10 pilas refrigerantes seguidamente se las envió al laboratorio de química analítica de la Corporación Colombiana de

Investigación Agropecuaria [Agrosavia]. El tiempo requerido para el transporte y extracción de las muestras desde campo hasta el laboratorio fue de 36 horas. Las muestras se analizaron mediante Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente efectuado en el laboratorio de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

Análisis de cadmio en palmito

La obtención de palmito se realizó teniendo en cuenta la metodología descrita en la guía de toma de muestras de tejido vegetal para análisis químico GA-G-57 propuesta por Agrosavia; por ende, las muestras en el cultivo de chontaduro fueron debidamente codificadas para el área de producción y teniendo en cuenta su homogeneidad en términos de topografía, tipo de suelo, palmas sanas; el muestreo de palmito fue aleatorizado colectando 6 palmitos por medio de extracción manual.

Para la colecta se utilizó una herramienta en acero inoxidable con la cual se cortó la palma en la región superior e inferior del tallo y seguidamente se retiraron las capas hasta encontrar el meristemo apical. El operario dispuso de guantes de nitrilo para la manipulación del palmito. El palmito se almacenó en 2 bolsas de plástico debidamente rotuladas entre bolsa y bolsa.

Se acondicionaron las muestras en una nevera de icopor. El tiempo requerido para el transporte y extracción de las muestras desde el campo hasta el laboratorio fue de 36 horas. Las muestras se analizaron mediante Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente efectuado en el laboratorio de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria.

Objetivo 2. Establecer la relación entre la aplicación de fertilizantes químicos y orgánicos y las concentraciones de cadmio en las unidades productivas del municipio de Villagarzón, en el departamento del Putumayo.

Se utilizó la prueba de comparación de medias LSD de Fisher ($\alpha = 0.05$), para el factor fijo, los análisis se llevaron a cabo usando el software R versión 3.4.0 (R Development Core Team, 2017), utilizando la interfaz implementada en InfoStat (Di Rienzo et al., 2017).

Objetivo 3. Analizar las concentraciones de cadmio en fruto y palmito de *Bactris gasipaes* Kunth con los límites establecidos por normatividad nacional e internacional en unidades productivas del municipio de Villagarzón departamento del Putumayo.

Comparación de resultados con normatividad nacional e internacional

Las concentraciones obtenidas según el reporte de resultados en el laboratorio de química analítica de Agrosavia se comparó con la normatividad colombiana Resolución 4506 del 2013 y europea Reglamento 488/2014 para corroborar si dicho resultado es válido para exportación y/o consumo como producto alimenticio, ya que, dependiendo el resultado puede representar problemáticas de salud pública e impactos económicos para el agricultor.

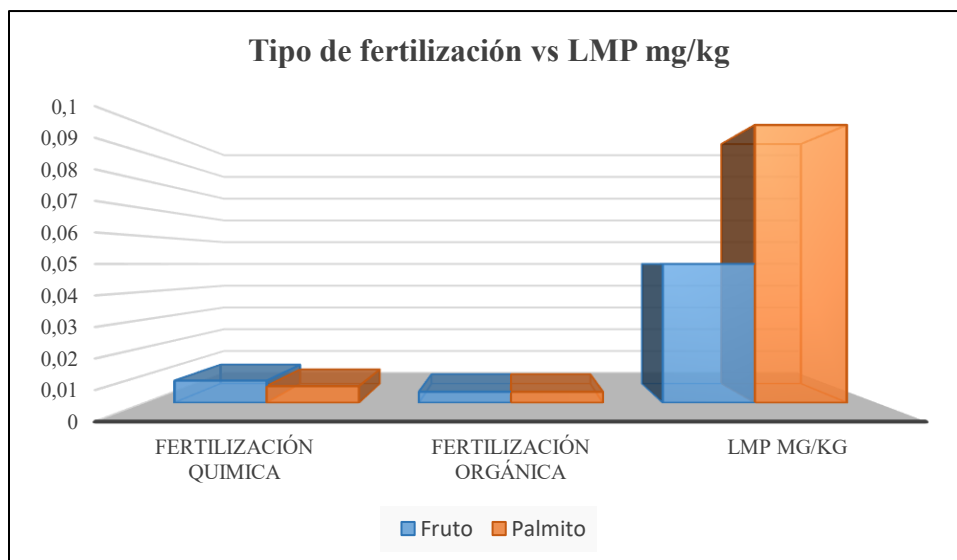
La comparación que se realizó tiene como objetivo generar un punto de partida para la toma de decisiones en relación al manejo del cultivo de esta manera se sustituye e implementa mejoras en las prácticas agrícolas.

Resultados

Según el análisis mediante Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente efectuado en el laboratorio de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria los resultados indican que existe presencia de Cadmio en las muestras de mesocarpio y palmito evaluadas en las unidades productivas de palo seco y Chontalito ubicadas en las coordenadas $0^{\circ} 50' 43.352''$ N $76^{\circ} 34' 50.875''$ W y $0^{\circ} 49' 43.652''$ N $76^{\circ} 36' 23.933''$ W respectivamente, en el Municipio de Villagarzón Putumayo. Sin embargo, se encuentran dentro de los parámetros permisibles establecidos por la normatividad colombiana relacionada en la Resolución 456 de 2013 en el ítem 12.8 donde establece que el máximo permisible para hortalizas y frutas es de 0.050 mg/kg y para tallos jóvenes es de 0.10 mg/kg. De igual manera la normatividad europea en el Reglamento 488/2014 menciona que lo máximo permisible para fruto es 0.050 mg/kg, por ende se consideran productos inocuos para el consumo humano.

Figura 4

Concentración de Cadmio según tipo de fertilización y órgano de la planta



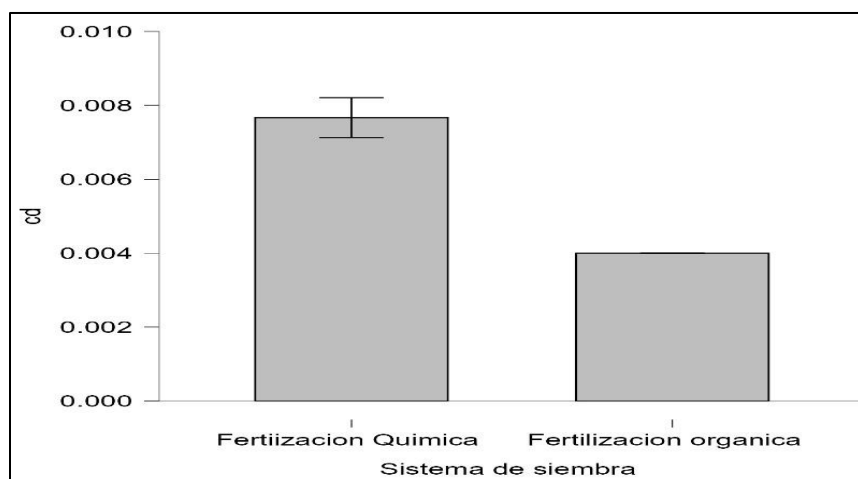
Fuente. Esta investigación

Teniendo en cuenta la figura 5 también se puede determinar que hay diferencias significativas en las concentraciones encontradas en cada uno de los sistemas de siembra. Esta diferencia puede relacionarse con el hecho de que el agricultor maneja su cultivo con productos químicos como el fosfato diamónico, agrocacao y abono cafetero a diferencia de la unidad productiva Chontalito donde el agricultor maneja su cultivo con Safermixwp, Safersoilwp, abono bocashi, humus de lombriz.

Según se observa en la figura 5, existen diferencias significativas en las concentraciones de cadmio entre los distintos sistemas de siembra. Estas variaciones pueden relacionarse con el uso de productos químicos por parte del agricultor de una de las unidades productivas, como fosfato diamónico, agrocacao y abono cafetero. En contraste, en la unidad productiva Chontalito, el agricultor utiliza Safermixwp, Safersoilwp, abono bocashi y humus de lombriz.

Figura 5

Contenido de cadmio en sistemas productivos



Fuente. Esta investigación

Discusión

Aunque las concentraciones de cadmio (Cd) se mantienen dentro de los límites establecidos por la normativa nacional e internacional, su presencia sugiere un fenómeno de acumulación que podría intensificarse bajo condiciones agronómicas desfavorables. La aplicación de fertilizantes fosfatados, tales como la roca fosfórica y el fosfato diamónico, ha sido identificada como una fuente de introducción de Cd en el sistema suelo-planta, debido a la presencia de este metal pesado en minerales como el apatito y la fluorapatita, que constituyen las materias primas para la producción de estos fertilizantes (Niño et al., 2019; Suciú et al., 2022; Gómez, 2022; Rojas, 2022). Esta práctica, común en cultivos tropicales intensivos, facilita la adsorción y la posterior translocación del Cd hacia órganos vegetales de interés económico, como los frutos y el palmito.

Comparativamente, estudios desarrollados en suelos amazónicos con otras especies de importancia agroindustrial, como *Theobroma cacao*, *Citrus cinensis* L., *Piper nigrum* L., *Coffea arabica* L. variedad catimor, *Capsicum pubescens*, *Inga edulis*, *Oryza sativa*, (Mendoza et al., 2021) (Souza Braz et al., 2021) (Oliva et al., 2021) (Soto, 2022) (Contreras, 2022) (Villegas & Jara, 2024) reportan acumulaciones similares o incluso mayores de Cd en tejidos comestibles. Por otra parte, también se han reportado la presencia de Cd en la especie *Elaeis guineensis* de la familia Arecacea en sus tejidos confirmando el hecho de que a pesar de sus características morfológicas translocan este tipo de metal pesado a órganos superiores (Delgado, 2024).

La unidad productiva de Chontalito, ubicada en la vereda San Vicente, se clasifica dentro de la era geológica del Cuaternario, mientras que la unidad productiva Palo Seco, situada en la vereda Simón Bolívar, corresponde al Oligoceno-Mioceno (Servicio Geológico Colombiano [SGC], 2003). Investigaciones realizadas en colaboración entre Agrosavia y Fedecacao han

determinado que la era geológica más asociada a las concentraciones de cadmio, debido a la predisposición de los contenidos de su material parental, es el Cuaternario (Bravo et al., 2022). No obstante, es importante señalar que, a pesar de esta condición, en la plantación de Chontalito, el manejo del suelo desempeña un papel fundamental en la disponibilidad de este metal pesado. Por otro lado, aunque Palo Seco no se encuentra en la era geológica más predispuesta, presenta concentraciones más elevadas de cadmio, lo cual puede estar vinculado a su tipo de manejo agronómico.

Conclusiones

Las concentraciones de cadmio (Cd) detectadas en los frutos y palmito de *Bactris gasipaes* Kunth en Villagarzón se encuentran dentro de los límites establecidos por la normativa tanto nacional como europea, lo que sugiere que, en términos de seguridad alimentaria, estos productos son aceptables para el consumo. No obstante, es importante señalar que la presencia de cadmio en estos cultivos indica un fenómeno de bioacumulación, lo que puede plantear preocupaciones a largo plazo sobre la salud del ecosistema y la seguridad alimentaria. La bioacumulación de metales pesados como el cadmio puede tener efectos adversos en la cadena alimentaria, afectando no solo a las plantas, sino también a los organismos que dependen de ellas, incluidos los seres humanos. Por lo tanto, es fundamental llevar a cabo un monitoreo continuo de las concentraciones de cadmio en estos productos y evaluar las prácticas agronómicas que podrían contribuir a su acumulación en el suelo y las plantas.

La aplicación de fertilizantes fosfatados representa una fuente relevante de ingreso de Cd al suelo, favorecida por las propiedades físico-químicas de los suelos locales, es por ello, que es recomendable manejar el suelo teniendo en cuenta criterios técnicos para la aplicación de productos químicos como los fertilizantes fosfatados, la adición de materiales alcalinizantes ya

que el mal uso genera un desbalance en las concentraciones de Cd en los suelos y posteriormente bioacumulación en órganos de interés.

Existen diferencias significativas en las concentraciones de cadmio (Cd) encontradas en los distintos sistemas de siembra analizados. Estas variaciones pueden atribuirse a las prácticas agronómicas empleadas por los agricultores en cada unidad productiva. En el caso del sistema de siembra que utiliza productos químicos como el fosfato diamónico, agrocacao y abono cafetero, se observa una mayor acumulación de cadmio, lo que sugiere que el uso de estos insumos puede estar relacionado con la introducción y concentración de este metal pesado en el cultivo. Por el contrario, en la unidad productiva de Chontalito, donde se opta por un manejo más orgánico utilizando Safermixwp, Safersoilwp, abono bocashi y humus de lombriz, las concentraciones de cadmio son significativamente menores. Esto resalta la importancia de adoptar prácticas de manejo sostenible y respetuosas con el medio ambiente, que no solo pueden contribuir a la reducción de la acumulación de metales pesados en los cultivos, sino también a la mejora de la salud del suelo y la calidad de los productos agrícolas. Por lo tanto, es fundamental promover la investigación y la implementación de técnicas de cultivo que minimicen el uso de insumos químicos, favoreciendo alternativas más sostenibles.

Recomendaciones

Implementar buenas prácticas agrícolas que restrinjan el uso de fertilizantes fosfatados ya que contienen Cd, potenciando la utilización de fuentes de fósforo con bajo contenido del metal pesado.

De acuerdo con la presente investigación se sugiere estructurar, planificar y ejecutar programas de monitoreo continuo de Cd en frutos y suelos de cultivos amazónicos, con el

objetivo de salvaguardar la salud humana y ecosistémica, así como también la seguridad alimentaria.

Fortalecer y promover la aplicación de enmiendas como cales o materiales orgánicos que eleven el pH y el contenido de materia orgánica para reducir la biodisponibilidad del Cd sin generar un desequilibrio químico con el propósito de que no se genere el intercambio con el metal.

Formular políticas públicas que incluyan al chontaduro en los listados de alimentos regulados en cuanto a contaminantes, estableciendo límites específicos de Cd para sus partes comestibles.

Se identificó la necesidad de mayor vigilancia sobre productos provenientes de zonas con antecedentes de uso de fertilizantes fosforados, debido a la posibilidad de persistencia de contaminantes en el sistema agrícola.

Se recomienda continuar con estos procesos de investigación, ampliando el enfoque para incluir las diferentes secciones de la palma, tales como la raíz, el estipe y las hojas, así como las diversas partes del fruto que no se tomaron en cuenta en este estudio. Esta ampliación permitirá obtener una comprensión más completa y detallada de los aspectos relevantes relacionados con la palma.

Referencias Bibliográficas

Affa-Montoya, R. (2021). Efecto del cadmio de la roca fosfórica en la macro fauna del suelo en cultivos de cacao, provincia de Leoncio Prado, región Huanuco. [Tesis de pregrado, Universidad Agraria de la Selva]. Archivo digital.
<https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/46809736-49d8-4ae7-acf9-62bfa6f7b094/content>

Aguirre, H., Viteri, P., León, P., Mayía, Y., Cobos, P., Mero, M., & Pernía, B. (2022).

Fitotoxicidad del cadmio sobre la germinación y crecimiento inicial de variedades de maíz ecuatorianas. *Bioagro*, 34(1), 3-14. <https://doi.org/10.51372/bioagro341.1>

Alcaldía Municipal de Villagarzón. (2020). Plan territorial de desarrollo 2020-2023 “unidos de verdad por villagarzón”.

https://villagarzonputumayo.micolombiadigital.gov.co/sites/villagarzonputumayo/content/files/000466/23251_pdm-2020_2023.pdf

Angon, P. B., Islam, M. S., KC, S., Das, A., Anjum, N., Poudel, A., & Suchi, S. A. (2024).

Sources, effects and present perspectives of heavy metals contamination: Soil, plants and human food chain. *Heliyon*, 10, e28357. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28357>

Bastidas, F. L., & Muñoz, K. L. (2011). *Efecto de dos fertilizantes fosfatados sobre la*

bioacumulación de cadmio en un suelo del Cauca [Tesis de pregrado, Universidad del Cauca]. Repositorio Institucional

Unicauca. <http://repositorio.unicauca.edu.co:8080/bitstream/handle/123456789/7293/Efecto%20de%20dos%20fertilizantes%20fosfatados%20sobre%20la%20bioacumulaci%C3%B3n%20de%20cadmio%20en%20un%20suelo%20del%20Cauca.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Bertolotti-Rivera, F., Moccetti, N. (2018). Concentración de plomo, mercurio y cadmio en

músculo de peces y muestras de agua procedentes del Río Santa, Ancash – Perú. *Salud Y Tecnología Veterinaria*, 6(1), 35. <https://doi.org/10.20453/stv.v6i1.3376>

Bishak, Y. K., Payahoo, L., Osatdrahimi, A., & Nourazarian, A. (2015, February 4). Mechanisms

of Cadmium Carcinogenicity in the Gastrointestinal Tract. *Asian Pacific Journal of*

- Cancer Prevention*. Asian Pacific Organization for Cancer Prevention.
<https://doi.org/10.7314/apjcp.2015.16.1.9>
- Borchsenius, F. y Moraes, M. R. (2006). Diversidad y usos de palmeras andinas (Arecaceae).
Botánica Económica de los Andes Centrales 412-433.
https://www.researchgate.net/publication/228761462_Diversidad_y_usos_de_palmeras_andinas_Arecaceae
- Bravo, D.; Leon-Moreno, C.; Martínez, C.A.; Varón-Ramírez, V.M.; Araujo-Carrillo, G.A.;
 Vargas, R.; Quiroga-Mateus, R.; Zamora, A.; Rodríguez, E.A.G. The First National
 Survey of Cadmium in Cacao Farm Soil in Colombia. *Agronomy* 2021, 11, 761.
<https://doi.org/10.3390/agronomy11040761>
- Calderón-Guevara, Marco Napoleón., Carpio-Rivera, Nelly Yadira. Y Galarza-Mora, Wilmer
 Gonzalo. (2023). Metales Pesados Cd, Pb y Hg: Una Problemática de Salud Pública en el
 Contexto de las Relaciones Internacionales e importancia de la academia en su
 mitigación. *MQRInvestigar*, 7(3), 2545-2578.
<https://doi.org/10.56048/MQR20225.7.3.2023.2545-2578>.
- Carvajal, C. (2019). Especies reactivas del oxígeno: formación, función y estrés oxidativo. *Med.
 leg. Costa Rica* [online]. 2019, vol.36, n.1, pp.91-100.
- Contreras Licetti, C. A. (2022). *Relación del contenido Cd Pb y Hg en suelos agro forestales de
 Nina Rumi y su bioacumulación en tejidos de Inga edulis (guaba) - Loreto 2020* [Tesis de
 doctorado, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana]. Repositorio Institucional
 UNAP. <https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/20.500.12737/8400>

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [Corpoica] (2000). El cultivo de chontaduro (*Bactris gasipaes* K.) para palmito.

<https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/23552>

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. (s.f). Propagación de chontaduro (*Bactris gasipaes* K.).

https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/17791/42384_46175.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Delgado Jiménez, L. A. (Año). *Evaluar la concentración de cadmio (cd) y plomo (pb) en cultivo de palma africana (Elaeis guineensis), GUAYAS - ECUADOR* [Tesis de pregrado, Universidad Agraria del Ecuador]. Repositorio

UAGraria. <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/DELGADO%20JIM%C3%89NEZ%20LUIGY%20ARIEL.pdf>

Departamento administrativo nacional de estadística [DANE]. (2025, 15 de Mayo). Producto Interno Bruto (PIB) nacional trimestral. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/cuentas-nacionales/cuentas-nacionales-trimestrales/pib-informacion-tecnica>

Di Rienzo, J. A., Macchiavelli, R., & Casanoves, F. (2017). Modelos lineales generalizados mixtos aplicaciones en InfoStat.

Escobar, H. L. (2015). Oportunidades de internacionalización para la pupunha (*Bactris gasipaes*) del departamento del vaupés. [Tesis de pregrado, Universidad Santo Tomás]. Archivo digital.

<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/14005/2015heidyesobar.pdf?s>

Escuela Superior de Administración Pública [ESAP]. (2000). Esquema de Ordenamiento

Territorial Villagarzón Putumayo 2000: EOT Villagarzón Putumayo 2000.

<https://repositoriocdim.esap.edu.co/handle/20.500.14471/10037>

Galvis-Neira, D. (2021). Efecto y bioacumulación del cadmio en cuatro especies forestales

(*Tabebuia rosea* (Bertol.) DC, *Terminalia superba* Engl. & Diels, *Albizia guachapele* (Kunth) Dugand, *Cariniana pyriformis* Miers) y nueve genotipos de cacao (*Theobroma cacao* L.). [Tesis de pregrado, Universidad de Córdoba]. Archivo digital.

<https://repositorio.unicordoba.edu.co/server/api/core/bitstreams/614eb2f1-d059-413d-bc61-b42d061f770b/conten>

Gamboa, N. (2019). El cadmio, ¿su presencia nos alerta de la contaminación antropogénica?

Revista de Química, 33(1-2), 14-16.

<https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/quimica/article/view/21434>

García-Salirrosas, E. E., & Rondon-Eusebio, R. F. (2022). Factores que influyen en la intención de compra de productos ecológicos en consumidores de Lima Metropolitana,

Perú. *Revista de Investigación Científica Dekamu Agropecuaria*, 1(1), 12-

23. <https://revista.unibagua.edu.pe/index.php/dekamuagropecuaria/article/view/49/26>

Genchi, G., S, S., Graziantono, L., Carocci, A., & Catalano, A. (2020). The Effects of Cadmium

Toxicity. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(11),

3782. [https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/329480/WHO-CED-PHE-EPE-](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/329480/WHO-CED-PHE-EPE-19.4.3-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

[19.4.3- eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/329480/WHO-CED-PHE-EPE-19.4.3-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Gil, J. P., López-Zuleta, S., Quiroga-Mateus, R. Y., Benavides-Erazo, J., Chaali, N., & Bravo, D.

(2021). Cadmium distribution in soils , soil litter and cacao beans : a case study from

Colombia. International Journal of Environmental Science and Technology.

<https://doi.org/10.1007/s13762-021-03299-x>

Gómez Ramírez, V. H. (2022). *[Acumulación de cadmio (cd) y otros elementos traza en sistemas de cultivo de papa de la región Amazonas: relación con algunos factores de manejo y las propiedades del suelo]* [Tesis doctoral, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas]. Repositorio Institucional

UNTRM. [https://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14077/3328/V%
c3%adctor%20Hugo%20G%
c3%b3mez%20Ram%
c3%adrez.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14077/3328/V%c3%adctor%20Hugo%20G%c3%b3mez%20Ram%c3%adrez.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Granados, C. (2021). *Alternativas de uso del chontaduro (Bactris gasipaes) en la cadena agroalimentaria, una revisión.* [Trabajo de grado en la modalidad de investigación, Universidad de Pamplona]. Archivo digital.

Granados, C. (2021). *Alternativas de uso del chontaduro (Bactris gasipaes) en la cadena agroalimentaria, una revisión.* [Trabajo de grado en la modalidad de investigación, Universidad de Pamplona]. Archivo digital.

[http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/bitstream/20.500.12744/4843/1/Grana
dos_2021_TG.pdf](http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/bitstream/20.500.12744/4843/1/Granados_2021_TG.pdf)

Haidar, Z., Fatema, K., Shoily, S. S., & Sajib, A. A. (2023). Disease-associated metabolic pathways affected by heavy metals and metalloid. *Toxicology Reports*, 10, 554-570.
<https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2023.04.010>

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación.* McGraw-Hill.

- Hernández, C., Gonzales-Reyes, R. (2020). Aprendizaje del concepto de red trófica. Un análisis desde el pensamiento lineal y sistémico, 10(1), 272-89. <https://doi.org/10.36260/rbr.v10i1.1179>
- Hernández-Baranda, Yenisei, Rodríguez-Hernández, Pedro, Peña-Icart, Mirella, Meriño-Hernández, Yanitza, & Cartaya-Rubio, Omar. (2019). Toxicidad del Cadmio en las plantas y estrategias para disminuir sus efectos. Estudio de caso: El tomate. *Cultivos Tropicales*, 40(3), e10. Epub 01 de septiembre de 2019. Recuperado en 15 de abril de 2024, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362019000300010&lng=es&tlng=es.
- Iglesia León, N., García Díaz, G., García Calzadilla, C., & García Pino, C. (2023). Riesgo toxicológico por ingestión de cadmio a través del arroz y la harina de trigo. *Revista Cubana de Tecnología de la Salud*, 14(3), e4005. Recuperado de <https://revtecnologia.sld.cu/index.php/tec/article/view/4005/1722>
- Juan-Mahecha, P., Trujillo, G., Torres, M., (2017). Análisis de estudios en metales pesados en zonas agrícolas de Colombia. *Orinoquia*, 21(Supl. 1), 83-93. <https://doi.org/10.22579/20112629.434>
- Kabata-Pendias, A. (2004). Soil–plant transfer of trace elements—an environmental issue. *Geoderma*, 122(2):143-149.
- Lasso-Otaya, A. (2016). Disminución de la movilización de madera legal y los impactos en la cobertura por efecto de la dinámica del mercado en el municipio de Villagarzón, departamento del Putumayo [Tesis de postgrado, Pontificia Universidad Javeriana]. Archivo digital.

- <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/21168/LassoOtayaArgenisObdulia2016.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Londoño-Franco, L. F., Londoño-Muñoz, P. T., & Muñoz-García, F. G. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145-153.
[http://dx.doi.org/10.18684/BSAA\(14\)145-153](http://dx.doi.org/10.18684/BSAA(14)145-153)
- López, J.C. (2012). Análisis del impacto ambiental de las baterías Níquel Cadmio y la factibilidad del reciclaje. [Tesis de pregrado, Universidad del Azuay]. Archivo digital.
<https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/2226/1/09688.pdf>
- Marchive, L., López-Ulloa, M., Chávez, E. & Atkinson, R. (2021). Guía 3: Factores que influyen en la biodisponibilidad de cadmio en suelo y su acumulación por la planta. Caja de herramientas para la prevención y mitigación de la contaminación de cadmio en la cadena de cacao-Ecuador (1.^a ed., pp. 1-24). Quito, Ecuador.
https://balcon.mag.gob.ec/mag01/magapaldia/Caja%20de%20Herramientas_Cadmio_Cacao/
- Martínez, F. K., Souza, A. V. Bucio Ortiz, L. Gómez, Q. L. Gutiérrez, R. M.. (2012). Cadmio: efectos sobre la salud. Respuesta celular y molecular. *Acta toxicológica argentina*, 21(1), 33-49.
- Mendes, A. M. S., Duda, G. P., Do Nascimento, C. W. A., & Silva, M. O. (2006). Bioavailability of cadmium and lead in a soil amended with phosphorus fertilizers. *Scientia Agrícola*, 63(4), 328–332. <https://doi.org/10.1590/s0103-90162006000400003>
- Mendoza-López, K. L., Mostacero-León, J., López-Medina, S. E., Gil-Rivero, A. E., De La Cruz-Castillo, A. J., & Villena-Zapata, L. (2021). Cadmio en plantaciones de Theobroma

- cacao L. "cacao" en la región San Martín (Lamas), Perú. *Manglar*, 18 (2), 169-173.
<https://revistas.untumbes.edu.pe/index.php/manglar/article/download/239/363/1280>
- Mesa, L. y Galeano, G. (2013). Usos de las palmas en la amazonia colombiana. *Caldasia* 35(2), 357-369. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-52322013000200011
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2021). Informe rendición de cuentas 2021.
https://www.minagricultura.gov.co/planeacion-control-gestion/Gestin/INFORMES_RENDICION_DE_CUENTAS/Rendici%C3%B3n%20de%20Cuentas/Informe%20de%20Rendici%C3%B3n%20de%20Cuentas%202021_VF.pdf
- Montealegre, Y. (2020). Caracterización fisicoquímica y nutricional de pasabocas de chontaduro (*Bactris gasipaes*) empleando para su elaboración diferentes tecnologías de secado [Tesis de especialización, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. Archivo digital.
<https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/31888/ymontealegrer.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Naciones Unidas (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe*.
- Niño-Savala, A. G., Zhuang, Z., Ma, X., Fangmeier, A., Li, H., Tang, A., & Liu, X. (2019). Contaminación por cadmio procedente de fertilizantes fosfatados en suelos cultivables y cultivos: una visión general. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*, 6 (4), 419-430. <https://doi.org/10.15302/J-FASE-2019273>
- Niño-Savala, A. G., Zhuang, Z., Ma, X., Fangmeier, A., Li, H., Tang, A., & Liu, X. (2019). Contaminación por cadmio procedente de fertilizantes fosfatados en suelos cultivables y

- cultivos: una visión general. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*, 6 (4), 419-430. <https://doi.org/10.15302/J-FASE-2019273>
- Observatorio de Drogas de Colombia (2023). Cultivos ilícitos
<https://www.minjusticia.gov.co/programas/observatorio-de-drogas-de-colombia>
- Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito. (2016). Atlas de la caracterización regional de la problemática asociada a las drogas ilícitas en el Departamento del Putumayo. https://www.minjusticia.gov.co/programas-co/ODC/Documents/Territorios/CaracterizacionRegional/REATLAS0637_putumayo.pdf
- Oliva, M., García Pérez, A., Chuquizuta Ventura, I. I., Rubio, K., Leiva, S., & Collazos, R. (2021). Concentraciones de Cadmio en el sistema suelo-planta en los cultivos de café en dos sistemas de producción. *Revista Científica Dékamu Agropec*, 2(1), 45–53.
<https://doi.org/10.55996/dekamuagropec.v2i1.49>
- Pérez, G. P., Azcona, C. M. (2012). Los efectos del cadmio en la salud. *Revista de Especialidades Médico-Quirúrgicas*, volumen (17), 199-205.
- Pérez-López, E. (2014). Idoneidad del método de análisis de magnesio en agua potable por absorción atómica con curva de calibración cuadrática. *Revista Tecnología En Marcha*, 27(4), pág. 22–29. <https://doi.org/10.18845/tm.v27i4.2082>
- Programa de las naciones unidas para el desarrollo [PNUD]. (s.f). Perfil productivo y análisis ocupacional de los sectores generadores de valor y de empleo en el Municipio de Villagarzón: Estrategias de formación e inclusión laboral y productiva.
<https://itp.edu.co/ITP2022/wp-content/uploads/2017/08/Perfil-Productivo-Villagarzon.pdf>

Red de información y comunicación del sector agropecuario colombiano [AGRONET] (2024).

Área, producción y rendimiento nacional por cultivo.

<https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1>

Restrepo, J. y Estupiñán J. A. (2007). Potencial del chontaduro (*Bactris gasipaes* H.B.K.) como fuente alimenticia de alto valor nutricional en países tropicales. *Revista de ciencias* 11, 1-8. <https://doi.org/10.25100/rc.v11i0.529>.

Reyes, Y. C., Vergara, I., Torres, O. E., Díaz, M., & González, E. E. (2016). Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, 16(2), 66-77.

Riasco, A. (2018). *Evaluación de las propiedades físicas y nutricionales de una galleta con inclusión de harina de chontaduro (Bactris gasipaes)* [Trabajo de grado en la modalidad de investigación, Universidad del Cauca]. Archivo digital.

<http://repositorio.unicauca.edu.co:8080/bitstream/handle/123456789/5179/Evaluaci%C3%B3n%20de%20las%20propiedades%20f%C3%ADsicas%20y%20nutricionales%20de%20una%20galleta%20con%20inclusi%C3%B3n%20de%20harina%20de%20chontaduro%20%28Bactris%20gasipaes%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Rodríguez, B. E. ., & Rodríguez, M. M. (2020). Agroquímicos y riesgo para la salud y ambiente: Problemática en la vereda El Valle, municipio de Junín, Cundinamarca. *Biociencias (UNAD)*, 3(1), 1-

21. <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/Biociencias/article/view/4329>

Rojas Jaimes, P. A. (2022). Identificación de cadmio (Cd) soluble en rocas fosfóricas y su relación con diversas propiedades encontradas sobre yacimientos empleados para la producción de fertilizantes de la Cordillera Oriental [Tesis de pregrado, Universidad

- EAFIT]. EAFIT Repository.
<https://repository.eafit.edu.co/server/api/core/bitstreams/fccbd894-35d1-4948-a237-72cca7eeeaf1/content>
- Sánchez Barrón, G. (2016). Ecotoxicología del cadmio: Riesgo para la salud de la utilización de suelos ricos en cadmio. Trabajo Fin de Grado, Facultad de Farmacia,
- Sánchez Zepeda, M. Y., López Herrera, M., & Romero Bautista, L. (2021). Determinación de la capacidad de bioacumulación de cadmio en *Vicia faba* L. y su efecto en la raíz y el crecimiento vegetativo. *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 9(2), 46–60.
<https://doi.org/10.47808/revistabioagro.v9i2.358>
- Servicio Geológico Colombiano [SGC]. (01 de Enero del 2003). Plancha 430.
<https://miig.sgc.gov.co/Paginas/Resultados.aspx?k=Reconocimiento+geol%C3%B3gico+regional+de+las+planchas+411+La+Cruz,+412+San+Juan+de+Villalobos,+430+Mocoa,+431+Piamonte,+448+Monopamba,+449+Orito+y+465+Churuyaco,+departamentos+de+Caquet%C3%A1,+Cauca,+Huila,+Nari%C3%Bo+y+Putumayo>
- Smolders, E. (2001). Cadmium uptake by plants. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, 14(2), 177–183.
- Soto Pecho, B. V. (2022). *Determinación de cadmio y plomo en los frutos de rocoto (Capsicum pubescens) con manejo convencional del cultivo en el distrito de Oxapampa* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. Repositorio Institucional UNDAC. <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/2921>
- Souza Braz, A. M., Lima da Costa, M., Ramos, S. J., Dall'Agnol, R., & Fernandes, A. R. (2021). Aplicación a largo plazo de fertilizantes en la Amazonía Oriental y su efecto sobre los

- niveles de uranio y torio en los suelos. *Minerals*, 11(9), 994.
<https://doi.org/10.3390/min11090994>
- Sterckeman, T., & Thomine, S. (2020). Mechanisms of Cadmium Accumulation in Plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 39(4), 322–359.
<https://doi.org/10.1080/07352689.2020.1792179>
- Suciu, N. A., De Vivo, R., Rizzati, N., & Capri, E. (2022). Contenido de Cd en fertilizantes fosfatados: ¿Qué riesgo potencial representa para el medio ambiente y la salud humana? *Environmental Challenges*, 30. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2022.100392>
- Suciu, N. A., De Vivo, R., Rizzati, N., & Capri, E. (2022). Contenido de Cd en fertilizantes fosfatados: ¿Qué riesgo potencial representa para el medio ambiente y la salud humana? *Environmental Challenges*, 30. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2022.100392>
- Valencia, R. Montúfar, R. Navarrete, H. y Baslev, H. (Ed.). (2013). *Palmas ecuatorianas: biología y uso sostenible*.
https://www.researchgate.net/publication/260870499_Capitulo_3_ChontaduroChontilla_Bactris_gasipaes
- Villegas Fernández, A. J., & Jara Díaz, V. (2024). Evaluación de la concentración de cadmio y plomo en granos de arroz (*Oryza sativa* L.) en el distrito de Bellavista-Jaén, 2023 [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Jaén]. Repositorio Institucional UNJ.
<https://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/761>
- Wiesler, F. (2011). Nutrition and Quality. In Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants: Third Edition (pp. 271–282). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384905-2.00009-1>

Apéndices

Apéndice A

Concentración de Cd en fruto con fertilización química

Determinación analítica	Unidad	Método	Valor
(*) Materia seca	%	Gravimetría	46,305
Cadmio (Cd)	mg*kg-1	GA-R-278 Cuantificación de metaloides en material vegetal por ICP-MS	0,008

Nota. Laboratorio de química analítica Agrosavia

Apéndice B

Concentración de Cd en palmito con fertilización química

Determinación analítica	Unidad	Método	Valor
(*) Materia seca	%	Gravimetría	8,835
Cadmio (Cd)	mg*kg-1	GA-R-278 Cuantificación de metaloides en material vegetal por ICP-MS	0,006

Nota. Laboratorio de química analítica Agrosavia

Apéndice C

Concentración de Cd en fruto con fertilización orgánica

Determinación analítica	Unidad	Método	Valor
(*) Materia seca	%	Gravimetría	41,955
Cadmio (Cd)	mg*kg-1	GA-R-278 Cuantificación de metaloides en material vegetal por ICP-MS	0,004

Nota. Laboratorio de química analítica Agrosavia

Apéndice D

Concentración de Cd en palmito con fertilización orgánica

Determinación analítica	Unidad	Método	Valor
(*) Materia seca	%	Gravimetría	9,120

Cadmio (Cd)	mg*kg-1	GA-R-278 Cuantificación de metaloides en material vegetal por ICP-MS	0,004
-------------	---------	--	-------

Nota. Laboratorio de química analítica Agrosavia