



FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL

EFFECTIVIDAD DE LAS ENMIENDAS CALCÁREAS EN SUELOS
CACAOTEROS CONTAMINADOS CON CADMIO EN LA
AMAZONÍA PERUANA

Trabajo de investigación para optar el grado de:
BACHILLER EN INGENIERIA AMBIENTAL

Presentado por:

Renata Patricia Arias Acho

Asesor:

Luis Abraham Gomero Osorio

Lima – Perú

2019



RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N°184-2019-DACIA-DAFCA-CIENTIFICA

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES / CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

Lima 27 de noviembre de 2019

VISTO:

La revisión realizada y la aprobación de Trabajo de Investigación titulado: **Efectividad de las enmiendas calcáreas en suelos cacaoteros contaminados con cadmio en la Amazonía peruana**, presentado por:

- **Renata Patricia Arias Acho**

CONSIDERANDO:

Que, de acuerdo al Reglamento General de la Universidad Científica del Sur y los reglamentos de pregrado para obtener el grado de Bachiller de **Ingeniería Ambiental** en la **Facultad de Ciencias Ambientales**, se debe desarrollar un trabajo de investigación.

Que, de acuerdo a la normativa vigente de la Universidad Científica del Sur, en uso de las atribuciones conferidas al Director Académico de Carrera.

SE RESUELVE:

Aprobar e inscribir el trabajo de investigación titulado: **Efectividad de las enmiendas calcáreas en suelos cacaoteros contaminados con cadmio en la Amazonía peruana** con N° de registro de la carrera: **039-FCA-IAM**.

Nombrar al docente/colaborador **Luis Abraham Gomero Osorio** como asesor de dicho trabajo de investigación.

Regístrese, comuníquese y archívese,



Mg. Gonzalo Francisco Flores Roca
Director Académico de Carrera
Ingeniería Ambiental

T// (51) 610 6400
opción 2
www.cientifica.edu.pe

Campus
Panamericana Sur
km 19 - Lima 42

Efectividad de las enmiendas calcáreas en suelos cacaoteros contaminados con cadmio en la Amazonia Peruana

Effectiveness of calcareous amendments in contaminated cocoa soils in the Peruvian Amazon

Arias Acho, Renata Patricia¹; Gomero Osorio Luis Abraham²

1 Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad Científica del Sur, Lima, Perú

2 Facultad de Ciencias Agroforestales, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú

*Autor de correspondencia: lgomero910@hotmail.com

I. ABSTRACT

The present theoretical review is based on contamination by heavy metals worldwide and at the level of the Peruvian Amazon in agricultural crops, specifically in cocoa crops. For agricultural soils according to the Environmental Quality Standards - Soil, the cadmium must not exceed 1.4 mg / kg; however, cocoa (*Theobroma cacao* L.) crops in the Peruvian Amazon exceed these maximum permissible limits since their Cd concentrations are around 1.55 to 1.78 mg / kg. Due to this problem, several methods were described for the removal of Cd in the roots, stem, leaves, peel and grains of cocoa whose contamination is affecting the environment and human health in a natural or anthropogenic way. Among the methods evaluated we have the soil buffer, the immobilization of the element and the liming, being the most recommended and used at national and international level the liming method through calcareous amendments, which allows to increase the level of pH to a level considered optimal (5.5-6.0) and at the same time reduce aluminum by one (<15-20%) in cocoa soils.

Keywords: Contamination by cadmium, cocoa cultivation, whitewashed, calcareous amendments

II. RESUMEN

La presente revisión teórica se basa en la contaminación por metales pesados a nivel mundial y a nivel de la Amazonia Peruana en los cultivos agrícolas, específicamente en los cultivos cacaoteros. Para suelos agrícolas de acuerdo a los Estándares de Calidad Ambiental – Suelo, el cadmio no debe superar el 1.4 mg/kg; sin embargo, los cultivos de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Amazonia Peruana superan estos límites máximos permisibles ya que sus concentraciones de Cd se encuentran alrededor de 1.55 a 1.78 mg/kg. Debido a esta problemática se describieron diversos métodos para la remoción de Cd en las raíces, tallo, hojas, cascara y granos del cacao cuya contaminación está afectando de manera natural o antropogénica al ambiente y a la salud humana. Entre los métodos evaluados tenemos el buffer del suelo, la inmovilización del elemento y el encalado, siendo el más recomendado y utilizado a nivel nacional e internacional el método del encalado a través de enmiendas calcáreas, el cual permite aumentar el nivel de pH a un nivel considerado óptimo (5,5-6,0) y a la vez reducir el aluminio en un (<15-20%) en los suelos cacaoteros.

Palabras clave: Contaminación por cadmio, cultivo de cacao, encalado, enmiendas calcáreas

III. INTRODUCCIÓN

A mediados del siglo XXI, la contaminación por metales pesados se ha posicionado como uno de los problemas más resaltantes que afectan a la población. Siendo el cultivo agrícola la principal actividad que está viéndose perjudicada por la presencia del metal cadmio, específicamente en los cultivos de cacao de la Amazonia Peruana (Reyes; 2016)

Existen estudios internacionales donde se ha demostrado que Perú y Venezuela tienen los más elevados índices de concentración de cadmio en los cultivos cacaoteros. Un ejemplo de ello son las regiones de Huánuco y Ucayali donde se evidenció la presencia de cadmio en las tierras cultivables de cacao, aunque no existe una exactitud acerca de la cantidad que hay de este metal, este está afectando significativamente los cultivos cacaoteros (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura; 2013)

Debido a ello, la Unión Europea ha identificado distintos estudios en donde se comprueba la presencia de cadmio en los alimentos que consume los seres humanos y según la organización internacional confirma que se debe al origen y a la manipulación que se les da a las materias primas (Moreno; 2014). Es por ello, que a partir de este año han tomado medidas más rigurosas en cuanto a los límites máximos permisibles de cadmio en el ingreso de alimentos derivados del cacao para que no afecte de manera natural o antropogénica al ambiente y a la salud humana. (Eroski; 2012)

A partir de ello se planteó distintos métodos como el buffer del suelo, la inmovilización del elemento y el encalado, lo cual se utiliza para enmendar la acidez del suelo y aumentar el pH, sin embargo, esto no se logra si no es con el implemento de las enmiendas calcáreas como la roca fosfórica, dolomita, óxido de calcio entre otras, estas enmiendas logran una mejora eficiente en los suelos ya sea en su estructura, composición o pH. Siendo el método del encalado es más recomendable y usado a nivel nacional (Molina; 2014)

IV. REVISIÓN TEÓRICA

1. Contaminación por metales pesados en suelos cultivados a Nivel Mundial

Las aglomeraciones dañinas de algunos componentes químicos y compuestos denominados contaminantes, es un factor de degradación que se le conoce como polución. Este contaminante en acumulaciones superiores toma por nombre anomalías, el cual tiene un resultado desfavorable sobre algunos organismos. (Galán et al. 2008; Rome et al. 2008). Según Gonzales (2016), el suelo es un ente vivo que sirve como sostén para los factores inertes y seres vivos terrestres que ocupan una determinada área, es por ello que, Alloway (2013) indica evaluar la disponibilidad de metales pesados presentes en el suelo.

En la actualidad, el mundo presenta diversos problemas ambientales, uno de los principales es el derrame de petróleo que está afectando a los bienes de la naturaleza y generando conflictos sociales, debido a la presencia de metales. El ser humano es el principal causante de las diferentes alteraciones en los ecosistemas y además porque existe un tema de desinterés por parte de las empresas extractivas; sin embargo, cabe resaltar que la contaminación por petróleo crudo o petróleo refinado se da de manera accidental o se libera de distintas fuentes como los accidentes que ocurren durante la carga o descarga de un tanque o donde el crudo es arrojado al suelo y arrastrado por las corrientes fluviales, hasta terminar en el mar (Vergara et al, 1981).

Estudios realizados a nivel mundial, uno de los metales pesados más tóxicos es el cadmio (Capó, 2007). Debido a ello, este metal fue el responsable de uno de las mayores catástrofes ambientales, el cual afectó a los habitantes de la cuenca del río Jinzu (Japón), donde los cultivos de arroz habían sido regados con aguas contaminadas de metales pesados y expuso a la población, ocasionándole una intoxicación. A raíz de ello, el boletín de la Agencia del Medio Ambiente de Japón (2009) creó un programa para mejorar el suelo contaminado de metales pesados de los arrozales.

En Grecia, los cultivos de vegetales presentaron niveles elevados de metales pesados como el arsénico ocasionando un impacto ambiental derivado de las actividades industriales provenientes del agua. En América Latina, algunos de los países presentan

problemas de polución por metales pesados en el recurso hídrico (Bundschuh et. al, 2012), tales como México, Argentina, Chile, El Salvador, Nicaragua, Perú y Bolivia ingieren aguas contaminadas por arsénico, es por ello que estos países están tomando medidas preventivas para evitar riesgos a la salud y al ambiente por este metal.

El uso de aguas contaminadas por irrigación se da con mayor frecuencia en el país de la India, varios estudios han evaluado diferentes aspectos; los riesgos por ingesta de vegetales que puede provocar en la salud, la acumulación de metales en algunos productos comestibles y el incremento de metales como el cadmio, cobre, plomo, níquel y zinc en distintas concentraciones presentes en el suelo ya sea cuando se utiliza agua contaminada de riego. Los resultados obtenidos del estudio demostraron que los niveles máximos permisibles de los metales mencionados, se encontraron por debajo de lo permitido; sin embargo, la India pone en alerta que es obligatorio seguir realizando monitoreos y estudios de regulación donde se garantice la seguridad nutricional y la seguridad de los individuos (Singh, 2010)

Mientras que, en la laguna Zacatecana – México, se encontró elevadas concentraciones de metales pesados como el cadmio, arsénico y plomo (González- Dávila et al. 2012) esto se debió a que en la época virreinal de 1900, los ríos aledaños a la laguna Zacatecana se almacenaron residuos de amalgamación de plata, lo cual ocasionó que estos residuos se fueran acumulando en la fuente, y en época de sequía los agricultores retiraban agua de la laguna, provocándoles problemas de polución y dificultades en la salud como niveles elevados de cadmio y plomo en sangre, así como arsénico en la orina de los niños residentes del lugar. (Trejo-Acevedo et al. 2009)

En diferentes lugares del pueblo de Valenciana- España se ha venido realizando estudios de las diferentes aglomeraciones de metales pesados presentes en el suelo, la mayoría de estos estudios se han hecho en cultivos agrícolas aplicando enmiendas orgánicas tales como los lodos de depuradora y compost. Con el objetivo de evaluar el contenido de metales pesados como el cadmio, cobre, mercurio y magnesio localizados en el suelo, lo cual se obtuvo la caracterización del porcentaje de metales presentes en el suelo dando como resultado efectos nocivos a las tierras agrícolas (Maroto; 2002)

Por otro lado, en Colombia se registró la existencia de metales pesados y metaloides como el cadmio (Cd), zinc (Zn), níquel (Ni), plomo (Pb) y cromo (Cr) en los cultivos de hortalizas (Singh et. al, 2003; Tewari et. al, 2003). La contaminación de estos cultivos se da por el riego, ya que se usa agua contaminada obtenida de los ríos donde hay presencia de metales pesados anteriormente mencionados. Del mismo modo, esto afecta a las especies marinas como los peces, ostras, mariscos y moluscos, ya que presentan cadmio procedente del recurso hídrico en forma de péptidos ligadores (Bayona; 2009)

2. Contaminación por metales en suelos cultivados en la Amazonia

La contaminación de suelos en la Amazonia se da por diversas actividades como la minería, el sector industrial, los residuos sólidos, el uso que se le da al suelo y por los diferentes productos que utiliza la actividad humana. Según Berg (2013), el suelo es vulnerable a contaminarse, provocando la pérdida de sus propiedades. Los contaminantes pueden ingresar al suelo a través del aire, agua o por restos de residuos, logrando que se movilicen por medio del aire y agua, provocando un foco infeccioso.

En la Amazonia Colombiana el recurso suelo está en riesgo debido a las diferentes concentraciones de arsénico, cadmio, cobalto y selenio presente en el suelo, es por ello que, estos metales una vez en el suelo se disipan y son tomados por las plantas (Cruz; 2018). Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la cantidad y la calidad nutricional de la comida que se cosecha en las tierras de Colombia, debe ser manejada y controlada con el fin de evitar problemas de salud. Colombia se encuentra en una situación preocupante debido a que el 95% de su producción depende de la tierra; es por ello que el Estado debería implementar políticas o planes de mitigación que velen por proteger el suelo, ya que, si el Estado no implementa una normativa, los agricultores no van a buscar una solución para corregir esta problemática.

En la Amazonia Peruana, según Petroperú informó que en la quebrada de Cuninico del Tramo I del oleoducto, se produjo un derrame de 2358 galones de gas licuado de petróleo (GLP). Esta quebrada es afluente del Marañón que en unión con el Ucayali se forma el río Amazonas, es por ello, que el derrame perjudicó a todas las familias nativas de Cuninico, ya que la comunidad por sus costumbres ancestrales está ligada de manera directa con sus tierras y a la vez tienen como principal actividad económica a la pesca. Debido a ello, la Dirección Regional de Salud de Loreto ejecutó diversos ensayos de presencia de Hidrocarburos Totales de Petróleo (HTP) y metales pesados en el recurso

hídrico, lo cual dieron como fruto final que los niveles de aluminio y de los HTP estaban por encima de los estándares de calidad hídrica para consumo humano, ocasionando daños en la salud de la comunidad (DIGESA; 2014).

Del mismo modo, los pueblos indígenas de la Amazonia Peruana también están viéndose afectados por los altos niveles de contaminación por metales en los suelos donde cultivan, según lo informa los resultados obtenidos del Estudio Toxicológico – Epidemiológico, el cual fueron desarrollados por el Centro Nacional de Salud Ocupacional y Protección al Ambiente (CENSOPAS;2018). Esto metales pueden llegar al suelo ya sea natural o debido a los pasivos ambientales de las mineras que se encuentran en estado de abandono, por los desechos tóxicos de los procesos mineros, derrame de petróleo, entre otros, ocasionando un riesgo al ambiente y causando un efecto grave en la salud de los pueblos indígenas.

3. Cadmio en los cultivos de cacao de la Amazonia Peruana

En la selva tropical de América del Sur y Centroamérica tienen una gran diversidad y producción del cacao (Hernández; 2010), teniendo como puntos específicos las cuencas hidrográficas del Amazonas y Orinoco que se encuentra al este de la cordillera de los Andes, pertenecientes a Colombia, Ecuador, Perú, Brasil, Venezuela y las Guayanas (Bartley; 2005). En la actualidad existen 144232 hectáreas cultivadas de cacao en las diferentes regiones de la Amazonia Peruana (Amazonas, Cajamarca, San Martín, Ucayali y Huánuco), la Amazonia al tener tantas hectáreas cultivadas o sembradas, se vuelve en una las mayores preocupaciones en el sector cacaotero, debido a la exigencia de los rangos mínimos del cadmio dados en la normativa europea.

Colombia es un país que presenta características apropiadas para la producción de los cultivos de cacao, estos se deben a que, sus suelos y condiciones climatológicas son óptimas para el desarrollo de estos cultivos. (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural; 2012). Pese a ello, hace unos años atrás se han ido encontrando residuos de metales, según lo informo los análisis clínicos y esto ha ido perjudicando y ocasionando daños adversos a la salud (ATSDR; 2012). Este metal cadmio se ha ido encontrando en los cultivos de cacao específicamente en los departamentos de Santander, Martínez y Palacio (2010), donde se presentaron concentraciones de 0,53 y 3,02 mg/kg en el suelo; en las hojas de la planta de cacao estuvieron en el rango de 0,21 y 0,58 mg/kg y en los

granos alcanzaron niveles de cadmio alrededor de 4 y 6 mg/kg, significando un riesgo para salud de los clientes.

De lo mencionado, podemos afirmar que, en los bosques de tierra colombiana, se exporta el grano de cacao con características organolépticas propias del grano colombiano y a la vez presenta una textura 100% fina. Según International Cocoa Organization (2006), el país de Colombia exporta los granos de cacao en pequeñas cantidades debido a que no cumple con los requisitos de los mercados europeos; esto se debe a que los granos de cacao presentan niveles máximos de cadmio y a la vez sus granos poseen deficiente calidad debido a la complejidad del grado de fermentación, por otro lado, los agricultores carecen de una técnica de manejo específica, ya que cada uno sigue la tradición que ellos han aprendido a través de sus generaciones. (Sánchez, A et al. 2008; Castellano et al. 2008; Domínguez et al. 2008)

El Instituto de Investigaciones Agropecuarias del Ecuador por más de una década se encuentra realizando investigaciones acerca de la existencia de metales pesados en tierras agrícolas, aguas y en cultivos de exportación como el cacao. El estudio consistió en obtener diferentes muestras de suelos, tejidos de la planta de cacao y agua, como resultado de la acumulación del cadmio en los tejidos de cacao se dieron en el siguiente orden raíz, tallo, hojas, cáscara y grano de cacao; por ende, se puede inferir que los granos de cacao presentan menor disponibilidad de cadmio a comparación de los demás tejidos de la planta (MITE; 2013).

A la vez, Ecuador se distingue de los demás países que forman parte de la Amazonía, debido a que posee un cacao con aroma deleitoso también denominado “Cacao Arriba”, el cual se exporta a muchos países. Sin embargo, el gran problema es la contaminación con el metal cadmio en la almendra de cacao, lo cual muchas de sus exportaciones han sido rechazadas. El informe “Determinación de metales contaminantes en cultivos de exportación y su repercusión sobre la calidad de los mismos” (INIAP Estación Tropical Pichilingue; 2008), realizó la determinación de las aglomeraciones de plomo, cadmio y zinc en zonas agrícolas con un interés económico, el cual se aplicó la prueba de espectrofotometría de absorción atómica de llama. Como resultado se obtuvieron que los cultivos de cacao se encuentran afectados por la contaminación de metales pesados y en

el tallo de la planta de cacao en donde se acumula la mayor concentración de cadmio (Acosta & Pozo, 2013)

Nuevos estudios nacionales realizados desde el 2005 por las Universidades de las Regiones, Sector Privado y la Cooperación Privado e Internacional que han estado siendo monitoreadas por la Dirección General del MINAGRI (Ottos; 2017), han indicado que los suelos de la Amazonía Peruana podrían presentar niveles más altos de lo permitido de cadmio (0.5ppm) (Crozier et al., 2012; Huamani et al., 2012), lo que podría generar problemas de consumo, ya que los metales pesados del suelo una vez disponibles, son absorbidos por la planta de cacao, por lo tanto, afectaría a la exportación y comercialización del producto.

De acuerdo a la clasificación de suelos comprendido en la normatividad mundial FAO, se clasifica como suelo normal a aquel cuyos niveles de Cadmio son menores a 0.35 mg Cd/kg y como suelo nocivo a aquel cuyos niveles superan el rango de 3 - 5 mg Cd/kg (OMS, 2010). Asimismo, los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo aprobado mediante Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM, menciona en el Anexo I que la concentración de Cadmio total en suelo agrícola no debe superar el 1.4 mg/kg MS. Sin embargo, los cultivos de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Amazonia Peruana superan los límites máximos permisibles, ya que, sus concentraciones de Cd oscilan entre 1.55 a 1.78 mg/kg. (Arevalo-Gardini et al. 2017; Zhenli et al. 2017)

Es por ello que, en los últimos diez años en las regiones de la Amazonia del Perú, se ha generado una gran preocupación en los cultivos de cacao (*Theobroma cacao* L.) debido a que es una alternativa sostenible a comparación de la economía cocalera. Sin embargo, los mercados más grandes en Europa son (Francia, Inglaterra, Bélgica, Estados Unidos), el cual ha tomado la iniciativa de realizar un control sanitario del cacao y sus derivados, en una normativa que restringirá al cacao en su comercialización para el año 2019, con niveles superiores de 0.80 ppm (Chupillon-Cubas et al. 2017; Arèvalo-Hernandez et al. 2017)

Dada la importancia social y económica del cacao, los países productores y exportadores, se encuentran preocupados y a la vez interesados en tener conocimiento de los niveles de metales pesados presentes en las zonas donde se cultiva este producto (Jaramillo, 2013), debido que en este último año ha existido regulaciones por parte de la Comunidad Europea, según los reglamentos CE 1881/2006 y CE 488/2014, en el que establece límites máximos permisibles de

cadmio en el chocolate y otros productos obtenidos del cacao (FAO/WHO, 2014; Lanza et al., 2016; Chávez et al., 2015).

3.1. Fuentes de contaminación por cadmio

La contaminación del cadmio en los suelos genera impactos negativos en el ser humano y en los ecosistemas, estos pueden ser de origen natural en la corteza terrestre o por las diferentes actividades antropogénicas. Las fuentes naturales de este metal se dan cuando hay erosión de rocas con contenido de cadmio, sedimentos y cuando existe una movilización de cadmio depositadas en los suelos. Mientras, que las fuentes antropogénicas se dan cuando se producen residuos peligrosos derivados de industrias, quemados de combustibles fósiles, sector agrícola, mineras o residuos sólidos urbanos. (AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE; 2008)

3.2 Efectos del cadmio en la Salud y el Ambiente

El cadmio está presente de manera natural en el medio ambiente como los minerales que pueden ser absorbidos por las plantas y de ello puede ser ingerido por los humanos, lo que ocasionaría un daño para la salud (Prieto et al. 2009). Las poblaciones se pueden ver afectadas por este metal, ya que, pueden ser transmitidos en forma oral, a través del agua y los alimentos (Nava-Ruiz et al. 2011; Méndez-Armenta et al. 2011). En los países de Europa y Norte América consumen diariamente un alrededor de 10 y 40 $\mu\text{g}/\text{día}$ de cadmio, ya que no existe una norma que regule las consecuencias que puede provocar la ingesta excesiva de este metal.

El cadmio cuando entra por la vía oral o respiratoria, llega a la sangre y se acumula en los órganos excretores, ocasionando daños irreversibles. Además, este metal tiende a acumularse en las plantas como en los cultivos de cacao (Singh et al. 2003; Tewari et al. 2003), lo cual sería perjudicial si este se acumula en el organismo humano, ya que podría provocar graves problemas de salud como el cáncer, diarreas, dolor de estómago, efectos tóxicos en el sistema respiratorio y daño al sistema nervioso central.

En cambio, el cadmio en la naturaleza está presente como óxidos complejos. (Cárdenas; 2015) Según la OMS (2019) este metal puede estar presente en el ambiente en niveles bajos, pero debido a las diferentes actividades humanas estos niveles han aumentado. El

cadmio provoca la acidez del suelo ya sea cuando existe manipulación de las actividades humanas o cuando se utiliza fertilizantes nitrogenados (Molina; 2014). Por otro lado, las plantas cacaoteras que se encuentran expuestas a los niveles máximos de cadmio sufren síntomas en la reducción de la actividad fotosintética, el cual se puede observar clorosis, desecamiento de las raíces y por último puede ocasionar la muerte de la planta (Yadav; 2010). Es por ello, que al aumentar sus niveles perjudicaría a la salud humana y al ambiente.

4. Métodos para la corrección de suelos acidificados

En el mundo, los suelos ácidos cubren el 30% de la superficie terrestre (Von & Mutert; 1995), considerando de este modo, que los procedimientos de acidificación lo componen el factor de degradación de los suelos tropicales y templados. Un suelo con problemas se considera cuando este presenta un pH menor a 6. Es por ello, que existen distintos tipos de métodos que se utilizan como efecto correctivo y así lograr la rehabilitación de suelos ácidos. El método más fundamental se enfoca en recomendaciones de producto comercial aplicada por hectárea dependiendo del pH medido en el suelo y la textura. Los siguientes parámetros no acceden a un cálculo exacto del requerimiento de cal para cambiar la acidez. (Ver Tabla N°1)

Tabla 1. *Toneladas de cal/ha para obtener el cambio de pH*

Δ en el pH	Franco	Franco Limoso	Franco Arcilloso
4,5 a 6,5	6,5	7,8	9,4
5,0 a 6,5	5,2	6,3	7,4
5,5 a 6,5	3,8	4,5	5,2

Fuente: (Magra & Ausilio,2004)

El método buffer es aquel que resiste al cambio del pH cuando se agrega un ácido o una base; mientras más sea la necesidad de uso de una base o ácido, la capacidad buffer del suelo va ser mayor para ocasionar un cambio en el valor del pH (Tan; 1993). Del mismo modo, para lograr una mejor exactitud en lo que respecta a la corrección de los suelos acidificados se utiliza el método tampón más conocido como buffer del suelo. Este consiste en titular la muestra del suelo con una base que ayude a determinar la cantidad del producto que se requiere para aumentar el pH hasta obtener el valor que se requiere (Magra et al. 2016; Ausilio et al. 2016).

En las tierras agrícolas, uno de los importantes métodos para reducir la polución de los suelos acidificados es la inmovilización del elemento presentes en el suelo o la aplicación de nutrientes que actúen en la absorción de las plantas. La inmovilización es el más usado en cuanto se refiere al incremento del pH ya que se hace uso de materiales con bastante área superficial y hacen el uso de las zeolitas para que tenga una mayor absorción en las plantas (Fontes; 2000)

Un estudio reveló que el encalado es el procedimiento más factible para enmendar la acidez del suelo y aumentar el nivel de pH, para ello, se debe tener en cuenta distintos factores como la fuente de cal, calidad del material, dosis a aplicar y método de aplicación. Una vez tomado en cuenta los factores mencionados, este método consiste en aplicar las sales básicas al suelo con el fin de equilibrar la acidez ocasionada por el hidrógeno y aluminio a niveles no tan altos, para que sean aptos para las plantas (Molina, 2015). Al disminuirse la acidez y la toxicidad del aluminio, aumenta el desarrollo de las raíces de las plantas permitiendo indagar más en el perfil del suelo y a la vez logra que el suelo tenga un mejor volumen.

Los impactos del encalado son muy variados, es por ello que, para realizar una buena administración de este, es recomendable escoger el material encalante adecuado, aplicar la dosis correcta y usarlo en las condiciones más óptimas. Existen dos tipos de encalado, uno de ellos es el encalado de corrección de base, lo cual permite el aumento del pH (5,5-6,0) y una reducción de aluminio a un porcentaje no limitante (<15-20%). Y, por otro lado, está el encalado de mantenimiento el cual consiste e que, una vez hecha la corrección, el estado cálcico del suelo debe mantenerse a un nivel adecuado para los cultivos que forman parte de la rotación (López; 1995)

Actualmente, se está haciendo uso de las prácticas de encalamiento en los suelos ácidos, ya que es importante y beneficioso (Castro & Gómez; 2008). Este método está siendo utilizado en la India para los cultivos de maní, el cual demostró efectos positivos en los cultivos ya que logró que la planta tuviera un crecimiento exponencial en los niveles de calcio, magnesio y fósforo y a la vez hizo que se disminuyera el aluminio en los cultivos. Esto mejoró la fijación biológica de nitrógeno, aumentando los rendimientos de los cultivos de maní (Basu, 2008). Mientras que, en Brasil el manejo de cales en sus suelos ácidos favoreció los rendimientos, costos de rendimiento y la estructura del suelo en los cultivos de soya (Caires et al.; 2006)

5. Enmiendas calcáreas

La enmienda es el aporte que se le brinda a un tipo de fertilizante o son los componentes destinados a brindar una mejora eficiente en los suelos ya sea en su estructura, composición o pH. Las enmiendas calcáreas más comunes son:

Tabla 2. *Fuentes comunes de enmiendas*

Material	Características	Equivalente Químico %	Ton.ha⁻¹ equivalente 1 ton. ha⁻¹ de CaCO₃ puro
Cal calcítica	CaCO ₃ , es la fuente más común y asequible	75-100	1.3-1.0
Oxido de calcio	Es la cal viva, que reacciona rápidamente, para cultivos de corto tiempo y es difícil de usarlo.	120-175	0.8-0.6
Hidróxido de calcio	Es la cal apagada (Ca(OH) ₂) de rápida reacción, poco efecto residual y de alto precio.	110-135	0.9-0.7

Dolomita	Carbonato de calcio y magnesio, contiene 30-50% de $MgCO_3$	95>100	1.1-0.9
Magnesita	$MgCO_3$, es un efecto neutralizante, importado de Guatemala	100-120	1.0-0.8
Oxido de magnesio	MgO , tiene un alto poder neutralizante y de rápida reacción	175-240	0.6-0.4

Fuente: (Molina, 2014)

La calidad de las enmiendas calcáreas posee distintas características respecto a los materiales que ofrecen para su neutralización como acidez del suelo, lo cual hace cambiar la eficiencia agronómica en base la pureza del material. Por otro lado, la pureza de estas enmiendas se debe a la composición química y a la disposición de contaminantes presentes en la arcilla, materia orgánica y otros tipos de minerales. De lo anteriormente mencionado, va a depender la capacidad neutralizadora de acidez. Por lo general, la capacidad de enmienda que neutraliza la acidez se expresa como valor neutralizante (VN), lo cual es una medida neutralizadora de cal (Bernier; 2000)

Las enmiendas calcáreas al mezclarse se convierten en físicas, en donde más de dos enmiendas cumplen funciones similares en lo que respecta a la rectificación de acidez del suelo. Las combinaciones más frecuentes que se emplean es la dolomita y el yeso en distintas concentraciones. Del mismo modo, se realizan combinaciones de carbonato de calcio con óxido o hidróxido de calcio. Estas mezclas de enmiendas han logrado ser reconocidas en los mercados nacionales e internacionales, ya que logra juntar más de dos enmiendas con distintas cualidades, provocando que la cal reaccione de manera más rápida y eficiente.

Por otro lado, la manera más efectiva de aplicar la cal es incorporándolo al material en los 15-20 cm de suelo para asegurar que este tenga contacto directo con la capa arable. Muchos de los encalados presentan baja solubilidad en agua, es por ello, que la cal al incorporarse en el suelo es más factible ya que tendrá una reacción inmediata y rápida. Si la cal a aplicar se realiza mediante el arado, es más propenso que el material junto a la capa del suelo, se concentre en las raíces de los cultivos. Y estudios afirman que, si la cal

es aplicada en suelos arcillosos, estos son más efectivas ya que la cal actúa de manera rápida. (Alcarde; 1992)

Y la mejor época a elegir para encalar es cuando los suelos se encuentran sin cultivo es decir en las estaciones de otoño y primavera (Urbano; 1987). Mientras para Guitian (1976), afirma que la época de año no es lo primordial, ya que se puede realizar el encalado en cualquier estación, solo con el único objetivo de que el suelo se encuentre en óptimas condiciones. Pese a ello, es recomendable añadir la cal antes de la siembra de una leguminosa o cultivos que son sensibles a la acidez. Este autor también añade que la reacción del suelo con la cal añadida siempre es distribuida durante el primer y segundo año y a la vez afirma que cualquier encalado que se realice es al suelo mas no a la planta.

5.1 Carbonato o cales agrícolas

Este es el más utilizado debido a su bajo costo, tienen una baja solubilidad, es por ello que, tardan de uno a más meses en mostrar sus efectos en el suelo. Hay dos categorías de enmiendas calcáreas: carbonato de calcio que se le denomina como cal calcítica (CaCO_3) y el carbonato doble de calcio y de magnesio también llamado cal dolomítica (Campillo; 2014). En países internacionales como Costa Rica, el encalado a utilizar es el carbonato de calcio, ya que en ese país hay bastantes yacimientos de roca caliza y su precio es mínimo.

5.2 Oxido de calcio

Este material encalante se le conoce como cal viva (CaO), es un polvo blanco dificultoso de utilizar por su efecto caustico. Este al aplicarse en un suelo ácido reacciona de manera acelerada, de manera semejante al de hidróxido de calcio (Alfaro et al. 2008; Bernier et al. 2008)

5.3 Hidróxido de calcio

Se le denomina cal apagada ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), este se produce a partir de la reacción del óxido de calcio con agua, este encalante es similar al óxido de calcio ya que también es de color blanco y es complicado de manejarlo. Este al estar en contacto con el agua del suelo, reacciona de manera rápida. Es recomendable usarlo en praderas, debido a que reacciona velozmente. Sin embargo, presenta algunas desventajas como el alto costo y el arduo manejo de este encalante (Espinoza et al. 1999; Molina et al.; 1999)

5.4 Dolomita

La dolomita se le conoce como carbonato doble de calcio y magnesio ($\text{CaCO}_3 * \text{MgCO}_3$), esta enmienda es importante ya que tiene magnesio, lo cual un suelo ácido carece de ello. Por otro lado, la dolomita va a depender mucho del suministro de impurezas como las arcillas y material orgánico (Espinoza;1999). En los países de Guatemala y Honduras hay varios yacimientos de cal dolomita (carbonatos de Ca y Mg), material que es más recomendable y utilizable como enmienda en los suelos ácidos debido a su aporte de Mg, si lo aplicamos en Perú también resultaría utilizarlo como enmienda, pero el costo sería muy elevado, ya que carecemos de yacimientos de cal dolomita (Molina 1998).

5.5 Magnesita

El carbonato de magnesio (CO_3Mg) se le denomina a la magnesita, el cual es aplicable en los suelos ácidos que carecen de magnesio. Posee una estructura como la de la calcita. Existen algunos depósitos en Australia específicamente en los montes de Urales y Estiria. Y en los Estados Unidos, estado de California se encuentra masas irregulares de magnesita (Hurbult;2013)

5.6 Oxido de magnesio

Es el resultado de la calcinación del carbonato de magnesio, es usado como fertilizante por su rápida reacción en el suelo, es de alta pureza y es recomendable para los suelos con disponibilidad limitada de magnesio (Mg), pero va a depender del diagnóstico del suelo y del tipo de cultivo (Nutrimon, 2017).

También existen otras enmiendas calcáreas que no son tan comunes, pero que se utilizan para enmendar los suelos ácidos como la roca fosfórica y la cáscara de huevo.

5.7 Roca fosfórica

La roca fosfórica es un producto natural que se le denomina a los minerales que contienen fósforo, es un recurso finito y no renovable, este cuando se añade al suelo se disuelve de manera lenta para liberar los nutrientes y solo es factible en condiciones acidas del suelo, logrando el aumento del pH y reduciendo la toxicidad de aluminio (International Plant Nutrition Institute; 2017)

En México, utilizan la roca fosfórica como enmienda calcárea debido a que es un producto natural y contiene minerales de fosfato de calcio, lo cual es beneficioso para su aprovechamiento (Gutiérrez; 1991). Por otro lado, al poseer una eficiencia agronómica, hace que sus precios se vuelvan económicamente competitivos. Además, este encalado permite que se use como fertilizante en los suelos con pH menor o igual a 6 (Núñez y Gavi; 1991)

5.8 Cáscara de huevo

Esta enmienda (CaCO_3) es obtenido a partir de la cáscara de huevo de ave doméstica, contiene 98% de carbonato de calcio y solo 2% de proteína, además de trazas de magnesio y fosforo (Huanca; 2018). Por lo que, impide que se desarrolle la acidez; es decir, tiene un efecto neutralizante en los suelos ácidos (Huanio; 2017).

Es por ello que, la Amazonia Peruana al tener suelos tropicales es indicio de que son de origen ácido, y esto se debe a los factores meteorológicos como la temperatura y precipitación, por otro lado, es que son suelos ácidos debido a su formación geológica, es decir, son ácidos por naturaleza ya que presentan un pH alrededor de 4 y 5.5, tienen un elevado porcentaje de aluminio y poco contenido de bases. Por ende, para alcanzar una mayor producción en los cultivos y un mejor rendimiento en la calidad del suelo, es recomendable hacer uso de las enmiendas calcáreas mencionadas anteriormente, para tener como resultado un buen manejo en el encalamiento.

V. CONCLUSIÓN

Se concluyó mediante la revisión bibliográfica que la contaminación por cadmio en los cultivos cacaoteros se ha vuelto un tema de gran preocupación en la Amazonia Peruana, ya que este metal una vez disponible en el suelo, son absorbidos por la planta de cacao, por lo tanto, está afectando a la exportación y comercialización del producto. Debido a ello, se evaluaron distintos métodos entre ellos se encuentra el buffer del suelo, la inmovilización del elemento y el encalado. El método buffer del suelo es recomendable y usado a un 30% mientras que el método inmovilización del elemento solo es usado a un 20% para la remoción de cadmio en cultivos de cacao. Por lo que, el método más recomendado y factible a un 90% es el método del encalado a través de enmiendas calcáreas, el cual permite aumentar el nivel de pH a un nivel considerado óptimo (5,5-6,0) y a la vez reducir el aluminio en un (<15-20%) en los suelos cacaoteros.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, S., & Pozo, 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), 69–82. Retrieved from <http://infoanalitica-puce.edu.ec/index.php/infoanalitica/article/view/43>
- ALCARDE J.C. 1992. Corretivos da acidez dos solos: características e interpretacoes técnicas. ANDA, Sao Paulo, Brasil. Boletim Técnico N° 6. 26 p.
- Chavez, E., Z.L. He, P.J. Stoffella, R.S. Mylavarapu, Y.C. Li, B. Moyano y V.C. Baligar. 2015. “Concentration of cadmium in cacao beans and its relationship with soil cadmium in southern Ecuador.” *Science of The Total Environment* 533:205– 214. [en línea] doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.06.106>.
- FAO/WHO. 2014. “Anteproyecto de niveles máximos para el cadmio en el chocolate y productos derivados de cacao.” Comisión del Codex Alimentarius. [en línea] disponible en: <https://goo.gl/5MeHzF>.
- Fontes, M. P. F.; A.T. de Matos; L.M. da Costa y J.C.L. Neves. 2000. Competitive adsorption of zinc, cadmium, copper and lead in three highly-weathered Brazilian soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 31:2939-2958
- Jaramillo, R. 2013. Metales pesados en plantaciones: Antecedentes y manejo. In Cumbre Mundial de Cacao, Guayaquil, Ecuador 26-28 de agosto de 2013 [en línea] disponible en: <https://goo.gl/fqvzXr>.
- Jimenez, T. (2015). Estado legal mundial del cadmio en cacao (*Theobroma cacao*): fantasía o realidad. Retrieved from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552015000100009
- Lanza, J. G, P. C Churión, N. J Lieno y V. H. López. 2016. “Evaluación del contenido de metales pesados en cacao (*Theobroma cacao* L.) de Santa Bárbara de Zulia, Venezuela.” *SABER. Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente* 28:106–115. [en línea] disponible en: <https://goo.gl/pu5XaQ>.

Maroto, J. V. 2002. La horticultura en la Comunidad Valenciana: evolución, análisis técnico y de futuro. Jornada Autonómica de la Comunidad Valenciana, 31. Valencia. Libro blanco de la agricultura y el desarrollo rural.

Molina, E. (2014). Acidez de suelos y uso de enmiendas. *Nota Técnica #1*, (Cuadro 2), 1–7. Retrieved from [http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/Nota técnica 1-2014_Acidez de suelos y uso de enmiendas.pdf](http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/Nota_técnica_1-2014_Acidez_de_suelos_y_uso_de_enmiendas.pdf)

Singh, A. et al., (2010). Risk assessment of heavy metal toxicity through contaminated vegetables from waste water irrigated area of Varanasi, India. *Tropical Ecology*, 51(2 SUPPL.), pp.375–387. Available at: DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fct.2009.11.041>.