

**DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE CADMIO Y PLOMO EN SEMILLAS
DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) EN TUMACO NARIÑO**

KATTY MARCELA IBARRA SOLIS

GONZALO REINEL BARREIRO

UNIVERSIDAD DE NARIÑO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROFORESTAL

SAN ANDRÉS DE TUMACO

2019

**DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE CADMIO Y PLOMO EN SEMILLAS
DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) EN TUMACO NARIÑO**

KATTY MARCELA IBARRA SOLIS

GONZALO REINEL BARREIRO

**Proyecto de Trabajo de Tesis de Grado como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero agroforestal**

PRESIDENTE DE TESIS

WILLIAM BALLESTEROS POSSU, PhD.

UNIVERSIDAD DE NARIÑO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROFORESTAL

SAN ANDRÉS DE TUMACO

2019

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

William Ballesteros Possú. IAF. Ph.D.

Presidente

AGRADECIMIENTOS

A Dios padres el que todo lo puede y nos permite alcanzar este maravillo logro profesional. A nuestros padres, hermanos y familiares por el apoyo, confianza y fortaleza brindada que nos dio la motivación para trabajar día a día para conseguir nuestro objetivo.

A la universidad de Nariño, el alma mater que nos dio un cupo dándonos la oportunidad de pertenecer a su comunidad educativa para formarnos como profesionales íntegros, a todos los docentes que nos brindaron su enseñanza, a nuestros compañeros con los que compartimos sin numero de momentos y nos ayudaron para cumplir esta meta.

A nuestro presidente y asesor de tesis el doctor William Ballesteros Possú, quien nos motivó, asesoro de la mejor manera, y nos apoyo para llevar a cabo nuestro proyecto investigativo, sin lugar a duda sin el este logro no había podido ser posible.

A nuestros jurados de tesis Hector Ramiro Ordoñez jurado I.f. PhD y Paulo cesar Cabrera Monaco I.AF. Msc, por su colaboración y acompañamiento.

DEDICATORIA

Primeramente a dios por permitirme llegar a este momento, a mi padre Yovin Ibarra, a mi madre Luz Beatriz solis, a mis hermanos, por acompañarme en este proceso apoyarme para seguir adelante y aguantar mi comportamiento.

A mis demás familiares y amigos que contribuyeron en mi proceso de formación, siendo de mucha ayuda en los momentos que los necesite

A mi compañero de tesis y novio, por estar ahí cuando lo necesito, apoyarme, y por soportarme. Empezamos juntos este proceso y me alegra inmensamente que lo culminemos juntos.

Katty marcela Ibarra solis

DEDICATORIA

Primeramente darle las gracias a Dios y dedicarle este gran objetivo que sin la presencia del no hubiera sido posible y me ha guiado en todo este proceso tanto de formación como espiritualmente para saber tomar sabias decisiones.

A mi madre Juana de Jesus Barreiro Cortes por el apoyo incondicional, lucha, entrega, sacrificio, amor y cariño que siempre me ha brindado y confianza que ha depositado en mí, a mis hermanas Ivania Elizabeth Reinel y Maria Margarita Reinel por ese amor, paciencia y apoyo que siempre me ha demostrado y de una u otra manera me han servido ejemplo de lucha y constancia para salir adelante, a mi tia Teresa Barreiro que ha sido una mujer que me ha brindado los valores necesarios e indispensables para ser una gran persona.

A mis Familiares y amigos que estuvieron pendientes en todo este proceso y apoyándome en los momentos más difíciles.

A mi compañera de tesis, amiga y compañera sentimental por esos momentos buenos y malos en los que estuvo siempre a mi lado apoyándome, por esa comprensión, cariño y amor.

Gonzalo Reinel Barreiro.

Determinación del contenido de cadmio y plomo en semillas de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Tumaco Nariño

Determination of cadmium and lead in cocoa seeds (*Theobroma cacao* L.) in Tumaco Nariño

Katty Marcela Ibarra Solis¹, Gonzalo Reinel Barreriro¹, William Ballesteros Possú²

¹ Estudiante egresado Programa de Ingeniería Agroforestal, Sede, Tumaco

² Ph.D. Docente programa de Ingeniería Agroforestal, FACIA, UDENAR. Email: wballesterosp@gmail.com

RESUMEN

La presencia de metales pesados en las semillas de cacao y sus subproductos está siendo cuestionada por los consumidores de este producto a nivel de la comunidad económica europea. Estas restricciones pueden poner trabas a las exportaciones de cacao de Colombia y en particular las de Tumaco, en donde se produce uno de los mejores cacaos del mundo. Con el presente trabajo se pretende determinar cuáles son las concentraciones de cadmio y plomo en las muestras de cacao tipo exportación de los diferentes Consejos Comunitarios y cuál es su estado comparado con el CODEX alimentario europeo de 0,86 y 1,0 mg.kg-1 de cacao para cadmio y plomo, respectivamente. Se tomaron muestras aleatorias en cacao tipo exportación en los centros de acopio de los consejos comunitario Caunapi, Bajo Mira y Frontera, Alto Mira y Frontera, Chagui y Las Varas, siguiendo el protocolo de muestras elementales según la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 177.95. Las muestras fueron analizadas mediante el método de absorción atómica de llama. Los resultados obtenidos indican que las concentraciones de cadmio y plomo en las muestras de granos de cacao tomadas fue muy inferior a los niveles mínimos aceptados por el CODEX alimentario europeo. Los niveles encontrados oscilan entre 0 y 0,43 mg.kg-1 de cacao para cadmio y 0 y 0,61 mg.kg-1 de cacao para plomo.

Palabras clave: Agroecosistema, cacao, cultivo, metales pesados, semillas.

ABSTRACT

Heavy metals in cocoa beans and their by-products is being questioned by consumers of the European economic community. These restrictions can put obstacles to Colombia's cocoa exports and in particular those from Tumaco, where one of the best cocoa in the world is produced. This paper aims to determine the concentrations of cadmium and lead in the cocoa beans in different Afrocolombian Community Councils and what is their status compared to the European alimentarius CODEX. To carry out this investigation, random samples of the export-type cocoa beans in the Afrocolombian community councils' collection centers located in Caunapi, Bajo mira y Frontera, Alto Mira y Frontera, Chagui and Las Varas were gathered, according to the protocol of elementary samples of the NTE Ecuadorian technical standard INEN 177.95. The samples were analyzed by the flame atomic absorption method. The results indicate that the concentrations of cadmium and lead in the samples of cocoa beans were much lower than the minimum levels accepted by the Economic European Community CODEX. These levels ranged from 0 to 0,43 mg.kg⁻¹ of cocoa for cadmium and 0 to 0,61 mg.kg⁻¹ of cocoa for lead.

Keywords: Agroecosystem, cocoa, cultivation, heavy metals, seeds.

INTRODUCCIÓN

El cacao (*Teobroma cacao L.*), originario de Suramérica, se cultiva en regiones cálidas y húmedas en más de 50 países ubicados en cuatro continentes (África, América, Asia y Oceanía); 23 de esos países son de América y en ellos se produce cacao con fines comerciales, lo que convierte el cacao en un cultivo de gran importancia económica, social, ambiental y, particularmente, cultural (Arévalo-Gardini *et al.*, 2016). Este cultivo representa los ingresos de más de 150.000 familias y genera alrededor de 1.500.000 empleos directos en la cadena productiva (ICCO, 2018).

La producción de cacao en América abarca una superficie superior a 1.700.000 ha y genera flujos comerciales superiores a los 900 millones de dólares de exportaciones anuales (Arévalo-Gardini *et al.*, 2016). En Colombia, se producen alrededor de 101.019,94 ton, en 190.469 ha, con un rendimiento promedio de 0,53 ton.ha⁻¹ (AGRONET, 2019). Los departamentos más productores son: Santander (24,64%), Arauca (10,41%), Antioquia (10,68%) y Tolima (6,59%) (FINAGRO, 2017). En Colombia, el cacao es clasificado como fino de aroma (Federación nacional de cacaoteros (FEDECACAO, 2011).

En Nariño la actividad cacaotera se desarrolla principalmente en Tumaco donde se estiman establecidas 19.000 ha (Ministerio de Agricultura y Desarrollo (MINAGRICULTURA, 2018). por las condiciones agroclimáticas de esta región el cacao ha desarrollado muy buenas características organolépticas, es decir un buen sabor y aroma, por esto ha logrado ubicarse entre los mejores del mundo, en el Centro de Exposiciones de la Puerta de Versalles en París, Colombia obtuvo en el 2015 un primer premio con un cacao de Tumaco (Bautista, 2019).

Sin embargo, el cacao presenta una limitante atribuida a su asimilación de cadmio y plomo del suelo, esto genera preocupación ya que estos son metales pesados de carácter toxico para los seres humano que provocan afecciones a la salud. Estos elementos se encuentran de forma natural en la corteza terrestre en forma de minerales, de ahí puede ser absorbida por las plantas (Prieto *et al.*, 2009).

El informe de la United Nations Environment Programme (UNEP) del 2008, señala que en la mayoría de los países que poseen cultivos agrícolas se encuentra la mayor parte de la ingesta de metales pesados como el Cd. Es decir, la mayor parte de la exposición crónica de este metal pesado es un resultado directo de la ingesta de alimentos derivados de plantas (Clemens *et al.*, 2013).

En los Reglamentos (CE) N° 466/2001 y (CE) N° 1881/2006 se fijan el contenido máximo de determinados contaminantes entre los que se encuentran los metales pesados cadmio y plomo, Donde el nivel máximo permitido es de 0,8 mg.kg-1 para cadmio y 1mg.kg-1 para plomo. Cabe señalar que, mediante este Reglamento, se deroga el Reglamento (CE) N° 194/1997. Además, el Reglamento (CE) N° 78/2005 modifica el Reglamento (CE) N° 466/2001. La Unión Europea notificó que esta adición al Reglamento 1881 de 2006 comienza a ser obligatoria a partir de enero de 2019 (European Comission, 2013) y lo ratifica en el reglamento 488 del 12 de mayo de 2014 (Legiscomex, 2017).

En Colombia se ha detectado en promedio 3,15 mg.kg-1 de Cd, que son altos comparados con lo exigido. Pero en el departamento de Santander, se han encontrado niveles de hasta 4 - 7 mg.kg-1 de Cd lo que equivale casi a 700 veces lo permitido por el CODEX alimentario (0,8 mg.kg-1) (Guerra *et al.* 2017). Esto genera gran preocupación para el futuro de las exportaciones del cacao y sus derivados, debido a los requerimientos de la Comunidad Económica Europea.

Esta preocupación ha hecho que los exportadores y productores de cacao se den a la tarea de investigar sobre los niveles de cadmio y plomo en los cultivos, especialmente sus contenidos en los granos y generar estrategias para reducirlo o mantenerlos en sus niveles más bajos. Con la presente investigación se pretende conocer cuál es la concentración de cadmio y de plomo en granos de cacao en los diferentes núcleos productivos de los Consejos Comunitarios del municipio de Tumaco.

MATERIALES Y METODOS

Localización. El presente estudio se realizó en cinco consejos comunitarios del municipio de Tumaco (Chagüí, Rescate Las Varas, Alto Mira y Frontera, Bajo Mira y Frontera y Caunapí). El municipio de Tumaco se encuentra ubicado al sur este 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. 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 (bmh-T), (Alcaldía municipal de Tumaco,

2013) (Figura 1).

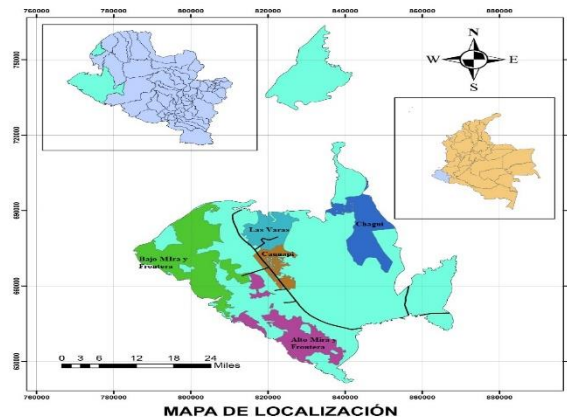


Figura 1. Localización de las zonas de estudio.

Diseño experimental. Para la toma de muestras de granos de cacao se seleccionaron los Consejos Comunitarios con la mayor producción de cacao en el municipio: Las Varas (398.8 ton.año⁻¹), Chagüí (354 ton.año⁻¹), Alto Mira y frontera (272 ton.año⁻¹), Bajo Mira y frontera (197. ton/año 8 ton/año), y Caunapí (172.9 ton.año⁻¹), (FEDECACAO, 2016). En un área de 7344,73 ha distribuidas de la siguiente manera: Rescate Las Varas: 2098.94, Chagüí: 1863.15, Alto Mira y Frontera 1431,57, Bajo Mira y Frontera 1041,05263 y Caunapi 910 ha.

Se utilizó un diseño completamente al azar por localidades siendo la localidad la procedencia del cacao (Consejos Comunitarios). En cada localidad (Consejo Comunitario), se tomaron muestras compuestas en diferentes centros de acopio. La muestra consistió de

500 gramos de cacao fermentado y seco (tipo exportación), con tres repeticiones dentro de cada localidad, y se estableció un tratamiento control (testigo) el nivel máximo permitido por la comunidad europea para cadmio y plomo (CODEX alimentario).

Tratamientos

T1: Testigo, rango máximo permitido por la comunidad europea, $0,8\text{mg.kg}^{-1}$ para cadmio y 1mg.kg^{-1} para plomo

T2. Cacao procedente del Consejo Comunitario rio Caunapí (Vuelta larga, La Brava, Dos quebradas)

T3. Cacao procedente del Consejo Comunitario Bajo Mira y Frontera (Puerto Nidia, Bajo Jagua, El Naranjo)

T4. Cacao procedente del Consejo Comunitario Alto Mira y Frontera (Imbilí, La Vega, Pital)

T5. Cacao procedente del Consejo Comunitario rio Chagüi (El Chorro, Palambi, Las Mercedes)

T6. Cacao procedente del Consejo Comunitario Rescate Las Varas (Robles, Piñal Dulce, Piñal Salado)

Toma de muestras. Para la obtención de muestras se identificaron a los líderes de cada uno de los consejos comunitarios, lo que permitió llegar a los diferentes centros de acopio par la toma de las muestras, este proceso se llevó a cabo durante un mes y medio, se logró llegar a 3 veredas de los diferentes consejos comunitarios mediante vías terrestre y marítima: Rescate las varas (Robles, Piñal dulce, Piñal salado), Alto Mira y Frontera (La vega, Pital Piraua, Imbili), Bajo Mira y Frontera (Puerto Nidia, Bajo Jagua, El Naranjo), Chagüi (El Chorro, Palambi, Las Mercedes) y Caunapi (Vuelta larga, La Brava, Dos quebradas) , al encontrarse en cada uno de ellos para la toma de muestras se tuvo en cuenta la norma ecuatoriana de muestras elementales NTE INEN 177.95 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2016). Esta norma indica que se deben tomar de diferentes bultos de cacao con la misma capacidad de 50 kg, de estos se toman submuestras completamente al azar de 100 gramos utilizando caladores de mano hasta obtener los 500 gramos. Para verificar la precisión de la muestra, se tuvo en cuenta el número de muestras indicado de acuerdo al tamaño del lote (Tabla 1).

Las muestras fueron expuestas al sol para obtener un porcentaje de humedad homogéneo y adecuado para ser enviadas al laboratorio, esto se hizo debido a que en los centros de acopio no manejan higrómetro para determinar el porcentaje de humedad óptimo que necesitan las muestras. Luego se empacaron en bolsas de papel, se rotularon y marcaron de acuerdo a: municipio, consejo comunitario, vereda, número de muestra y submuestras o repeticiones. Para el envío al laboratorio especializado AGRILAB Laboratorios S.A.S ubicado en la ciudad de Bogotá Colombia, se empacaron en una caja de ikopor y se sellaron herméticamente, evitando dañarlas o contaminarlas.

Tamaño del lote (número de sacos)	Número mínimo de muestras elementales
2-8	2
9-15	3
16-25	5
26-50	8
51-90	13
91-150	20
151-280	32
281-500	50
501-1200	80
1201-3200	125
3201-10000	200
10001-35000	315
35001-150000	500
150001-500000	800
Mayor a 500001	1250
El tamaño de la muestra puede cambiar dependiendo del nivel de inspección acordado entre comprador y vendedor. Muestreo por bultos.	

Tabla 1. Número mínimo de muestras de cacao teniendo en cuenta el tamaño del lote.

Fuente: Instituto Ecuatoriano de Normalización (2016).

Determinación de cadmio y plomo. Teniendo en cuenta que los niveles de plomo y cadmio se encuentran en $\mu\text{g L}^{-1}$ (medidas extremadamente bajas), Gonzales, et al. (2004) indican que se requiere un método eficaz que permita cuantificar estas cifras, por ello; para la determinación de estos metales pesados se utilizó el método de absorción atómica de llama, planteado por Skoog *et al.* (2002), donde se realizó la extracción de los elementos a cada una de las muestras utilizando varios reactivos, mediante los siguientes procesos:

Se inició con la eliminación de impurezas luego se procedió a macerar, homogenizar y mezclar, se pesaron alrededor de 15g de muestra en crisoles y se colocaron en una mufla con una programación de temperatura de 0 a 450°C con una duración de 5 horas. Posteriormente se apagó el horno y la muestra se dejó dentro. Esto para obtener la muestra en ceniza la cual se humedeció con 3ml de agua destilada, se homogenizó y se evaporó. Nuevamente se colocó en la mufla con una medida de calentamiento de 100°C.h⁻¹ hasta 450°C por dos horas.

Después la muestra se colocó con 5ml de ácido clorhídrico 6M seguido de agitación para asegurar el contacto de toda la ceniza con el ácido. La mezcla se evaporó, luego se disolvió el residuo con ácido nítrico 0.1M y se agitó. La solución se dejó en reposo por 2 horas. Finalmente, se agitó y se filtró con el balón aforado 100ml, y se transfirió el contenido a una botella plástica. Posterior a ello se sometieron las muestras a un Espectrofotómetro 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 leyó directamente a una longitud de onda de 228.8nm, este arrojó los resultados directamente a un computador.

Variables evaluadas.

Niveles de concentración de cadmio (mg de Cd/kg de cacao) en semillas de cacao por procedencia.

Niveles de concentración de plomo (mg de Pb/kg de cacao) en semillas de cacao por procedencia.

Análisis estadístico

Los datos recopilados, se sistematizaron con el programa Microsoft Excel, para la realización del análisis estadístico. Un análisis de varianza (ANDEVA) fue suficiente para detectar diferencias estadísticas entre localidades. Una prueba de comparación de promedios de Duncan separó los promedios de las localidades. Para la comparación de los promedios de las localidades con el valor máximo permitido por el CODEX alimentario se utilizó una prueba de Dunnet. Todo el análisis se realizó con una probabilidad del 99%, con la ayuda del software R studio versión 1.1.463.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Concentración de cadmio en semillas de cacao

En el análisis de varianza no se encontraron diferencias estadísticas significativas ($Pr > F = 0,311$) en la concentración de cadmio en las diferentes procedencias o localidades (Consejos Comunitarios) de las muestras tomadas en el municipio de Tumaco detectándose niveles muy bajos (Figura 2). Estos resultados indican que en las muestras de granos de cacao estudiados se encuentra el cadmio en bajas concentraciones ($< 0,5 \text{ mg Cd.kg}^{-1}$). Charrupi y Martínez (2017), en el estudio ambiental del cadmio y su relación con suelos destinados al cultivo de cacao en los departamentos de Arauca y Nariño, encontraron una concentración promedio de 0.62 mg.kg^{-1} de cadmio en los suelos de Tumaco. Estos resultados son altos al compararlos con los resultados obtenidos en este estudio con en granos de cacao ($< 0.428 \text{ mg.kg}^{-1}$).

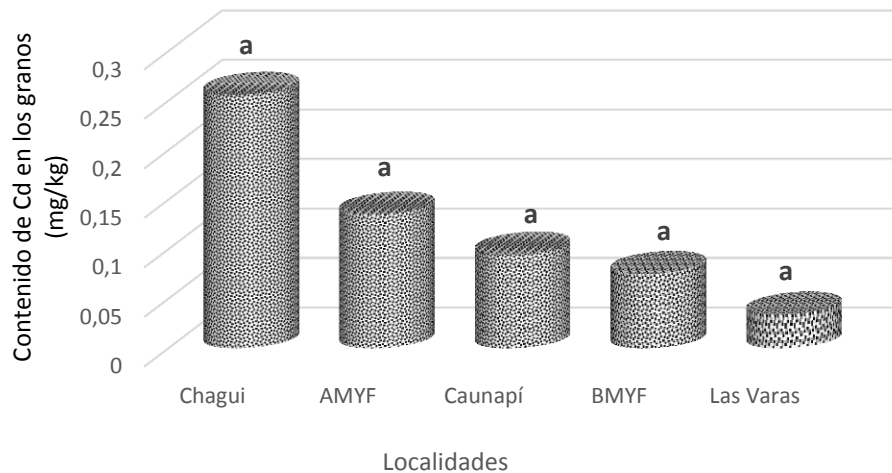


Figura 2. Concentración de cadmio en las cinco procedencias en el municipio de Tumaco.

Martínez y Palacio (2010) en el 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 municipio de San Vicente de Chucurí departamento de Santander encontraron cacos contaminado con cadmio con un rango que va desde los 4 a 7Mg/kg, estos resultados son elevados al compararlos con los de la presente investigación, evidenciando que el cacao del municipio de Tumaco es de mayor calidad puesto que los valores del elemento encontrado en las muestras analizadas no superan el rango máximo permitido por la comisión europea.

Huertos y Baena (2008), mencionan que el cadmio en los suelos puede ser de origen geogénico debido a que este es un metal pesado geo disponible que pasa de la roca fosfórica constituida por apatita compuesta por P y Cd en cantidades que varían entre 8 y 500 mg.kg⁻¹, liberados mediante el proceso de meteorización y lixiviados de mineralizaciones; así mismo, este elemento puede ser de origen antropogénico, producido por los residuos derivados de actividades industriales, agrícolas, mineras, y de los residuos sólidos urbanos (Huertos y Baena, 2008). Estudios del Servicio Geológico Colombiano (2014), indican que Nariño no posee en sus suelos rocas fosfóricas, por ende, en el municipio de Tumaco no existe material litológico (roca fosfórica) que pueda originar el

cadmio de forma geogénica. Por ende, se infiere que la contaminación antropogénica sería la principal causa de la presencia del elemento que posteriormente es asimilado por las plantas de cacao hasta llegar a almacenarse en su semilla.

Alloway (2013), manifiesta que la asimilación del elemento y concentración en sus partes vegetal está dada por muchos factores del suelo que facilitan la movilidad y disponibilidad del mismo; entre estos se encuentran pH, materia orgánica y arcilla; así mismo Kirkham, (2006), menciona que la nutrición de las plantas es relevante para que se dé la asimilación debido a que el cadmio tiene relación con el fósforo (P), ya que en ausencia de este la planta sufre una especie de confusión, y absorbe el cadmio. Los niveles cuantificados de cadmio en las muestras analizadas además de estar relacionadas con la concentración en el suelo sin lugar a duda están asociados con los factores anteriormente mencionados; tal vez el más relevante y con el que se asocian directamente es el pH y los bajos contenidos de P de los suelos de Tumaco.

En un análisis de los suelos cacaoteros de Tumaco realizado por FEDECACAO en el 2017, se indica que los suelos del municipio tienden a ser ácidos con un pH que va desde 4 hasta 6 como lo cita Charrupí y Martínez (2017). Isaura (2010), afirma que a menor pH mayor será la solubilidad y disponibilidad del cadmio para ser adsorbida por las plantas de cacao; sin embargo, los resultados obtenidos en las muestras analizadas en esta investigación no siguen esta hipótesis, debido a que los niveles de cadmio no fueron tan elevados e incluso en algunas muestras no fue detectado; a su vez la baja concentración de este metal en el suelo es el factor más relevante para que los niveles no sean mayores.

Por otro lado, estos resultados tienen similitud con los obtenidos en el estudio de Rodríguez (2017), estableciendo una relación inversa entre el pH y la concentración de cadmio. A modo de ejemplo ellos reportan que con un pH de 3,3 se encontró un Cd total de 0,45ppm y Cd disponible de 0; mientras que, con un pH de 7,5 se encontró niveles de Cd total de 53 ppm y disponible de 57 ppm.

Martínez y Palacio (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 y los resultados obtenidos en la presente investigación, sin embargo cabe mencionar que los suelos del Santander son de origen volcánico lo que hace más alta la concentración y que los resultados difieran mucho con los obtenidos en el municipio de Tumaco donde los suelos no son de origen volcánico. Así mismo esto hace evidente la mayor calidad del cacao obtenido en el municipio de Tumaco el cual se encuentra dentro del rango máximo permitido sin tener ninguna restricción para su exportación.

Al comparar las muestras de granos de cacao de las diferentes procedencias (Consejos comunitarios) del municipio de Tumaco con el estándar de la Comunidad Económica europea (CODEX Alimentario (2014) de 0,80 mg.kg-1, en el análisis de varianza, se encontraron diferencias estadísticas significativas ($P > F < 0,00248$). En la separación de promedios tratamientos mediante la prueba de Dunnet se pudo constatar que las muestras procedentes de Tumaco presentaron diferencias estadísticas con el CODEX europeo. Evidenciando que los niveles de concentración de cadmio encontrados en el municipio se encuentran por debajo del nivel máximo permitido por el CODEX, por ende, no presenta ningún problema con la normatividad europea (Figura 3).

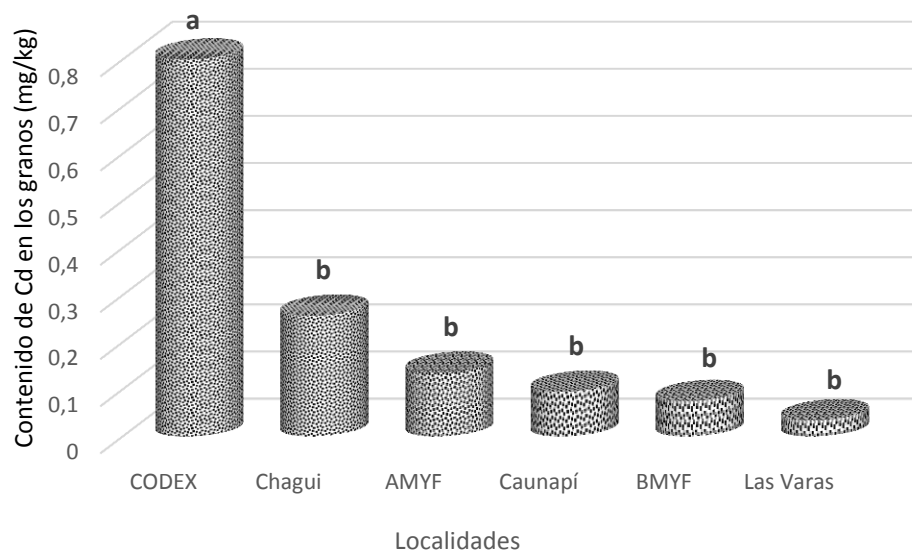


Figura 3. Concentración de cadmio en semillas de cacao de las cinco procedencias y el CODEX alimenticio (2014).

Los resultados muestran que la mayor concentración de cadmio se encuentra en el T5 (procedencia del consejo comunitario Chagüi) con un promedio de $0,26 \text{ mg.kg}^{-1}$. En este mismo lugar se reporta una muestra con una concentración $0,428 \text{ mg.kg}^{-1}$, siendo casi la mitad del límite máximo del CODEX. Teniendo en cuenta que la zona cacaotera de esta región se desarrolla en las riberas del río Chagui, 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.

El cacao procedente del consejo comunitario Alto Mira y Frontera muestra una concentración promedio de 0.135 mg.kg^{-1} . Valor que es bajo, pero con una muestra que registró una concentración de $0,323 \text{ mg.kg}^{-1}$, siendo este el segundo valor más alto reportado en las muestras analizadas. Este valor puede estar asociado directamente con la contaminación del suelo por la emisión de gases de combustión emitidos por los carros debido a que esta muestra fue tomada en una finca cercana a una carretera muy transitada. Estos resultados, aunque moderados, son similares con los resultados del estudio de

determinación de cadmio en la almendra de cacao (*Theobroma cacao*) de cinco fincas ubicadas en la vía Santo Domingo - Esmeraldas realizado por Acosta y Pozo (2013), quienes encontraron que las muestras de las fincas más cercanos a la carretera tenían la mayor concentración de cadmio, con un promedio de 0,35 mg.kg⁻¹.

Por otro lado, los niveles más bajos se encontraron en el T6 (cacao procedente del consejo comunitario Las Varas), donde el nivel más alto encontrado fue de 0,1 mg.kg⁻¹, de hecho, en dos de sus repeticiones no se detectó el elemento. Este territorio es uno de los mayores productores de cacao de Tumaco, quienes desarrollan la cacaocultura bajo un sistema agroforestal multidiverso (Preciado *et al.*, 2011), es decir se asocia el cacao con otras especies agrícolas y forestales. Las interacciones generadas en estos sistemas productivos y la poca o escasa aplicación de insumos químicos hacen que los granos de cacao contengan niveles casi indetectables de este metal.

Izquierdo y Ramírez (2000) realizaron un estudio del contenido de Cd disponible en suelos bajo cultivo de cacao, en los estados Aragua y Miranda, encontrando valores de Cd disponible en el suelo entre 0,25 y 1,25 mg de Cd.kg⁻¹; igualmente determinaron el contenido de Cd en las almendras de cacao, el cual osciló entre 0,5 y 10 mg de Cd.kg⁻¹ en los cultivos del estado Miranda, evidenciándose que en las muestras analizadas se encuentran en el rango máximo permitido debido a que este al contrario del sistema agroforestal de las Varas es manejado como un sistema agroforestal artesanal pero con aplicación de agro químicos.

Algunos de los componentes vegetales con los que se asocia el cultivo de cacao pertenecen al grupo de plantas tolerantes a metales pesados como el cadmio. Rodríguez-Serrano *et al.* (2008) menciona que estas plantas han desarrollado estrategias para disminuir la toxicidad de metales pesados, que viene determinada por la reducción del transporte del mismo al interior de la célula y/o una mayor capacidad para secuestrar estos metales. Por ende, en terrenos donde se encuentren estas especies la presencia de metales pesados será menor.

Concentración de plomo en semillas de cacao

En el análisis de varianza se encontraron diferencias estadísticas significativas marginales ($Pr > F = 0,051$) en la concentración de plomo en las diferentes procedencias (Consejos Comunitarios) de las muestras tomadas en el municipio de Tumaco. Mediante la prueba de Duncan se pudo detectar que la zona comprendida entre los consejos comunitarios de Alto y Bajo Mira y Frontera tiene las concentraciones más altas de Pb, con un promedio de 0,373 y 0,413 mg.kg^{-1} , respectivamente (Figura 4).

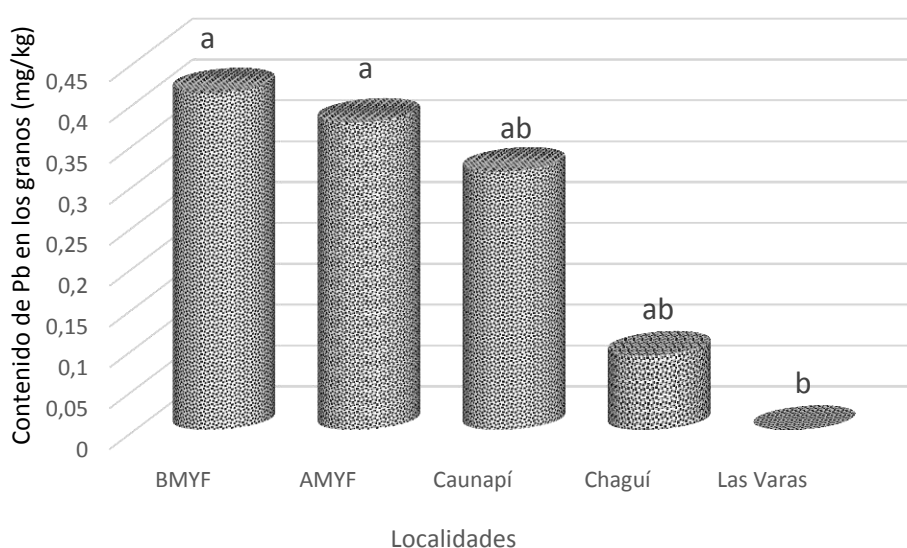


Figura 4. Concentración de plomo en las semillas de cacao en las cinco procedencias (consejos comunitarios) del municipio de Tumaco.

Del mismo modo, la zona donde no se detectó este elemento fue el Consejo Comunitario Rescate Las Varas, corregimiento de Robles, la cual presentó diferencias con las otras zonas (Figura 3). Esta es una de las regiones con mayor producción y se maneja como un sistema productivo agroforestal como se mencionó en el análisis del Cd, ya que en el sistema tradicional de producción de cacao se hace con aplicación muy baja o casi nula de agroquímicos.

Producir cacao sin aplicación de agroquímicos, aunque reduce sustancialmente la producción (Marinho *et al*, 2007), permite que el porcentaje de macro fauna edáfica la cual

está representada por animales con diámetro de cuerpo mayor a 2mm como hormigas, coleópteros, arañas, lombrices, ciempiés, termitas, milpiés, entre otros sea mayor. Aquino *et al.* (2008) mencionan que la macrofauna edáfica es un factor determinante para disminuir la presencia de plomo y otros metales pesados en el suelo, ya que estos actúan como desnaturalizadores de estos metales.

Moço *et al.* (2010) realizó un estudio en la ciudad de Lima Perú sobre macrofauna edáfica y metales pesados en el cultivo de cacao, con el fin de identificar si la macrofauna edáfica influye en las bajas concentraciones de plomo; obteniendo resultados positivos, indicando que en sistemas agroforestales con cacao existe abundante y diversificada fauna en el suelo que puede contribuir con un rápido reciclaje de nutrientes, los que pueden ser reabsorbidos por el cultivo desmullendo su deficiencia de evitando la translocación de elementos nocivos.

El Pb, al igual que el cadmio, es un metal pesado que se encuentra de manera natural en la corteza terrestre en forma de mineral, así mismo este tiene su origen antropogénico a raíz de las malas prácticas agrícolas y actividades que emiten gases tóxicos que pueden ser absorbidos por las plantas (Prieto *et al.*, 2009).

De acuerdo a los resultados de esta investigación se deduce que, en los suelos del municipio de Tumaco, el plomo se encuentra distribuido de manera casi heterogénea. (Arévalo-Gardini *et al.*, 2016) en un estudio de metales pesados en suelos, hojas y granos de zonas cacaoteras del Perú encontró diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) para suelos franco arcillosos, siendo la misma textura de suelo de los concejos comunitarios del municipio de Tumaco; por lo que se puede inferir que en estos suelos el plomo se distribuye de manera aleatoria.

El Salous y Pascual (2018), indican que la concentración del plomo se atribuye a la contaminación atmosférica debido a la capacidad que tiene la cascarilla de cacao de absorber este elemento, como, por ejemplo: la contaminación por los gases emitidos por los automóviles, ya que el secado solar de las almendras del cacao se realiza en lugares cercanos de las vías y en muchas veces directamente sobre el asfalto.

Cuando se compararon las muestras procedentes del municipio de Tumaco con el estándar de la Comunidad Económica europea (CODEX de $1,0 \text{ mg.kg}^{-1}$), se encontraron diferencias estadísticas significativas ($\text{Pr}>\text{F}< 0,043$). En la separación de tratamientos mediante la prueba de Dunnet se pudo constatar que todas las muestras procedentes de Tumaco presentaron diferencias estadísticas con el CODEX europeo ($1,0 \text{ mg de Pb.kg}^{-1}$ de cacao). Estos resultados indican que los niveles de concentración de plomo en las semillas analizadas se encuentran por debajo del rango mínimo permitido por la Comunidad Económica Europea (Figura 5)

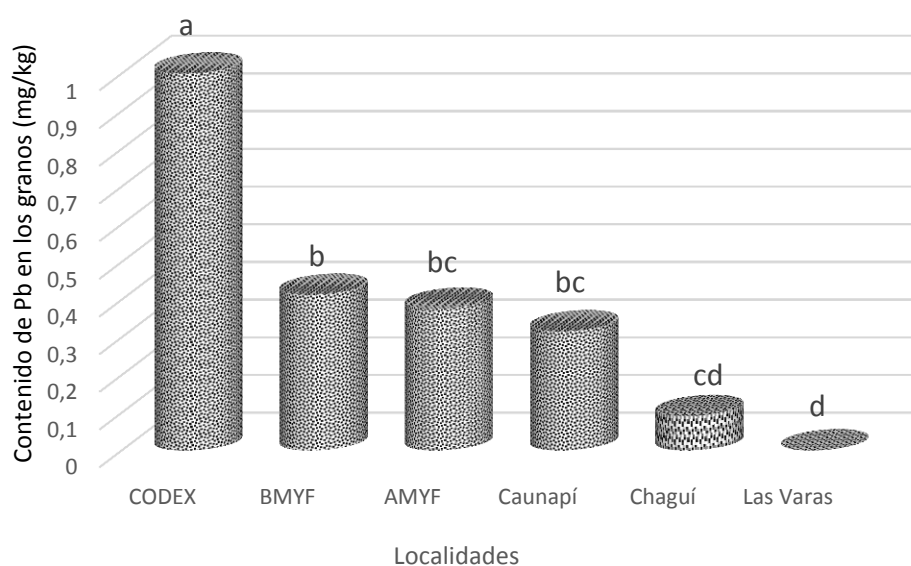


Figura 5. Concentración de plomo en semillas de cacao de las cinco procedencias y el CODEX alimenticio (2014).

En el cacao procedente del consejo comunitario Bajo Mira y Frontera (BMYF) y el cacao procedente del consejo comunitario Alto Mira y Frontera (AMYF) se encontró la mayor concentración de plomo, con un promedio de $0,413 \text{ mg.kg}^{-1}$ y $0,373 \text{ mg.kg}^{-1}$ respectivamente. Una de las repeticiones de está cerca de la mitad del umbral de 1mg.kg^{-1} el cual es el rango máximo permitido por el CODEX alimentario; la vereda Bajo Jagua con $0,61 \text{ mg.kg}^{-1}$ y la vereda Imbilí con $0,692 \text{ mg.kg}^{-1}$. Ambas zonas tienen algo en común, son carreteras altamente transitadas por vehículos que emiten gases de combustión los cuales aumentan la contaminación del aire y del suelo por metales pesados como el plomo.

Cárdenas (2003), en un estudio realizado en la ciudad de Bogotá sobre exposición de emisiones en una zona de alto tráfico vehicular reportó concentraciones elevadas de plomo siendo mayor que otros metales pesados como cadmio, cromo, cobre y magnesio; a causa de las fuentes móviles, las cuales emiten contaminantes como subproductos de la combustión de gasolina y ACPM. en los motores. Esta emisión se distribuye por el aire y a su vez puede llegar a concentrarse en el suelo.

Martínez y Palacio (2010) en el departamento del Santander, encontraron niveles de concentración de plomo en el suelo de 15 mg/kg, y de 1mg/ kg en granos de cacao fermentado, al compararlo con los resultados de la presente investigación es evidente que son más elevados, aunque se encuentran en el rango máximo permitido por el Codex alimentario se demuestra la mayor calidad del cacao del municipio de Tumaco

CONCLUSIONES

La concentración de cadmio y plomo en las muestras de granos de cacao procedentes de los consejos comunitarios de Chagüí, Alto Mira y Frontera, Bajo Mira y Frontera, Las Varas y Caunapí, es baja comparada con los requerimientos de la Comunidad Económica Europea (CODEX alimentario), para el cacao y sus subproductos

La mayor concentración de cadmio se detectó en la muestra procedente del consejo comunitario Chagüí y las más baja en las muestras procedentes del Consejo Comunitario Las Varas; mientras que la mayor concentración de plomo se encontró en el consejo comunitario Bajo mira y Frontera y la más baja en el Consejo Comunitario Rescate Las Varas.

La contaminación del cacao en Tumaco por metales pesados como cadmio y plomo puede resultar de actividades antropogénicas. Por lo tanto, la intensificación del cultivo del cacao se debe hacer bajo sistemas agroforestales y con aplicación insumos externos que contengan niveles muy bajos de cadmio y plomo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta L., S & Pozo P., P. (2013). Determinación de cadmio en la almendra de cacao (*Theobroma cacao*) de cinco fincas ubicadas en la vía Santo Domingo - Esmeraldas, mediante espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito. *infoANALÍTICA*, 1(1).
- Alcaldía municipal de Tumaco. (2013). Plan de Ordenamiento Territorial municipio de Tumaco 2008-2019. Recuperado de https://sanandresdetumaconarino.micolombiadigital.gov.co/sites/sanandresdetumaconarino/content/files/000022/1088_pot_2008_2019.pdf
- Alloway, J. (2013). Heavy Metals in Soils - Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability (3ra Ed.) United Kingdom. *Environ Pollut.* 22:11-50.
- De Aquino, A.M., Correia, M.E.F., Alves, M.V. (2008). Diversidade da macrofauna edáfica no Brasil. In: Moreira, F.M.S.; Siqueira, J.O.; Brussaard, L. (Ed.). *Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros*. Lavras: UFLA, p.143- 170.
- Arévalo-Gardini, E., Obando-Cerpa, M. E., Zúñiga-Cernades, L. B., Arévalo-Hernández, C. O., Baligar, V., & He, Z. (2016). Metales pesados en suelos de plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en tres regiones del Perú. *Ecología Aplicada*, 15(2), 81-89.
- AGRONET- Red de información y comunicación del sector Agropecuario Colombiano. (2019). Área, producción y rendimiento nacional por Cultivo (cacao). Recuperado de <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1>
- Bautista, M. (2019). Cacao colombiano, entre los más finos del mundo; julio 2019. Recuperado de <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/cacao-colombiano-esta-entre-los-mas-finos-del-mundo-383376>
- Cárdenas, A. (2012). Presencia de cadmio en algunas parcelas de cacao orgánico de la cooperativa agraria industrial naranjillo Tingo María; Perú. (Tesis ingeniero Agrónomo). Universidad Nacional Agraria de la Selva. Huánuco, Perú.
- Cardenas, F. (2003). Estudio exploratorio de la exposición de trabajadores ambulantes a las emisiones vehiculares en inmediaciones de la Universidad Nacional de Colombia

(Trabajo de grado). Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, Bogotá, Colombia.

Clemens, S.; Aarts, M. G. M.; Thomine, S. y Verbruggen, N. (2013). Plant science: the key to preventing slow cadmium poisoning. *Trends Plant Sci*, 18(2): 93-99. doi: 10.1016/j.tplants.2012.08.003.

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.

CODEX Alimentario. (2014). Programa conjunto fao/oms sobre normas alimentarias, comité del Codex Comité sobre Productos del Cacao y el Chocolate (CCCPC). Recuperado de http://www.fao.org/tempref/codex/Meetings/CCCCF/cccf9/cf09_06s.pdf

El Salous; A. & Pascual, A. (2018). Determinación de cadmio, plomo y ocratoxina en la harina proveniente de las cascarillas de dos variedades de cacao en Ecuador, *Revista de I+D Tecnológico*, 14(1): 49-53.

European Comission, (2013), Annual report. Recuperado de https://ec.europa.eu/europeaid/sites/devco/files/annual-report-2013-eu-development-external-assistance-policies-implementation-in-2012_en.pdf

FEDECACAO - Federación Nacional de Cacaoteros. (2011). Colombia cacaotera; año 4. No. 11. Recuperado de https://www.fedecacao.com.co/portal/images/recourses/pub_revcolcacaotera/fedecacao-colombia-cacaotera-010.pdf .

FEDECACAO - Federación Nacional de Cacaoteros. (2016) Informe de ejecución del plan de inversiones y gastos y presupuesto de ingresos y gastos del fondo nacional del cacao del cuarto trimestre y total del año 2016. Recuperado de https://www.fedecacao.com.co/portal/images/informe_2016.pdf

FINAGRO - Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario. (2017). Inteligencia de mercado Cacao. Recuperado de

https://www.finagro.com.co/sites/default/files/node/basicpage/files/ficha_cacao_version_ii.pdf

Gonzales, E., Ahumada, R & Medina, V. (2004). Espectrofotometría de absorción atómica con tubo en la llama: aplicación en la determinación total de cadmio, plomo y zinc en aguas frescas, agua de mar y sedimentos marinos. *Química Nova*, 27(6): 873-877. <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422004000600006>

Guerra S. B. L., Guerrero, J. M., Gutiérrez, E. & Duarte, D. (2017). Cacao: Cadmio y Biorremediación. Recuperado de <https://www.engormix.com/agricultura/articulos/cacao-cadmio-biorremediacion-t42789.htm>

Huertos, E. & Baena, A. (2008). Contaminación de Suelos por Metales Pesados. Recuperado de http://www.ehu.eus/sem/macla_pdf/macla10/Macla10_48.pdf

Instituto ecuatoriano de normalización. (2016). Cacao en grano: muestreo. Quito, Norma técnica NTE INEN 177, 8 p.

ICCO - International Cocoa Organization . (2019). Quarterly Bulletin of Cocoa Statistics, Vol. XLV, No.1, Cocoa year 2018/19. <https://www.icco.org/about-us/icco-news/408-may-2019-quarterly-bulletin-of-cocoa-statistics.html>.

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/>

Izquierdo, A. & Ramírez, R. (2000). Determinación de cadmio en las plantaciones de cacao en los estados Aragua y Miranda, alternativas para disminuir su efecto contaminante. INIA Estación Experimental Miranda - Venezuela - UCV. Facultad de Agronomía. 31p.

Kirkham, M. 2006. Cadmium in plants on polluted soils: Effect of soil factors, hyper accumulation and amendments. *Geoderma*. 137(1):19-32.

Legiscomex. 2019. La Unión Europea aprobó la nueva reglamentación sobre límites máximos de cadmio en cacao y chocolate. Recuperado de

<https://www.legiscomex.com/Documentos/ue-aprobo-reglamentacion-limites-cadmio-cacao-chocolate-jun-16-17-16not>

- Marinho, G. J., Ndiae, A., Linhares, R & Azevedo, J.A. (2007). Cultivos de cobertura como indicadores de procesos ecológicos. *LEISA*. 22(4): 20-22.
- 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 químicas). Universidad industrial del Santander, Bucaramanga.
- MINAGRICULTURA - Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2018). Cadena de cacao indicadores e instrumentos, Recuperado de <https://sioc.minagricultura.gov.co/Cacao/Documentos/002%20%20Cifras%20Sectoriales/002%20-%20Cifras%20Sectoriales%20-%202018%20Enero%20>
- Moço, M. K. S., E.F. Gama-Rodríguez, A. C. Gama-Rodríguez, R. C. R. Machado, & V.C. Baligar. (2010). Relationships between invertebrate communities, litter quality and soil attributes under different cacao agroforestry systems in the south of Bahia, Brazil. *Applied Soil Ecology*. 46(3): 347–354. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2010.10.006>.
- Preciado S, O, Ocampo, C I. & Ballesteros P, W. (2011). Caracterización del sistema tradicional de producción de cacao (*Theobroma cacao* L.), en seis núcleos productivos del municipio de Tumaco, Nariño. *Revista de Ciencias Agrícolas*. 28(2): 58 - 69.
- Prieto J., González C., Román A. & Prieto F. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Trop. Subtrop. Agroecosyst*. 10(1): 29-44.
- Rodríguez-Serrano, M., Martínez-de la Casa, N., Romero-Puertas, M.C., del Río, L.A. & Sandalio, L.M. (2008). Toxicidad del Cadmio en Plantas. *Revista Ecosistemas*, 17(3).

- Rodríguez, H. (2017). Dinámica del cadmio en suelos con niveles altos del elemento, en zonas productoras de cacao de Nilo y Yacopí, Bogotá. Cundinamarca. (Maestría thesis) Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Servicio Geológico Colombiano. (2014). Plan estratégico del conocimiento de geológico del territorio colombiano 2014-2023; Bogotá-Colombia: MINMINAS. 148p
- Skoog, D., Holler, J. & Nieman T. (2002). *Principios de Análisis Instrumental*. España: Mac Graw Hill. 1024 p.
- UNEP- United Nations Environment Programme. (2008). Annual report. Recuperado de http://www.iri.edu.ar/publicaciones_iri/anuario/Anuario%202009/Mayd/Naciones%20Unidas%20-%20United%20Nations%20Environment%20Programme%20%20ANNUAL%20REPORT%202008.pdf