

**EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CADMIO EN ALMENDRAS DE
CACAO (*Theobroma cacao* L.) EN EL CONSEJO COMUNITARIO UNIÓN RIO
CHAGÜI DEL DISTRITO DE TUMACO**

GINA YOELIS PRECIADO MOLINA

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROFORESTAL
SAN ANDRÉS DE TUMACO
NOVIEMBRE, 2021**

**EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CADMIO EN ALMENDRAS DE
CACAO (*Theobroma cacao* L.) EN EL CONSEJO COMUNITARIO UNIÓN RIO
CHAGÜI DEL DISTRITO DE TUMACO**

GINA YOELIS PRECIADO MOLINA

**Trabajo de grado, modalidad tesis de grado, presentado como requisito parcial para
optar el título de Ingeniero Agroforestal
MODALIDAD: TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

Presidente

WILLIAM BALLESTEROS POSSU, PhD.

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROFORESTAL
SAN ANDRÉS DE TUMACO
NOVIEMBRE, 2021**

NOTA DE RESPONSABILIDAD

“Las ideas y conclusiones aportadas en el trabajo son responsabilidad exclusiva de su autor”

Artículo 1º de acuerdo 324 de octubre 11 de 1966 emanado por el Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño

NOTA DE ACEPTACIÓN

Jorge Fernando Navia Estrada PhD.
Jurado delegado

Jairo Hernán Mosquera Guerrero 2 PhD.
Jurado

William Ballesteros Possú. IAF. Ph.D.
Presidente

AGRADECIMIENTOS

A Dios, indudablemente es quien me permite este logro profesional, gracias por prestarme la vida y por hacer de mí una mujer paciente, perseverante y valiente, con el todo, sin el nada.

Al doctor William Ballesteros Possú, mi presidente y asesor de tesis, quien formo parte importante de este trabajo con sus aportes profesionales que lo caracterizan, sin usted y sus virtudes, su paciencia y constancia este trabajo no lo hubiese logrado.

A los jurados Jorge Fernando Navia Estrada y Jairo Hernán Mosquera Guerrero, por su acompañamiento, sus conocimientos rigurosos y precisos.

A los docentes, gracias por su paciencia, por compartir sus conocimientos de manera profesional e invaluable, por su dedicación, tolerancia y perseverancia, a mis compañeros de batalla, con quien compartí momentos inolvidables, buenos y malos, gracias por su acompañamiento, y por supuesto a la Universidad de Nariño quien presto los mejores profesionales para que nos instruyeran de la mejor manera.

A mi querida familia, mis padres y hermanas, esto va dedicado a ustedes porque estuvieron siempre a mi lado en los días y noches más difíciles durante mis horas de estudio, quienes tomaron este proyecto como suyo, gracias por apoyarme en todo momento y darme una voz de aliento, ustedes han sido el motor que impulsa mis sueños y esperanzas.

DEDICATORIA

A Dios, por su bondad infinita.

A mi padre, por su apoyo sin condiciones.

A mi madre, una mujer excepcional, por brindarme siempre su amor y comprensión.

A mis hermanas, por acompañarme siempre en este proceso, este logro también es de ustedes, son las mejores.

Gina Yoelis Preciado Molina

RESUMEN

El cadmio se ha convertido en un enemigo para la salud humana, cuando se acumula en el organismo, es el responsable de serias enfermedades que lo deterioran lentamente. Esta investigación se realizó en el Consejo comunitario Unión Rio Chagüi del Distrito Especial de Tumaco que se encuentra ubicado en el pacífico sur de Colombia a 2°48'24" de latitud norte y 78° 45'53" de longitud oeste, a 304 kilómetros de la ciudad de san Juan de Pasto, para determinar la concentración de niveles de cadmio en almendras de cacao (*Theobroma cacao* L.) donde se tomaron muestras aleatorias de cacao tipo exportación en los centros de acopios ubicados en las veredas Cuarazanga, San pedro, Nueva vista, Pacora y Palambí, las muestras fueron tomadas según el protocolo de muestras elementales de la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 177.95. y fueron enviadas al laboratorio de química analítica de Agrosavia ubicado en Tibaitatá Cundinamarca, estas fueron analizadas mediante el método de absorción atómica de llama. Los resultados de las muestras de almendras de cacao muestran diferencias significativas en la concentración de cadmio, en las muestras de almendras de cacao tomadas en la vereda Palambí se detectaron niveles de cadmio que exceden considerablemente lo permitido por el CODEX alimentario (0,80 mg.kg.). En las veredas restantes se evidencian niveles medios y bajos de cadmio, pero sin superar los niveles máximos permitidos por el CODEX.

Palabras claves: Semillas, cacao, Codex alimentario, variabilidad, centros de acopio, salud.

ABSTRACT

Cadmium has become a concern for human health; when it accumulates in the body, it is responsible for serious diseases that slowly deteriorate it. For this reason, the European Economic Community regulates the concentration of this heavy metal in both cocoa beans and cocoa by-products. Colombian cocoa, especially from Tumaco, is well positioned in the international market for its flavor and aroma; however, exports may be affected if high levels of this metal are detected. This research aims to determine the concentration of cadmium in cocoa beans (*Theobroma cacao* L.) in the community council Unión Río Chagüi, in the district of Tumaco, comparing them with the requirements of the European Food CODEX, which is 0.8 mg.kg. in chocolate with a cocoa dry matter content greater than or equal to 50%. To carry out this research, random samples of export-type cocoa were taken at the collection centers located in the villages of Cuazaranga, San Pedro, Nueva Vista, Pacora and Palambí, belonging to the Community Council Unión del Río Chagüi. The samples were taken according to the protocol of the Ecuadorian technical standard NTE INEN 177. 95 and sent to the analytical chemistry laboratory of Agrosavia located in Tibaitatá Cundinamarca, where they were analyzed by the flame atomic absorption method. The results of the cocoa kernel samples show significant differences in cadmium concentration. In the cocoa beans samples from Palambí, cadmium levels considerably exceeded the levels allowed by the CODEX Alimentarius. In the rest of the villages, medium and low levels of cadmium were found, but without exceeding the minimum levels allowed by the CODEX.

Keywords: Seeds, cocoa, Food Codex, health, variability, collection center

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
2.	JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	4
3.	OBJETIVOS	6
3.1	Objetivo general	6
3.1.1	Objetivos específicos.....	6
4.	MARCO REFERENCIAL	7
4.1	Generalidades	7
4.1.1	Historia	7
4.1.2	Características.....	7
4.1.3	Descripción botánica	8
4.1.4	Morfología.....	8
4.1.5	Importancia económica.....	9
4.2	Cadmio	10
4.2.1	Contaminación por cadmio en algunos cultivos.....	11
4.2.2	Contaminación por cadmio en cultivos de cacao	12
5.	METODOLOGÍA.....	15
5.1	Localización.....	15
5.2	Suelos de Tumaco.....	16
5.3	Determinación de la zona de estudio.....	17
5.4	Diseño experimental	18
5.4.1	Muestreo	18
5.4.2	Cuantificación de cadmio en laboratorio de química analítica.....	19
5.5	Variables a evaluar	20
5.5.1	Análisis estadístico	21
6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
6.1.1	Implicaciones de la presencia de cadmio en almendras de cacao	27
7.	CONCLUSIONES.....	28
8.	RECOMENDACIONES	29
9.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Resultados de laboratorio de química analítica de Agrosavia (concentración de cadmio en almendras de cacao).....	22
---	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de Consejos comunitarios del distrito de Tumaco	16
Figura 2. Concentración de cadmio de las 5 veredas del Consejo comunitario Unión del río Chagüí y el CODEX alimentario.....	24

1. INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma Cacao L.*) es originario del continente americano, muy importante desde la antigüedad por sus características, propiedades y beneficios, además, de su gran importancia en Colombia, pues de él dependen más de 35.000 familias y genera 7.000 millones de pesos por año (Fedecacao, 2014). El balance del tema del cacao del año 2019 fue positivo, casi se logran las 60 mil toneladas de producción a nivel país, lo que se constituye en la segunda producción más alta en toda la historia de Colombia y el incremento de la producción se debe a las buenas prácticas que vienen realizando los cacaocultores colombianos, que, para el año 2018 la productividad por ha de cacao a nivel nacional se encontró en 0,53 ton por año, sin embargo, en el departamento de Nariño la productividad es muchísimo más baja con un rendimiento de 0,24 ton/ha por año (Agronet, 2018).

El mayor atractivo del cacao en los mercados internacionales es la distinción de “fino de aroma”, la cual fue otorgada por el International Cocoa Organization (ICCO, 2013), al ser fino de aroma, el cacao colombiano tiene mayores oportunidades de exportación en mercados europeos, cuyos consumidores valoran las buenas características de sabor y aroma.

El Distrito de Tumaco tiene gran participación a nivel nacional en la producción de cacao fino y de aroma, ya que cuenta con 18 mil hectáreas sembradas, sin embargo, para acceder a estos mercados especiales, se deben cumplir con características no solo de calidad sino

también de inocuidad, de aquí la necesidad de evaluar la presencia de metales pesados en el grano (Agrosavia, 2019).

Uno de los contaminantes que pueden estar presentes en estos cultivos y que afecta la inocuidad, es el cadmio (Cd), metal pesado distribuido en diferentes tipos de suelos y presente en diferentes concentraciones alrededor del planeta, su presencia en suelos agrícolas es de gran importancia ya que este puede translocarse del suelo o del ambiente al cultivo y de ahí al ser humano (Caligiani, 2015).

Actualmente, en Colombia, diferentes centros de investigación, universidades y empresas llevan a cabo la realización de la cuantificación de Cd en cacao, bajo diferentes metodologías de análisis, lo cual pone en evidencia que existe la necesidad de fortalecer y unificar las metodologías de análisis para que los laboratorios cuantifiquen adecuadamente las concentraciones de este tipo de contaminante (Agrosavia, 2019).

En Colombia a partir del 01 de enero del 2019 entró en vigencia el Reglamento (UE) No 488/2014 del 12 de mayo de 2014, que modifica el Reglamento (CE) No 1881/2006, mediante la cual se establecen niveles máximos (NM) de cadmio para el chocolate y productos derivados del cacao, en un rango de 0.10 a 0.80 mg/kg, lo cual podría generar un gran impacto económico en el sector cacaotero colombiano por el cierre de las exportaciones (Invima, 2018), ya que el cacao tiene una cadena productiva amplia; el cacao en grano es la materia prima para las industrias de confitería y de producción de chocolates, cosméticos y farmacéuticos y comprende tres tipos de bienes: el bien primario que es el

grano de cacao, los bienes intermedios que son aceite, manteca, polvo y pasta de cacao y los bienes finales como el chocolate y sus preparados.

En este estudio se evaluó la concentración de cadmio en las almendras de cacao en 5 veredas del consejo comunitario Unión rio Chagüí, para poder determinar si el cacao que se produce en la zona es apto para incursionar en mercados especiales.

2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Elementos pesados como el Plomo (Pb), Cadmio (Cd) Mercurio (Hg), Cobre (Cu) cuando están presentes en cantidades elevadas son considerados tóxicos, teniendo preferencia de acumulación en ciertos órganos y ocasionan problemas graves en la salud humana (Hewitt y Smith, 1998).

Algunos trastornos o quebrantos en la salud del hombre, pueden ser generados por el consumo de productos alimenticios contaminados o por simple exposición de las personas a ambientes contaminados, especialmente por metales pesados; el promedio de vida del hombre a nivel mundial tiende a disminuir frecuentemente y como es conocido por todos, la aparición de un sinnúmero de enfermedades nuevas o enfermedades existentes, en mayor número que antes, son las responsables de este problema. (Naranjo, Córdova, 2016).

Los contaminantes pueden provenir de forma natural, sea por las erupciones volcánicas, debido a la mineralización del material parental o inducidas por el hombre (antropogénicas) donde sobresalen las explotaciones de minas, quemas de basuras urbanas, uso de lodos urbanos en la agricultura, agroquímicos, gases provenientes de las industrias, quema de combustibles fósiles, entre estos el carbón, los derivados del petróleo, etc. (Encina, Arnulfo y Ibarra, 2000).

Las plantas cultivadas representan una importante vía para el movimiento de metales pesados potencialmente tóxicos desde el suelo hacia los humanos, acumulándolos en

diferentes cantidades y en sus diferentes órganos vegetales y reproductivos, resultando contribuciones venenosas en las dietas alimenticias (Kongor et al, 2016).

No obstante, la característica del municipio de Tumaco es de ser productor y exportador de cacao fino y de aroma, entonces, si la venta de cacao proviene de los lugares contaminados, podrían poner en riesgo la adquisición de este producto en los mercados internacionales. Se sabe que cada vez hay mayores exigencias en la inocuidad de los productos que provienen de áreas donde no hay mayores controles de calidad (Pavesi y Siqueira, 2001).

Por lo anterior enunciado, es necesario hacer trabajos exploratorios para identificar si se encuentran concentraciones importantes de cadmio en las estructuras vegetales y proponer estudios específicos en las áreas con problemas.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Cuantificar la concentración de cadmio en almendras de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el Consejo comunitario Unión Río Chagüí del distrito de Tumaco.

3.1.1 Objetivos específicos

- Cuantificar las concentraciones de cadmio en las almendras de cacao en las diferentes veredas del Consejo Comunitario Unión Río Chagüí de Tumaco, a través de la recolección y del análisis de muestras en laboratorio.
- Determinar las implicaciones de las concentraciones de cadmio encontradas en el Consejo Comunitario Unión Río Chagüí de Tumaco con los requerimientos del CODEX alimenticio, teniendo en cuenta los resultados del análisis de muestras en laboratorio.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1 Generalidades

4.1.1 Historia

El cacao (*Theobroma cacao* L.) tiene su origen en la cuenca alta del río Amazonas, en un triángulo formado entre Colombia, Ecuador y Perú, tuvo su apogeo cultural con los aztecas en Centroamérica y posteriormente fue llevado a Europa donde finalmente se masificó su consumo (Avendaño, *et al.* 2011).

4.1.2 Características del cacao

El cacao es un cultivo tropical que se desarrolla en las latitudes comprendidas entre los 10°N y 10°S del ecuador. Está ampliamente extendido en África, Asia, Oceanía y América en plantaciones destinadas a producir esencialmente sus granos o almendras y que son utilizadas principalmente para la producción de chocolates y grasas por industrias alimentarias o cosmetológicas. El cacao (*Theobroma cacao* L.), es una especie del género *Theobroma*, de la familia de las Malvaceae la cual cuenta con más de 22 especies. Es originaria de Sudamérica y domesticada en Mesoamérica. El sistema tradicional de clasificación que aún se emplea indica que existen básicamente tres tipologías de cultivares³ a partir de los cuales se desprenden las variedades, híbridos y clones que hoy se siembran a nivel mundial: los denominados criollos, forasteros y trinitarios (UNCTAD/OMC, 2001).

4.1.3 Descripción botánica

Género: *Theobroma*, que pertenece a la familia Malvaceae y subfamilia Sterculioideae, comprende 22 especies en seis secciones. El área de distribución natural se extiende desde la cuenca del Amazonas por el sur hasta la región meridional de México (18°N a 15°S). Las especies del género *Theobroma* son árboles ramificados con hojas simples y con un fruto indehiscente carnosos (mazorca). Estas mazorcas son cultivadas para el mercado mundial y, principalmente, son obtenidas en formas de la especie *Theobroma cacao* L. Otras especies de *Theobroma* son cultivadas y utilizadas solo localmente (INTA, 2009).

4.1.4 Morfología

Theobroma cacao es un árbol o arbusto semicaducifolio glabro o parcialmente pubescente en ejes jóvenes. De corteza oscura (generalmente, de color gris-café) con ramas cafés y finamente vellosas. Las hojas son coriáceas simples (con limbo duro y espeso), enteras, angostamente ovadas a obovado-elípticas, ligeramente asimétricas, alternas y glabras o laxamente pubescentes en ambas caras y de aproximadamente 17 a 48 cm de largo, con 7 a 10 cm de ancho. La base de las hojas es redondeada a ligeramente cordada y con un ápice largamente apiculado (Gutiérrez, 2012).

El pecíolo es de aproximadamente 14 a 27 mm de largo. Las estípulas son lineares y caducas. Las inflorescencias son caulinares (se originan del tallo) y cimosas o cerradas. Las flores son pentámeras, hermafroditas, actinomorfas, y de 10 a 20 mm de diámetro, con un pedúnculo floral de 1 a 3 cm de largo. Los sépalos son blancos o rosa claros, de 5 a 8 mm de largo y de 1.5 a 2 mm de ancho, angostamente lanceoladas, persistentes y fusionados en la base. Los pétalos son un poco más largos que los sépalos, de 6 a 9 mm de largo, libres,

amarillentos, con dos o tres nervios violetas adentro, glabros, con la parte inferior redondeada o abruptamente atenuada, recurvos y apiculados (Gutiérrez, 2012).

Variabilidad: La especie *Theobroma cacao* comprende una gran variedad de formas y poblaciones muy diferentes. Para la caracterización de las formas y cultivares hoy se utilizan, aparte de características morfológicas (por ejemplo, flores), características agronómicas (por ejemplo, resistencia a enfermedades, forma del fruto y tamaño del grano) y moleculares (isoenzimas); así como, con frecuencia, marcadores genéticos. Las formas de cacao se clasifican tradicionalmente en tres grupos genéticos, como ya se mencionó: criollo, forastero y trinitario. Particularmente, el grupo forastero abarca una alta variabilidad genética, mientras que las formas criollo son genéticamente más estrechamente definidas. el grupo trinitario comprende híbridos entre los dos primeros grupos (Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica, 2013).

4.1.5 Importancia económica

El cacao es de gran relevancia económica, social y ambiental, por esto, en Colombia es constituido en la industria como materia prima para la producción confitera en la industria chocolatera, por otro lado, en nuestro país la producción cacaotera en su mayoría es destinada para la producción de chocolates, logrando productos de calidad y exquisitos sabores, ya que sus propiedades organolépticas hacen que sea catalogado como un producto fino y de agradable aroma (CAF, 2016).

En el país existen alrededor de 35 mil familias productoras de cacao, y en varias de ellas, este cultivo ha sido utilizado como alternativa a los cultivos ilícitos. El grano colombiano

es reconocido a nivel mundial como fino de sabor y aroma, características que sólo posee el 5% de la producción mundial (FINAGRO, 2018).

El cacao es una fuente importante de minerales como hierro, magnesio, zinc y fósforo; contiene hidratos de carbono y grasas constituyéndolo fuente importante de energía para el ser humano. La hiperacumulación de metales pesados en esta planta es el principal factor influyente en la salud humana debido a que el Cd produce nefrotoxicidad severa. La exposición al Cd también ha sido asociada con el desarrollo de osteoporosis, de igual manera se ha coligado la exposición a Cd con una alta mortalidad por cáncer (Clavijo, 2002).

4.2 Cadmio

El Cadmio se considera como contaminante ambiental. En los Contaminantes Ambientales están contemplados los metales pesados, que son un conjunto de elementos que presentan como característica común su elevada densidad. Esta denominación tiene connotaciones de contaminación o toxicidad, pero tienen un escaso significado biológico al agrupar elementos con distinto comportamiento, así, la esencialidad de algunos metales pesados para las plantas superiores (Cu, Fe, Mn, Zn), animales (Co, Cr, Ni) y seres humanos (Fe, Mn, Ni, Zn, Cu, Co, y Cr). Sin embargo, la presencia de otros metales como el cadmio, puede llegar a limitar el crecimiento vegetal y ser toxico para las plantas, animales y seres humanos, ya que es bioacumulable y posible agente carcinogénico humano (Grupo I), según la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC, 1993).

El cadmio es nefrotóxico y puede producir disfunciones en los tubos renales, que se caracterizan por un aumento de la excreción de proteínas. Cuando está presente en el suelo este puede ser extremadamente peligroso, y la toma a través de la comida puede incrementar, el cadmio es un metal pesado considerado como uno de los elementos más tóxicos, junto con el mercurio y el plomo. Se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza asociado a distintos minerales. A su vez, el hombre ha contribuido enormemente a su dispersión desde los inicios de la actividad minero-metalúrgica de otros metales, y más tarde, al descubrirse la gran utilidad del cadmio en el ámbito industrial. La problemática del cadmio radica, además de en su elevada toxicidad, en su larga vida media y en la capacidad para ser acumulado por los seres vivos (Capó, 2007).

4.2.1 Contaminación por cadmio en algunos cultivos

El cadmio fue el causante de uno de los mayores desastres medioambientales conocidos, que afectó gravemente a los habitantes de la cuenca del río Jinzū, en la prefectura de Toyama (Japón). El riego de los campos de arroz desde 1910 hasta 1960 con aguas contaminadas con metales pesados procedentes de minas cercanas supuso la intoxicación grave de parte de la población, en particular mujeres mayores de 50 años. La enfermedad, bautizada como *itai-itai*, cursaba con dolor en las articulaciones, osteomalacia y deterioro de la función renal. El Gobierno japonés llevó a cabo un programa (1980- 2011) para la sustitución del suelo contaminado de los arrozales. Como resultado, la concentración de cadmio en arroz disminuyó notablemente. Pese a ello, el informe de la Agencia del Medio Ambiente de Japón (2009) reveló que todavía hay una alta prevalencia de β 2-

microglobulinuria (indicador de daño renal) entre los habitantes de la cuenca del río Jinzū (Aoshima, 2012).

De acuerdo con Gallego et al. (2012) la presencia de metales pesados en el suelo puede ser beneficioso o tóxico para el medio ambiente. La biota puede requerir algunos de estos elementos básicos (como Fe, Zn, Cu o Mo) en cantidades traza, pero en concentraciones más altas pueden ser peligrosos.

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 principalmente a los estudios adelantados por EFSA (IARC, 1993).

4.2.2 Contaminación por cadmio en cultivos de cacao

El cadmio también ha sido causante de daños en cultivos de cacao, el cacao es un alimento de alto consumo que puede contener cantidades considerables de metales pesados, que podrían afectar la salud del consumidor y que la calidad del cacao colombiano se considera a nivel mundial por encima del promedio, por ser un grano catalogado como fino de sabor y aroma, ligado a que la industria del chocolate es una de las agroindustrias con más tradición en el país (Gómez, 2015).

Los niveles de cadmio en los granos de cacao dependen de una serie de factores, entre ellos: características químicas y biológicas físicas del suelo; el origen del material del suelo (la geología); la contaminación por uso de fertilizantes o agua de riego con alto contenido

de cadmio; y las capacidades de asimilación de los árboles de cacao, influenciadas por su origen genético. Este problema ha sido objeto de numerosas investigaciones llevadas a cabo tanto por los organismos de investigación de los países productores y consumidores y por el sector privado (Rankin, 2018).

El departamento de Santander concentra cerca del 50% de la producción nacional de cacao. Se destacan también los departamentos de Huila, Arauca, Antioquia y Tolima. En estos cinco departamentos se concentra cerca del 80% de la producción nacional (Martínez & Palacio, 2010; Gonzalez, 2010). Santander cuenta con condiciones ideales de suelo y clima para la producción masiva del cultivo de cacao, lo cual la convierte en la zona de mayor producción cacaotera de Colombia. El cordón cacaotero de la región está representado principalmente por los municipios: Landázuri, Carmen de Chucurí, San Vicente de Chucurí, Lebrija, Rionegro y El Playón (UDES, 2018).

Estudios realizados a nivel local, han demostrado la presencia de altas concentraciones de Cd en el suelo, en concentraciones de 0,33 a 6,0 mg/kg de suelo. De acuerdo a diversos reportes generados con base a los análisis de muestras de cacao procedentes del municipio de San Vicente de Chucurí, la concentración de cadmio en muestras de grano de cacao altamente contaminado podría ser hasta de 7 mg/kg de muestra, es decir, cerca de 70 veces el límite permitido (Fedecacao, 2015). Estos valores están afectando las exportaciones de cacao de Santander.

En países como el Ecuador en 2015, las exportaciones de cacao en grano a la Unión Europea alcanzaban 214,5 millones de dólares, representando 30,5 % del volumen total

exportado de cacao en grano por Ecuador en 2015, debido a que es poseedor de uno de los mejores cacaos finos de aroma del mundo, pero la ausencia de tecnificación postcosecha de este rubro puso en riesgo enormemente la calidad del mismo. Además de tener una alta presencia de cadmio en los suelos y su concentración es elevada, por tal razón hay presencia de cadmio en las semillas de cacao (López, 2012). El INIAP-PROMSA (2003), reportaron la presencia de Cd en niveles tóxicos en un suelo cacaotero de la Provincia de El Oro y almendras de cacao con cantidades superiores a 1 mg.kg⁻¹ 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.

5. METODOLOGÍA

5.1 Localización

El trabajo se realizó en el Consejo Comunitario Unión Río Chagüí, en las veredas de San pedro, Palambi, Pacora, Cuarazanga y Nueva Vista, zonas donde se concentra la mayor producción de cacao.

El Distrito de Tumaco se encuentra ubicado al sur este de Colombia a $2^{\circ}48'24''$ de latitud norte y $78^{\circ}45'53''$ de longitud oeste, a 304 kilómetros de la ciudad de san Juan de Pasto. La cacaocultura se desarrolla en la planicie aluvial del andén pacífico, a una altura que oscila entre los 10 y 200 msnm, con una temperatura media de 28°C , humedad relativa de 83.86% y una precipitación anual de 2.531 mm, la región pertenece a las zonas de vida de bosque húmedo tropical (bh-T) y bosque muy húmedo tropical (bmhT), (Alcaldía municipal de Tumaco, 2013) (Figura 1).

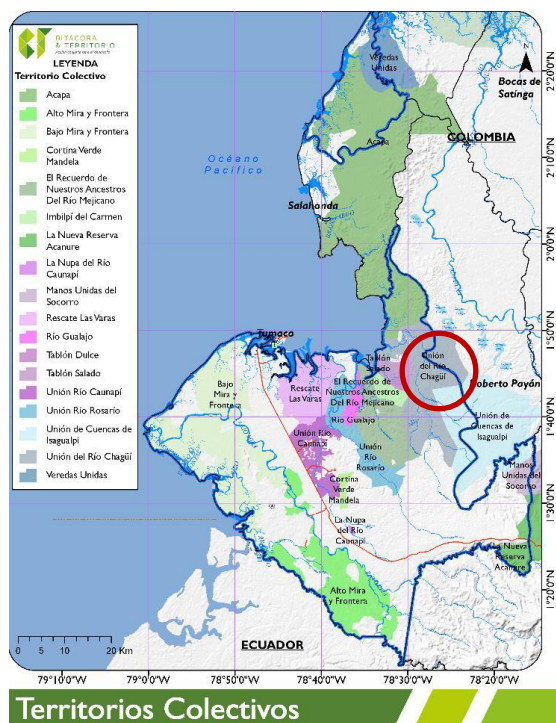


Figura 1. Mapa de Consejos comunitarios del distrito de Tumaco

Fuente: Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural (2017).

5.2 Suelos de Tumaco

En el municipio de Tumaco, se mencionan unidades mayores de clasificación de la geoforma superficial, como son: L: Lomerío; P: Piedemonte; R: Planicie. En el río Chagüí, lugar donde se desarrolló la investigación, se presentan suelos de lomeríos y vegas (Alcaldía municipal de Tumaco, POT 2008-2019). El nivel predominante de la pendiente en este territorio se encuentra entre 0 – 25%. En relación a los suelos de lomerío, son del orden Inceptisol, presentan como característica importante que son “suelos de evolución baja, ubicados en zonas más o menos estables a través del tiempo, con algún grado de

desarrollo, fertilidad variable, desde alta en las zonas de influencia de los ríos, hasta baja en las zonas montañosas y muy húmedas” (IGAC, 2014).

En estas zonas de lomerío también se presentan textura franco arcillosa- arenosa, son suelos naturalmente bien drenados, en estos se identificó un solo perfil hasta los 33 cm, el resto presenta plintita (peña lisa), lo cual pueden restringir la profundidad efectiva para el sistema radical de algunas plantas (Segura J, 2018).

5.3 Determinación de la zona de estudio

La zona de estudio se realizó con base al trabajo de investigación de Ibarra y Reinel (2019), quienes determinaron cadmio y plomo en semillas de cacao de diferentes veredas del municipio de Tumaco (Chagüí, Rescate Las Varas, Alto Mira y Frontera, Bajo Mira y Frontera y Caunapí), siendo el Consejo comunitario Unión del río Chagüí quien obtuvo mayor concentración de cadmio en semillas de cacao (0,428 mg.kg), de acuerdo a esto, se escogieron 5 veredas de este Consejo comunitario para detectar los focos de mayor concentración de cadmio. Por tanto, las muestras de almendras de cacao se recolectaron en los centros de acopio ubicados en cinco veredas que a la vez fungieron como tratamientos fijos, los cuales se describen a continuación.

1.1 Tratamientos

T 1= Cacao proveniente de la vereda Nueva vista

T 2= Cacao proveniente de la vereda Palambí

T 3= Cacao proveniente de la vereda San pedro

T 4= Cacao proveniente de la vereda Pacora

T 5= Cacao proveniente de la vereda Cuarazangá

T6 =Testigo: Rango máximo de cadmio permitido por la comunidad europea, 0,80mg.kg

5.4 Diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar, siendo los tratamientos las condiciones ambientales y de suelo que influyen en cada una de las veredas donde se acopia el cacao, siendo la unidad experimental las almendras de cacao acopiadas, las repeticiones correspondieron a dos muestras de diferentes lotes de cacao producidos en cada vereda, para un total de ocho unidades experimentales y un testigo absoluto; la variable respuesta fue la concentración de cadmio en las almendras muestreadas. Como criterio de selección de las muestras se estableció que fueran muestras compuestas, es decir cacao tomado al azar de varios bultos de cacao seco en el centro de acopio, preferiblemente cacao tipo exportación, para tal fin se utilizó 400 gramos de cacao de los centros de acopio de cada una de las veredas seleccionadas para esta investigación en el consejo comunitario Unión rio Chagüí, se estableció un tratamiento control (testigo) que es el nivel máximo permitido por la comunidad europea para cadmio (CODEX alimentario).

5.4.1 Muestreo

La recolección de almendras de cacao se realizó en cada uno de los centros de acopio (compra y venta de cacao) de 5 veredas del consejo comunitario Unión rio Chagüí: San pedro, Cuararazangá, Nueva vista, Pacora y Palambí, el transporte utilizado fue por vía

fluvial y con acompañamiento de los líderes de cada vereda para garantizar la seguridad y la recolección eficiente de las muestras. En cada centro de acopio se tomó las muestras de acuerdo a la norma técnica del Ecuador NTE INEN 177.95 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2016). Con base en esta norma, se tomaron de diferentes bultos de cacao con la misma capacidad (50 kg de cacao seco), de estos se tomaron submuestras completamente al azar de 100 gramos utilizando caladores de mano, estas submuestras se mezclaron en una muestra común de la cual se tomó una muestra compuesta de 400 gramos.

Las muestras se empacaron de acuerdo a las especificaciones del laboratorio de química de AGROSAVIA; cada muestra de 400 gramos se empaco en una bolsa de papel y luego en una bolsa plástica resellable ziploc, después de esto se hizo la respectiva rotulación teniendo en cuenta el nombre de la vereda, numero de repetición, cantidad en gramos, código de la muestra. Las muestras compuestas se enviaron al laboratorio de química analítica de AGROSAVIA, este laboratorio está ubicado en Tibaitatá- Cundinamarca, el envío se hizo a través de correo certificado.

5.4.2 Cuantificación de cadmio en laboratorio de química analítica

La determinación de los niveles de cadmio se realizó con el método de absorción atómica, que es una técnica extremadamente sensible, y específica debido a que las líneas de absorción atómica son considerablemente estrechas (de 0,002 a 0,005 nm) y las energías de transición electrónica son únicas para cada elemento (Skoog et al., 2001).

Para este trabajo se empezó con la eliminación de impurezas, después se macero la muestra para que esta se volviera homogénea, se pesaron alrededor de 15 g de muestra en crisoles y se colocaron en una mufla con una temperatura de 0 a 450°C con una duración de 5 horas, la muestra se sacó en ceniza para luego humedecerse con 3mL de agua destilada, se homogenizó y se evaporó. Nuevamente se colocó en una mufla con una medida de calentamiento de 100°C/h hasta 450°C por dos horas.

Se utilizo el método AOAC 940.26 (AOAC 2005), este análisis consiste en la pérdida por ignición de todos los componentes orgánicos hasta la obtención de un residuo mineral. Para esto la muestra se trató con 5mL de ácido clorhídrico 6M seguido de la agitación para asegurar el contacto de toda la ceniza con el ácido. Finalmente, las muestras se sometieron a un Espectrofotometro de absorción atómica. Como gas de combustión se utilizó una mezcla de aire- acetileno a una presión de entrada de 2.5Pa y un flujo de 1.0l/minutos. La absorbancia se lee directamente a una longitud de onda de 228.8nm. (Martínez, Palacios 2010), los resultados fueron arrojados directamente en el computador.

5.5 Variables a evaluar

La variable a evaluar fue el nivel de concentración de cadmio en almendras de cacao. Para la determinación de cadmio en almendras de cacao se realizó un análisis de laboratorio, los resultados de estos análisis fueron comparados con los requerimientos del CODEX alimentario que dice que la cantidad de cadmio en almendra de cacao permitido es hasta 0,80 mg.kg.

5.5.1 Análisis estadístico

Se sistematizaron los datos compilados para la realización del análisis estadístico en el que se utilizó un análisis de varianza (ANDEVA), para un diseño completamente al azar. Cuando la diferencia entre las muestras fue significativa se utilizó una prueba de comparación de promedios con la prueba de Duncan, utilizando una probabilidad del 99%, para separar a los tratamientos. Para la ejecución de este análisis se utilizó el software SAS.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el análisis de varianza realizado, se identificaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) en la concentración de cadmio, en los diferentes sitios de muestreo (veredas del consejo comunitario Unión río chagüí), detectando un nivel más alto de cadmio en el tratamiento de la vereda Palambí con una concentración de $1,4 \text{ mg.kg}^{-1}$ respecto a los demás tratamientos.

CODIGO	VEREDA	PROMEDIO
01-SP	SAN PEDRO	0,409
02-NV	NUEVA VISTA	0,54
03-PA	PACORA	0,4595
04-CUA	CUARAZANGA	0,753
05-PAL	PALAMBI	1,4165

Tabla 1. Resultados de laboratorio de química analítica de Agrosavia (concentración de cadmio en almendras de cacao).

Fuente: Elaboración propia (2021).

Los resultados muestran una variabilidad de los niveles de cadmio en todos los tratamientos, es decir, que en unos tratamientos se obtuvo un nivel más bajo, en otros tratamientos un nivel medio, y en otros tratamientos un nivel más alto. Teniendo en cuenta que las muestras fueron tomadas en los centros de beneficio y/o acopio de cada vereda se podría hacer un análisis a groso modo de los resultados obtenidos, los resultados de la vereda Palambí donde se obtuvo mayor cantidad en la concentración de cadmio podrían atribuirse a diferentes factores, sedimentos del río, estos pueden actuar como portadores y posibles fuentes de contaminación porque los metales pesados como el cadmio se quedan permanentemente y pueden ser liberados a la columna de agua por cambios en la

condiciones ambientales como el pH y el potencial redox (Singh *et al.* 2005) agua que se puede utilizar para el riego del cultivo, al manejo de postcosecha en el centro de acopio por injerencia antropogénica, condiciones de Ph en el suelo, zona de almacenamiento del cacao debido a que puede haber presencia de insumos como fertilizantes fosfatados (provenientes de rocas fosfóricas), gasolina, ACPM, detergentes (Cantera *et al.* 2018); al uso de plaguicidas y herbicidas contaminados con cadmio (Jimenez, 2015), teniendo en cuenta que según UNODC (2010), Nariño es uno de los departamentos en donde se cultiva la mayor cantidad de coca. Y para el desarrollo de este tipo de cultivos ilícitos también se utilizan gran variedad de fertilizantes y plaguicidas, los cuales contienen cadmio, generando así más riesgo.

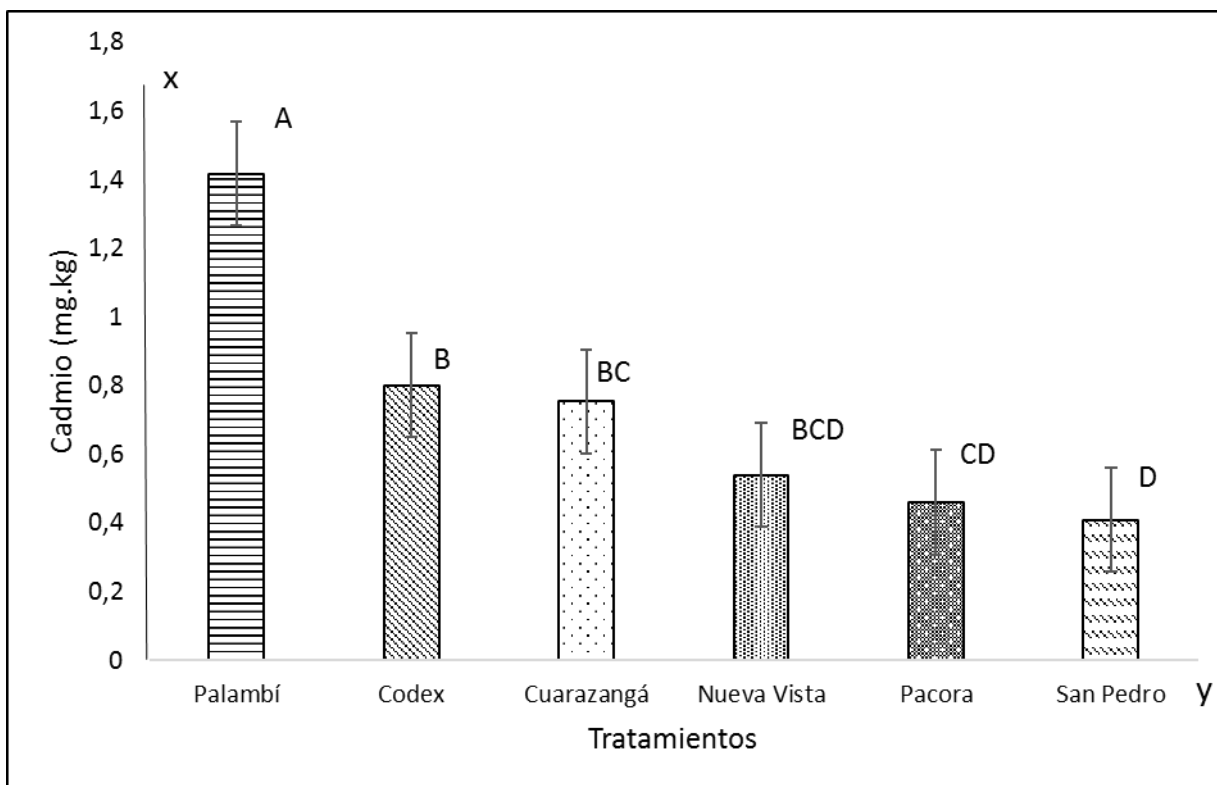


Figura 2. Niveles de concentración de cadmio en mg.kg. de las 5 veredas del Consejo Comunitario Unión del Río Chagüí y el CODEX alimentario.

Fuente: Elaboración propia, (2021).

Estos resultados muestran que las mayores concentraciones de cadmio están en el tratamiento 2 (vereda Palambí) con un promedio de $1,4 \text{ mg.kg}^{-1}$ superando lo permitido por el Codex. Del mismo modo se destaca también, que el tratamiento 5 (vereda Cuarazangá) con un promedio de $0,7 \text{ mg.kg}^{-1}$ está llegando al límite de lo permitido por el Codex alimenticio. Lo que indica que en las mezclas de cacao tomadas las muestras de Palambí y Cuarazangá hicieron un aporte significativo al incremento de los niveles de cadmio. En los tratamientos pertenecientes a las veredas Nueva vista, Pacora y San Pedro se detectó una baja concentración de niveles de cadmio, estos resultados confirman lo reportado en la investigación realizada por Ibarra y Reinel (2019) en el municipio de Tumaco quienes realizaron un estudio para la determinación de cadmio y plomo en semillas de cacao, donde tuvieron en cuenta 5 consejos comunitarios (Chagüí, Rescate Las Varas, Alto Mira y Frontera, Bajo Mira y Frontera y Caunapí), los resultados de esta investigación arrojaron que la mayor concentración de cadmio se encuentra en el consejo comunitario Unión río Chagüí con concentraciones de $0,428 \text{ mg.kg}$. Es de anotar, que concentraciones de cadmio para los 5 consejos comunitarios del municipio de Tumaco siguen siendo bajas de acuerdo con lo que pide el CODEX (Ibarra y Reinel, 2019).

Teniendo en cuenta que la zona cacaotera del Consejo comunitario se desarrolla en las riberas del río, estos resultados tienen similitud con los obtenidos por Cárdenas (2012), quien en el estudio de niveles de cadmio en parcelas con cultivos de cacao de la región

Huanuco en Perú, encontró que los mayores valores de cadmio disponible en suelos y almendras (1.82 y 1.63 ppm) se presentaban en las riberas de los ríos Hullaga debido a que en los sedimentos del río se almacena este metal pesado.

Gramlich et al. (2018) sugirió que la deposición de sedimentos de las inundaciones de los ríos puede ser una fuente clave de cadmio en la capa superior del suelo en sus sitios de estudio en Honduras. Tres estudios en Ecuador han llegado a conclusiones similares, uno de ellos 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; Maurice L., pers. comm.). Chávez et al. (2015) sugirieron 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 su área de estudio, estas mismas características están presentes en la zona de estudio de este trabajo de investigación, debido a que la mayoría de cultivos de cacao se encuentran ubicados en las riveras del río y el agua del río podría estar siendo utilizada para el riego del cultivo.

Otro aspecto que posiblemente contribuye a la mayor concentración de cadmio es el Ph. Isaura (2010), afirma que a menor pH mayor será la solubilidad y disponibilidad del cadmio para ser adsorbido por las plantas de cacao. En un análisis de los suelos cacaoteros de Tumaco realizado por FEDECACAO en el 2017, se indica que los suelos del municipio de Tumaco tienden a ser ácidos con un pH que va desde 4 hasta 6 como lo cita Charrupi y Martínez (2017). Considerando lo anterior, se puede decir que los resultados obtenidos en las muestras analizadas en esta investigación siguen esta hipótesis debido que los suelos de

esta zona tienden a ser suelos ácidos y con un pH menor a 6 ya que es una zona de influencia del río.

Argüello *et al.* (2019) realizaron un estudio a nivel nacional en las principales regiones de cultivo de cacao de Ecuador, recolectando muestras de 159 granjas de cacao, y encontraron una concentración media de cadmio en los granos de 0.90 mg/kg (n=560), con 45% de muestras excediendo 0.60 mg/kg. Resultados similares también fueron encontrados en esta investigación, las concentraciones de las muestras de cadmio superaron los requerimientos del CODEX en ambos estudios.

Martínez y Palacios (2010) realizaron un estudio de determinación de metales pesados cadmio y plomo en suelos y granos de cacao frescos y fermentados mediante espectroscopía de absorción atómica de llama en el departamento del Santander, encontrando niveles de concentración de cadmio de 4 a 7mg/kg, lo cual supera por mucho los niveles máximos permitidos por el Codex alimenticio, cabe mencionar que los suelos del Santander son de origen volcánico lo que hace más alta la concentración; aunque los suelos del municipio de Tumaco no son de origen volcánicos, ni se practica minería, ambos estudios exceden lo permitido por el CODEX alimenticio.

Finalmente, de acuerdo a Pavesi y Siqueira (2001); concuerdan que existen varios métodos para tratar de remediar el efecto de la contaminación por metales pesados, en este caso Cd, que pueden ser usados como alternativas prometedoras a este inconveniente como son: la remoción, lavado, la fitorremediación que involucra el empleo de técnicas biológicas y

químicas. Métodos que podrían ser utilizados para tratar de remediar el problema de altos niveles de concentración de cadmio en las almendras de cacao de la vereda Palambi.

6.1.1 Implicaciones de la presencia de cadmio en almendras de cacao

En Colombia existe gran preocupación creciente por el futuro de las exportaciones del cacao y sus derivados, debido a los lineamientos de la Comunidad Europea, con respecto a los niveles de cadmio (Jiménez-Tobón, 2015). La presencia de altos niveles de cadmio en la almendra de cacao podría tener unas implicaciones negativas en su comercialización, ya que el cacao de Tumaco ha sido caracterizado como de calidad y es reconocido a nivel mundial como uno de los mejores. En el caso específico de la vereda Palambí, y, de acuerdo con el CODEX alimentario, la presencia de este metal en altas concentraciones, puede incidir en la disminución de la demanda de la materia prima y por ende los ingresos del pequeño productor de cacao de la vereda se disminuyen, así mismo, los empleos directos e indirectos que genera la comercialización del grano.

En este estudio hay concentraciones de cadmio que no superan el rango máximo permitido por la el CODEX, sin embargo, existe un riesgo latente porque, aunque no superen los límites puestos por la Unión Europea las concentraciones siguen siendo altas, lo que pone en alerta la situación de inocuidad del cacao de las veredas.

Por otro lado, el consumo de alimentos a base de cacao con altos niveles de cadmio podría generar problemas en la salud humana. El consumo de este metal incurre en la aparición de enfermedades en los riñones, que se manifiesta en forma de daño renal, efecto negativo en los huesos, hasta cáncer.

7. CONCLUSIONES

La concentración de cadmio en las muestras de almendras de cacao de las veredas Palambí, Pacora, San pedro, Nueva vista y Cuarazangá, presentó diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$), el nivel de concentración de cadmio más alto fue encontrado en la vereda Palambí (1,4 mg.kg), superando lo permitido por los requerimientos de la Comunidad Económica Europea (CODEX alimentario), las otras veredas presentaron valores por debajo de lo permitido.

La presencia de cadmio por arriba de lo permitido por el CODEX en la vereda Palambí río Chagüí, puede generar impactos negativos a la hora de comercializar el cacao debido a que las entidades de control, empresas transformadoras, entre otras, exigen bajos niveles de cadmio para poder hacer la compra de cacao y usarlo como materia prima, esto repercute en los ingresos de los pequeños productores del territorio.

8. RECOMENDACIONES

Desarrollar investigaciones en la vereda de Palambí para detectar las fuentes de contaminación por cadmio en estructuras vegetales (suelo, agua, material vegetal, fermentadores, beneficiaderos).

Desarrollar estudios de fitorremediación y biorremediación en las zonas de alta concentración de cadmio.

Desarrollar procesos de sensibilización sobre el manejo de buenas prácticas agrícolas para el cultivo de cacao en el Consejo Comunitario Unión del río Chagüí

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRONET. 2018. Área, Producción y Rendimiento Nacional por Cultivo. Minagricultura. 1-2 p. Disponible en: <https://rb.gy/btc4jx>

AGROSAVIA. 2019. AGROSAVIA lidera en Colombia la unificación de metodologías de análisis para la cuantificación de cadmio en cacao. Bogotá. p 2.

ALCALDIA MUNICIPAL DE TUMACO. Plan de Ordenamiento Territorial, 2016-2019. Tumaco pazión. p 32.

Aoshima K. 2012. Itai-itai disease: cadmium-induced renal tubular osteomalacia. Nihon Eiseigaku Zasshi. P 67(4). Disponible en: <https://rb.gy/h1uhe1>

Argüello, D., Chavez, E., Lauryssen, F., Vanderschueren, R., Smolders, E., & Montalvo, D. 2019. Soil properties and agronomic factors affecting cadmium concentrations in cacao beans: A nationwide survey in Ecuador. Science of the Total Environment, 649, 120–127

Avendaño, et al. 2011. *Diagnóstico del cacao en México*. México. SAGARPA. 2 p. Disponible en: <https://rb.gy/nzajyd>

CAF. 2016. Observatorio del cacao fino y de aroma para américa latina. Iniciativa latinoamericana del Cacao.

Cantera, V., Mateus, E., Muñoz F., Montoya, C., Herrera, J., & Loy, J. 2008. Estudio roca fosfórica. *Gobernación del Huila*. Septiembre. 2016. 67-69 p.

Caligiani, A. Marseglia, G. Palla. 2015. Cacao: Producción, Química y Uso. Departamento de Ciencias de la Universidad de Parma Alimentos. Italia. 125-127 p.

Capó Martí M.A. 2007. Principios de ecotoxicología: diagnóstico, tratamiento y gestión del medio ambiente. Editorial Tebar. 1-2 p. Disponible en: <https://rb.gy/btc4jx>

Charrupi, R. & Martínez, N. 2017. Estudio ambiental del cadmio y su relación con suelos destinados al cultivo de cacao en los departamentos de Arauca y Nariño. (Tesis de grado de ingeniería ambiental y sanitaria), Universidad de la Salle. Bogotá.

Chavez, E., He, Z. L., Stoffella, P. J., Mylavarapu, R. S., Li, Y. C., Moyano, B., & Baligar, V. C. 2015. Concentration of cadmium in cacao beans and its relationship with soil cadmium in southern Ecuador. Science of the Total Environment, 533, 205–214

Clavijo, A. 2002. Fundamentos de química analítica: equilibrio iónico y análisis químico primera edición (2002). 46-47 p.

Encina R., Arnulfo y José Ibarra. 2002. El Ordenamiento Territorial, Medio Fundamental para el Bienestar de la Población. Revista Población y Desarrollo. Facultad de Ciencias Económicas-UNA/FNUAP. Ed. N° 23.

FEDECACAO. 1953. Caracterización fisicoquímica y beneficio del grano de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Colombia - *Theobroma cacao* L. 10 p.

FEDECACAO. 2014. El cacao un ganador de la administración Uribe. Revista Editorial. Bogotá. 2015. 12 p.

FINAGRO. 2018. Inteligencia de mercado: CACAO. Unidad de Gestión de Riesgos Agropecuarios -UGRA. Bogotá. 2018.

Gallego S; Liliana B. Pena; Roberto A. Barcia; Claudia E. Azpilicueta; María F. Iannone; Eliana P. Rosales. 2012. Unravelling cadmium toxicity and tolerance in plants: Insight into regulatory mechanisms. In *Environmental and Experimental Botany*. 8-9 p.

Gong, Y., Zhao, D., & Wang, Q. 2018. An overview of field-scale studies on remediation of soil contaminated with heavy metals and metalloids: Technical progress over the last decade. *Water Research*, 147, 440–460. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.10.024>

Gramlich, A., Tandy, S., Gauggel, C., López, M., Perla, D., Gonzalez, V., & Schulin, R. 2018. Soil cadmium uptake by cocoa in Honduras. *Science of The Total Environment*, 612(September 2017), 370–378

Hernández E; Hernández J; Avendaño C; López G. 2015. Factores socioeconómicos y parasitológicos que limitan la producción del cacao en Chiapas, México. *Sociedad mexicana defitopatología*. Mexico. 23-25 p.

IARC-Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer. 1993. Cadmium and cadmium compounds. IARC Monogr Eval Carcinog Risks Hum. Disponible en: <https://rb.gy/nnjhze>

Ibarra K; Reinol G. 2019. Determinación de cadmio y plomo en semillas de cacao en el municipio de Tumaco. Tesis de grado Ingeniero Agroforestal. Universidad de Nariño. Tumaco- Colombia.

INVIMA- Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos. 2018. Propuestas de niveles máximos para el cadmio en el chocolate y productos derivados del cacao de Colombia. Bogotá. 4 p. Disponible en: <https://www.invima.gov.co/web/guest/alimentos-y-bebidas-alcoholicas>

INVIMA- Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos. 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. Grupo del Sistema de Análisis de Riesgos Químicos en Alimentos y Bebidas Dirección de Alimentos y Bebidas. Bogota-Colombia. 4-5 p. Disponible en: <https://rb.gy/rfbosu>

INTA- Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria. 2009. *Guía Tecnológica del Cultivo de Cacao*. 4° ed. Managua. 37 p.

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTIN CODAZZI (IGAC). 2004. Estudio general de suelos y zonificación de tierras. Departamento de Nariño. Bogotá.

Isaura, R. 2010. Capacidad de amortiguación de la contaminación por plomo y por cadmio en suelos de la comunidad de Madrid. Universidad Complutense de Madrid. Departamento de Edafología. Recuperado de <https://eprints.ucm.es/12511/>

Jiménez Tobón, Claudia Stella. (2015). Estado legal mundial del cadmio en cacao (*Theobroma cacao*): fantasía o realidad, Producción más limpia, 10(1), 89-104.

Kabata-Pendias, A. (2010). Trace Elements in Soils and Plants, CRC Press; Fourth Edition. 548p.

Khan A. 2006. Mycorrhizoremediation- an enhanced form of phytoremediation. J Zhejiang Univ Sci, 7:503-14

Londoño. M. 2019. AGROSAVIA lidera en Colombia la unificación de metodologías de análisis para la cuantificación de cadmio en cacao. Agrosavia. Cundinamarca. 2019. 6-7 p. Disponible en: <https://rb.gy/xqhqsq>

Martínez. G & Palacios C. 2010. Determinación de metales pesados cadmio y plomo en suelos y granos de cacao fermentados mediante espectroscopia de absorción atómica de llama. (Tesis de grado química). Universidad industrial del Santander, Bucaramanga.

Meter A., Atkinson R.J. y Laliberte B. (2019). Cadmio en el cacao de América Latina y el Caribe – Análisis de la investigación y soluciones potenciales para la mitigación. Bioversity International, 84 p

Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica. 2013. Tecnología moderna en la producción de cacao: manual para productores orgánicos. San José, C.R. 57 p.

Rankin S. 2018. Hablemos del cadmio en el cacao andino. CIAT. Colombia. 2018. Disponible en: <https://rb.gy/cr5svn>

Rodríguez Albarracín, H. S., Darghan Contreras, A. E., & Henao, M. C. (2019). Spatial regression modeling of soils with high cadmium content in a cocoa producing area of Central Colombia. Geoderma Regional, 16, e00214.

Segura J. 2018. EVALUACIÓN DE ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE SUELOS CULTIVADOS CON CACAO, *Theobroma cacao* L, EN EL MUNICIPIO DE TUMACO, NARIÑO. Universidad de Nariño. San Juan de Pasto. 46 p.

Skoog, D., Holler, J. & Nieman T. 2002. *Principios de Análisis Instrumental*. España: Mac Graw Hill. 1024 p.

The International Cocoa Organization- ICCO. 2013. Manual Técnico del Cultivo de Cacao Practicas Latinoamericanas. Costa Rica. 2013. 4-9 p.

Torres Gutiérrez, LA. 2012. Manual de producción de cacao fino de aroma a través de manejo ecológico. Universidad de Cuenca. Ecuador. 137 p.

UNODC. 2010. Oficina de la Naciones Unidas para la Droga y el Delito. Nariño, uno de los departamentos donde se cultiva la mayor cantidad de coca.

VECO. 2016. Exportación de cacao ecuatoriano se ve amenazado por altos niveles de cadmio. Rikolto en Latinoamérica. Ecuador. 1 p. Disponible en: <https://rb.gy/rkfqrr>

