



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución- NoComercial-Compartirigual 2.5 Perú](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/).

Vea una copia de esta licencia en <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN-TARAPOTO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



**Efecto de enmiendas cálcicas y orgánicas en la absorción de cadmio en
plantones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Región San Martín**

Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Agrónomo

AUTOR:

Juvicksa Amayda Correa Villacorta

ASESOR:

Ing. Dr. Carlos Rengifo Saavedra

CO-ASESOR

Ing. M.Sc. César Oswaldo Arévalo Hernández

Tarapoto – Perú

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN-TARAPOTO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA

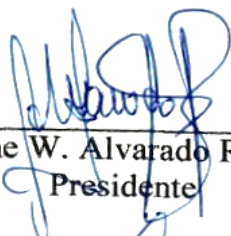


**Efecto de enmiendas cálcicas y orgánicas en la absorción de cadmio en
plantones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Región San Martín**

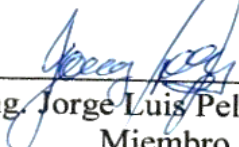
AUTOR:

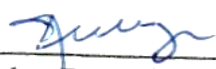
Juvicksa Amayda Correa Villacorta

Sustentada y aprobada el 16 de Noviembre de 2018, por los siguientes jurados


Dr. Jaime W. Alvarado Ramírez
Presidente


Ing. M. Sc Guillermo Vásquez Ramírez
Secretario


Ing. Jorge Luis Peláez Rivera
Miembro


Dr. Carlos Rengifo Saavedra
Asesor

Declaratoria de autenticidad

Juvicksa Amayda Correa Villacorta, identificada con DNI N° 71501367, Bachiller de la Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela Profesional de Agronomía de la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, con la tesis titulada: **Efecto de enmiendas cálcicas y orgánicas en la absorción de cadmio en plántones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la región San Martín.**

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría.
2. He respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas. Por lo tanto, la tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente.
3. La tesis no fue auto plagiada, es decir no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no fueron falseados, ni duplicados, ni copiados y por lo tanto los resultados que se presentan en la tesis se construirán en aportes a la realidad investigada.

De considerar que el trabajo cuenta con una falta grave, como el hecho de contar con datos fraudulentos, demostrar indicios y plagios (al no citar la información con sus autores), plagio (al presentar información de otros trabajos como propios), falsificación (al presentar ideas de otras personas) y otros; asumo las consecuencias y sanciones que de mis acciones se deriven, sometiéndome a la normativa vigente de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Tarapoto, 16 Noviembre del 2018


.....
Bach. Juvicksa A. Correa Villacorta
DNI N° 71501367



Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis.

1. Datos del autor:

Apellidos y nombres:	Correa Villacorta Juvicksa Amayda		
Código de alumno :	111115	Teléfono:	944906484
Correo electrónico :	juvicksacorreav@gmail.com	DNI:	71501367

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Datos Académicos

Facultad de:	Ciencias Agrarias
Escuela Profesional de:	Agronomía

3. Tipo de trabajo de investigación

Tesis	(X)	Trabajo de investigación	()
Trabajo de suficiencia profesional	()		

4. Datos del Trabajo de investigación

Título:	Efecto de enmiendas cálcicas y orgánicas en la absorción de Cadmio en plántulas de cacao (Theobroma cacao L.), en la región San Martín		
Año de publicación:	2018		

5. Tipo de Acceso al documento

Acceso público *	(X)	Embargo	()
Acceso restringido **	()		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia No Exclusiva, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

6. Originalidad del archivo digital.

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12º del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI "Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA".


.....
Firma del Autor

8. Para ser llenado en la Oficina de Repositorio Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso Abierto de la UNSM – T.

Fecha de recepción del documento:

09 / 04 / 2019



.....
Firma del Responsable de Repositorio
Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso
Abierto de la UNSM – T.

*Acceso abierto: uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

** Acceso restringido: el documento no se visualizará en el Repositorio.

Dedicatoria

“A mis padres **Rocío Villacorta y Gilder Correa**, por su apoyo moral en mi etapa profesional, por brindarme su afecto, cariño, por inculcarme valores, acompañándome en las buenas y las malas”.

“A mi hermano **Franco Correa**, por su gratitud y su afecto.

A mi **Familia**, porque siempre me están aconsejando, motivando para seguir esforzándome y crezca profesionalmente”.

“A mis **compañeros**, por su compañerismo.

A mis **amigos y amigas**, que de alguna forma contribuyeron con mi formación profesional”.

Agradecimiento

Al **Instituto de Cultivos Tropicales (I.C.T)** por darme la oportunidad y el apoyo en la ejecución de la tesis.

A la **Universidad Nacional de San Martín- T (UNSM-T)**, por brindarme las facilidades y apoyo en la elaboración del proyecto de investigación y docentes que contribuyeron en mi formación profesional.

A mi asesor **Carlos Rengifo Saavedra** y mi co-asesor **César O. Arévalo Hernández** por apoyarme en la ejecución, redacción de la tesis.

A mis padres **Rocío y Gilder**, porque siempre me están acompañando, aconsejando y a mi hermano Franco por su ayuda en la ejecución de la tesis.

A mis **amigos** y a todos los **compañeros** que de alguna forma me apoyaron y han hecho posible la culminación de la tesis y mi trayectoria profesional.

Índice

Introducción	1
CAPÍTULO I.....	3
1.1. Fundamento teórico científico.	3
1.2. Cultivo de Cacao.....	3
1.2.1. Origen.....	3
1.2.2. Importancia económica y producción mundial del cultivo.....	3
1.2.3. Metales pesados	3
1.2.5. Fuentes de contaminación.....	6
1.2.6. Ingreso, transporte, acumulación de metales pesados.....	7
1.2.7. Efectos tóxicos en la planta	11
1.2.8. Estrategias de remediación	12
1.2.9. Valores referenciales en productos alimenticios de Cacao.....	17
1.2.10. Efectos de cadmio en la salud humana.	17
1.2.11. Antecedentes de Investigación.....	18
CAPITULO II: MATERIAL Y MÉTODOS	20
2.1. Tipo y nivel de investigación.....	20
2.1.1. Tipo de investigación.	20
2.1.2. Nivel de investigación.	20
2.2. Diseño de investigación.....	20
2.2.1. Área de estudio.....	21
2.3. Población y muestra	22
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	23
2.5. Materiales y métodos	24
2.5.1. Materiales.....	24

	xiii
2.5.2. Métodos	26
CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	35
3.1. Altura de plántones de cacao.....	35
3.2. Diámetro de tallos de los plántones de cacao	39
3.3. Materia seca (parte aérea) de los plántones de cacao.....	43
3.4. Materia seca radicular de plántones de cacao.....	48
3.5. Contenido de cadmio en la parte aérea de los plántones de cacao.....	52
3.6. Contenido de cadmio en raíces de plántones de cacao.....	55
CONCLUSIONES.....	58
RECOMENDACIONES.....	59
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	60
ANEXOS.....	67

Índice de Tablas

Tabla 1. Contenidos máximos de Cd en productos alimenticios (U.E, 2014)	17
Tabla 2. Tratamientos en estudio.....	21
Tabla 3. Análisis del sustrato, antes de la aplicación de las enmiendas	69
Tabla 4. Análisis químico de las enmiendas cálcicas y orgánicas	30
Tabla 5. ANVA de altura de los plántones de cacao	35
Tabla 6. Tukey aplicado a la variable altura, con aplicación de enmiendas orgánica	36
Tabla 7. Tukey aplicado a la variable altura, con enmiendas cálcicas y cadmio	38
Tabla 8. ANVA para diámetro de tallos de los plántones de cacao	40
Tabla 9. Tukey aplicado a diámetro de tallos, con enmiendas orgánicas	41
Tabla 10 Tukey aplicado a diámetros de tallos, con enmiendas cálcicas y orgánicas .	43
Tabla 11. ANVA de materia seca parte aérea de los plántones de cacao	44
Tabla 12. Tukey aplicado M. seca aérea, con enmiendas orgánicas, cálcicas cadmio..	45
Tabla 13. Tukey aplicada a M. seca aérea con H. de calcio, E. orgánicas y cadmio. ..	47
Tabla 14. ANVA de materia seca radicular de los plántones de Cacao	49
Tabla 15. Tukey aplicada a M. seca radicular, con H. de calcio, E. orgánicas y Cd...	50
Tabla 16. Tukey aplicada a M. seca radicular, con Dolomita, E. orgánicas y cadmio.	51
Tabla 17. ANVA del Contenido de Cadmio ($\mu\text{g g}^{-1}$), en la parte aérea	53
Tabla 18. Tukey aplicada a contenido de cadmio aéreo, con E. orgánicas y cálcicas..	54
Tabla 19. ANVA del contenido de cadmio ($\mu\text{g g}^{-1}$), en la parte radicular.....	56
Tabla 20. Tukey aplicada a contenido de cadmio radicular con E.O y cálcicas.	57
Tabla 21 Análisis del sustrato después de la aplicación de E. orgánicas y cálcicas....	67
Tabla 22 Croquis de la distribución experimental de los plántones de cacao.....	68

Índice de figuras

Figura 1. Cama pre germinadora y semillas de cacao con la radícula diferenciada.....	23
Figura 2. Plantón de cacao, con las bases establecidas para tomar las medidas de altura..	24
Figura 3. A. Muestras del sustrato para el análisis. B. Macetas ordenadas en el vivero.....	27
Figura 4. Solución concentrada de cadmio a 5000 ppm.....	27
Figura 5. Aplicación de cadmio al sustrato.....	28
Figura 6. Aplicación de dolomita e hidróxido de calcio.....	28
Figura 7. Aplicación de compost al sustrato.....	29
Figura 8. Siembra de las semillas de cacao.....	30
Figura 9. Evaluaciones biométricas de los plantones de cacao.....	31
Figura 10. Preparación de las plantas de cacao para el sacrificio.....	32
Figura 11. Proceso de sacrificio de los plantones.....	32
Figura 12. Separación de la parte aérea y radicular de los plantones de cacao.....	32
Figura 13. Plantones de cacao con diferentes tratamientos T3 (D) y T11 (C).....	33
Figura 14. Desinfección con la solución de ácido clorhídrico y agua destilada.....	33
Figura 15. Peso fresco aéreo-radicular y secado de las muestras en la estufa a 60°.....	33
Figura 16. Trituración de muestras secas (hojas, tallos y raíces).....	34
Figura 17. Proceso de digestión de las muestras foliares y radiculares.....	34
Figura 18. Dilución con agua destilada de muestras foliares y radiculares.....	34
Figura 19. Altura de plantones de cacao evaluadas hasta los 120 dds con enmiendas cálcicas y cadmio.....	37
Figura 20. Altura de los plantones de cacao con la aplicación de enmiendas cálcicas y cadmio.....	39
Figura 21. Diámetros de tallos de los plantones de cacao con E. orgánicas y cadmio.....	42
Figura 22. Diámetro de tallos de los plantones de cacao con E. orgánicas y enmiendas cálcicas.....	43
Figura 23. M. seca aérea de plantones de cacao con la aplicación de E. orgánicas, dolomita y cadmio.....	46
Figura 24. M. seca aérea, de los plantones de cacao con E. orgánicas, H. de calcio y cadmio.....	48
Figura 25. M. seca radicular de los plantones de cacao con E. orgánicas, H. de calcio y cadmio.....	50
Figura 26. M. seca radicular con enmiendas orgánicas y dolomita.....	52
Figura 27. Contenido de cadmio aéreo con enmiendas orgánicas y cálcicas cálcicas.....	55
Figura 28. Contenido de cadmio radicular con enmiendas orgánicas y cálcicas.....	57

Resumen

El cacao peruano fue reconocido y premiado por Internacional Cocoa Awards (I.C.A), como “cacao de excelencia”, por su calidad (sabor y aroma). En el año 2017, se logró una producción de 44.2 millones de toneladas, debido al incremento de las áreas sembradas (MINAGRI., 2016). Actualmente el Perú, está ubicado en el 9° lugar de importancia en el mundo con un 2% de la producción mundial, superada por Camerún, Brazil, entre otros países asiáticos y africanos.

El presente estudio se realizó en el Instituto de cultivos tropicales (I.C.T), Banda de Shilcayo. El objetivo fue determinar el efecto de la aplicación de enmiendas cálcicas (Dolomita e Hidróxido de Calcio), enmiendas orgánicas (Guano de Isla, Gallinaza y Compost) en la absorción de cadmio en los plántones de cacao. El diseño empleado fue parcelas divididas con 5 repeticiones. Se evaluaron altura, diámetro del tallo, materia seca de la parte aérea, raíces, contenido de cadmio parte aérea y radicular de los plántones.

Los mejores resultados en parámetros biométricos se obtuvieron con el tratamiento guano de isla. Todas las enmiendas orgánicas redujeron el contenido de cadmio, en tallos, hojas y raíces; siendo el tratamiento gallinaza e diferencias significativas, respecto al testigo, reduciendo el contenido de cadmio en un 81.48%. La acumulación de cadmio fue mayor en las raíces que en la parte aérea.

Palabra clave: Cacao, cadmio, enmiendas cálcicas, enmiendas orgánicas.

Abstract

The Peruvian cocoa was recognized and awarded by the International Cocoa Awards (I.C.A), as "cocoa of excellence", for its quality (flavor and aroma). In the year 2017, a production of 44.2 million tons was achieved, due to the increase in the areas planted (MINAGRI., 2016). Currently, Peru is located in the 9th place of importance in the world with 2% of world production, surpassed by Cameroon, Brazil, among other Asian and African countries.

The following study was conducted at the Institute of Tropical Crops (I.C.T), Banda de Shilcayo. The objective was to determine the effect of the application of calcium amendments (Dolomite and Calcium Hydroxide), organic amendments (Island Guano, Gallinaza and Compost) on the absorption of cadmium in cocoa seedlings. The design used was split plots with 5 repetitions. Height, stem diameter, dry matter of the aerial part, roots, cadmium content, aerial part and radicular of the seedlings were evaluated.

The best results in biometric parameters were obtained with guano island treatment. All the organic amendments reduced the content of cadmium, in stems, leaves and roots; the chicken manure treatment showed significant differences with respect to the control, reducing the cadmium content by 81.48 %. The accumulation of cadmium was higher in the roots than in the aerial part.

Keyword: Cocoa, cadmium, calcium amendments, organic amendments.



Introducción

El cacao (*Theobroma cacao* L.), conocido como el alimento de los dioses, es un cultivo de importancia comercial para muchos países americanos y africanos; Costa de Marfil, Ghana e Indonesia, representan el 70.07 % de la producción mundial de cacao. (Aikpokpodion, 2010).

El Perú, es el segundo país productor de cacao orgánico a nivel mundial, logrando exportar 108 000 toneladas de grano (MINAGRI., 2016), es por ello que la ICCO (Organización internacional del cacao) calificó al Perú como un país productor y exportador de cacao fino y de aroma.

Actualmente la problemática principal para los productores cacaoteros, es la Normativa Europea N° 488/2014 (U.E, 2014), donde menciona que la ingesta tolerable de cadmio en derivados de cacao es los siguiente: Para chocolate con leche con un contenido de materia seca total de cacao < 30% de (0.10 mg kg^{-1}), chocolate con un contenido de materia seca total de cacao < 50%; chocolate con leche con un contenido de materia seca total de cacao $\geq 30\%$ de (0.30 mg kg^{-1}), chocolate con un contenido de materia seca total de cacao $\geq 50 \%$ de (0.80 mg kg^{-1}), cacao en polvo vendido al consumidor final o como ingrediente en cacao en polvo edulcorado vendido al consumidor final (chocolate para beber) de 0.60 mg kg^{-1} , que estará vigente en el año 2019 y afectará las exportaciones causando pérdidas económicas.

Al consumir grandes cantidades de alimentos contaminados, como las carnes, mariscos, derivados del cacao (el chocolate producto de mayor consumo) y otros. El ciclo de ingreso en el organismo, es través de las plantas, estas absorben del suelo los iones metálicos que se encuentran de manera natural o combinados con óxidos, cloruros, azufres, otros minerales y quelatos orgánicos, junto con los macronutrientes esenciales (Kabata-Pendias, 2010). El contenido de cadmio en suelo, aumenta con la incorporación de productos químicos, fertilizantes fosfatados, aplicaciones foliares y otros (Adriano, 2001). Su movilidad y disponibilidad, depende de los factores físicos, químicos y biológicos del suelo (Zamora, 2018), (Adriano, 2001).

Dentro de las técnicas de remediación más utilizadas se encuentra el encalado, que consiste en la aplicación de sales básicas al suelo; los minerales que se utilizan para corregir el pH son los carbonatos, óxidos, silicatos de Ca^{2+} y Mg^{2+} , siendo la dolomita y la cal, las fuentes de mayor uso, aplicadas al suelo aumentan el pH, disminuyendo la absorción de cadmio (Espinoza J. , 1999).

La aplicación de enmiendas orgánicas, es otra técnica de remediación que consiste en aportar nutrientes al suelo, con la finalidad de mejorar las características físicas y químicas, principalmente por el aporte de materia orgánica por sus propiedades quelatantes que inmovilizan al cadmio disminuyendo su absorción por las plantas. Debido a ello, estudios que buscan disminuir la disponibilidad de cadmio se basan en las propiedades químicas que presentan estos tipos de enmiendas (Félix-Herrán, Sañudo-Torres, Rojo-Martínez, Martínez-Ruiz, & Olalde-Portugal, 2008).

La hipótesis planteada del trabajo de investigación fue: Efecto de enmiendas cálcicas y orgánicas reducen la absorción de cadmio, en plántones de cacao (*Theobroma cacao* L.), en la región San Martín.

El objetivo principal fue: Determinar el efecto de enmiendas cálcicas (hidróxido de calcio, dolomita) y orgánicas (guano de isla, gallinaza, compost) en la absorción de cadmio en plántones de cacao (*Theobroma cacao* L.), en la región San Martín. Entre los objetivos específicos se considera: a) Determinar el efecto de la aplicación de enmiendas cálcicas y orgánicas, en parámetros biométricos en plántones de cacao, b) Evaluar el efecto de la aplicación de enmiendas cálcicas y orgánicas, en la absorción de cadmio en plántones de cacao.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Fundamento teórico científico.

1.2. Cultivo de Cacao

1.2.1. Origen

El árbol de cacao pertenece al género *Theobroma*, un grupo de árboles que crece en la cuenca del Amazonas y otras áreas tropicales del sur y de América central. Existe más de veinte especies del género cacao; *Theobroma cacao* es el único cultivado ampliamente (Wood & Lass, 2001).

1.2.2. Importancia económica y producción mundial del cultivo

(ICCO, 2003) Menciona, desde hace más de dos siglos el cacao (*Theobroma cacao* L.) se ha destacado como un cultivo de gran importancia económica y comercial en el ámbito mundial. Los granos de cacao son utilizados como materia prima por las industrias de confitería, bebidas, cosmetología y farmacéutica (Jiménez Tobón, 2015).

En el año 2017, las exportaciones de cacao y chocolates superaron los U.S \$ 300 millones, siendo los principales mercados de destino EEUU y Unión Europea (Holanda, Bélgica, Alemania e Italia). En el Perú existe un total de 130 mil hectáreas de cacao, contando con más de 60 de los muchos clones existentes a nivel del mundo y beneficiando aproximadamente a 450 mil personas (MINAGRI, 2013).

1.2.3. Metales pesados

Son aquellos elementos químicos que tienen una densidad mayor o igual que 5 g cm^{-3} de la corteza terrestre de forma elemental (excluyendo a los metales alcalinos) y son tóxicos en concentraciones muy bajas (Lucho-Constantino, Alvarez-Suárez, Beltrán Hernández, Prieto-García, & Poggi-Varaldo, 2005). Su presencia en el suelo es inferior a 0.1%.

Se encuentran generalmente como componentes naturales de la corteza terrestre en forma de minerales, sales u otros compuestos. No pueden ser degradados o

destruidos fácilmente de forma natural o biológica ya que no tienen funciones metabólicas específicas para los seres vivos (Abollino, y otros, 2002). Los metales pesados son peligrosos porque tienden a bioacumularse en los seres vivos (Angelova, Ivanova, Delibaltova, & Ivanov, 2004). La incorporación de metales pesados a los organismos vivos, es a través de diferentes vías como: Alimentación (ingerir productos alimenticios como frutas y verduras contaminadas), agua, aire (emisión de gases tóxicos a la atmosfera por fabricas metalúrgicas) (Lucho-Constantino, Alvarez-Suárez, Beltrán Hernández, Prieto-García, & Poggi-Varaldo, 2005).

Algunos de los metales pesados son esenciales en la planta en pequeñas cantidades siendo toxicas en cantidades mayores; se dividen en dos grupos:

Oligoelementos: B, Co, Cr, Cu, Mo, Mn, Ni, Se y Zn, requeridos en pequeñas cantidades y tóxicos en altas concentraciones.

Sin función biológica conocida: Son altamente tóxicos en mínimas concentraciones, como ejemplo tenemos al Mercurio (Hg^{2+}), Cadmio (Cd^{2+}), Arsénico (As^{3+}), Cromo (Cr^{3+}), Talio (Tl^+), Plomo (Pb^{2+}), entre otros (Pietro Méndez, Gonzáles Ramírez, Román Gutiérrez, & Prieto García, 2009).

La contaminación del suelo por metales pesados, es a través de factores antropogénicos como: Residuos industriales, fertilizantes fosfatados, productos químicos, riego con agua contaminada, abonos orgánicos, entre otros. Factores naturales como: Roca madre, actividad volcánica, presencia de minerales compuestos, entre otros (Mancilla-Villa, y otros, 2012).

La dinámica de los metales pesados en el suelo, pueden seguir cuatro vías:

a) Se movilizan a las aguas superficiales o subterráneas, b) Se difieren a la atmosfera a través de la volatilización, c) Son absorbidos por las plantas y d) Son adsorbidos en el suelo.

Los mecanismos de movilidad de los metales pesados en los suelos son (Alloway & Steinnes, 1999):

- **Acidificación.** Es el resultado de la oxidación de sulfuros minerales, precipitados, fertilizantes de NH_4^+ , fijación biológica de nitrógeno, precipitación atmosférica ácida (SO_x y NO_x) sobre los suelos, descomposición de la materia orgánica, escases de iones básicos por lixiviación y por vertidos de contaminantes ácidos.
- **Cambios en las condiciones redox.** Proceso de óxido-reducción pueden causar disoluciones de moléculas y liberar metales pesados, dando lugar a la precipitación de sulfuros insolubles de metales pesados, complejación de especies metálicas con ligandos orgánicos. Los ligandos son constituyentes químicos que se combinan con los metales en un complejo químico (Novotny, 1995).
- **Cambios en la composición iónica de la solución del suelo.** Pueden tener un marcado efecto en la adsorción de metales pesados y su incorporación en complejos inorgánicos solubles e insolubles. Hay cuatro tipos de efectos: a) Competición por los sitios de adsorción (por ejemplo, Ca^{2+} y Zn^{2+} , inhibiendo la adsorción de Cd^{2+}), b) Formación de complejos solubles (con aniones como Cl^{2-} y SO_4^{2-}), c) Formación de compuestos insolubles como el mineral piromorfita $\text{Pb}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$, d) Efectos de fuerza iónica, la aplicación de fertilizantes salinos, pueden causar una adsorción reducida de los iones y la desorción de metales de lugares de la superficie del suelo (Novotny, 1995).

Los metales pesados son tóxicos en pequeñas concentraciones al ser ingerido por los seres vivos no pueden ser degradados fácilmente ya que no cumplen funciones metabólicas específicas en su organismo (Pietro Méndez, Gonzáles Ramírez, Román Gutiérrez, & Prieto García, 2009). Las plantas, en general, absorben nutrientes del suelo junto con otros elementos y metales pesados, siendo este el principal proceso que permite su ingreso a la cadena alimenticia (Pietro Méndez, Gonzáles Ramírez, Román Gutiérrez, & Prieto García, 2009).

La absorción y la acumulación de cadmio, depende de su movilidad desde la solución del suelo hasta las hojas (Pietro Méndez, Gonzáles Ramírez, Román Gutiérrez, & Prieto García, 2009). Los metales pesados se bioacumulan, es decir aumentan su concentración en las plantas y otros seres vivos en un determinado tiempo (Angelova, Ivanova, Delibaltova, & Ivanov, 2004)

1.2.4. Cadmio (Cd)

Es un elemento químico cuyo símbolo es Cd^{2+} , su número atómico es 48; tiene relación estrecha con el Zinc, con el que se encuentra asociado en la naturaleza. Es un metal dúctil, de color blanco con un ligero matiz azulado. Es más blando y maleable que el Zinc, más duro que el Estaño. Su peso atómico es 112.40 μg y su densidad relativa de 8.65 g/cm^3 a 20°C (Rodríguez-Serrano, Martínez de la casa, Romero-Puertas, del Rio, & Sandalio, 2008).

El cadmio está presente en la corteza terrestre, generalmente se encuentra como mineral combinado con óxidos, cloruros y sulfatos formando minerales como la Greenockita o Blenda de cadmio (CdS), entre otros minerales (Kabata-Pendias, 2010). El nivel natural de cadmio en el suelo es generalmente menor de 1 ppm, todo tipo de suelos, rocas, algunos minerales de carbón, fertilizantes químicos, minerales y abonos orgánicos, contienen trazas de cadmio que se encuentran en una concentración de 1.5 – 10.5% (Adriano, 2001).

1.2.5. Fuentes de contaminación.

La contaminación ambiental por cadmio ha aumentado por consecuencia del incremento de la actividad industrial que ha tenido lugar a finales del siglo XX y principios del siglo XXI. Esto ha afectado de forma progresiva los diferentes ecosistemas terrestres (Pinto, Mota, de Varennes, & Pinto, 2004).

(Rodríguez-Serrano, Martínez de la casa, Romero-Puertas, del Rio, & Sandalio, 2008), mencionan que los factores antropogénicos más importantes de contaminación de cadmio son:

Emisiones atmosféricas. Se originan a partir de las minas metalúrgicas; el cadmio se extrae como subproducto del plomo, zinc, cobre y otros metales. Las incineradoras municipales y emisiones industriales procedentes de la producción de pigmentos para cristales, anticorrosivos, baterías de Ni/Cd, insecticidas, entre otros (McLaughlin & Singh, 1999).

Depósitos directos. Tipos de suelo (Alfisol, Inceptisol, entre otros), (Bonomelli, Bonilla, & Valenzuela, 2003). Otra fuente de Cadmio lo constituyen los fangos procedentes de aguas residuales que se utilizan en agricultura, han reportado un

aumento de metales pesados a través del tiempo, algunos análisis mostraron una acumulación mayor anual de Ni, Pb (Alloway & Steinnes, 1999).

Contaminación accidental. Ocurre eventualmente debido a la contaminación de suelos por procesos industriales, residuos de la minería y corrosión de estructuras galvanizadas. Un ejemplo son los vertidos de Aznalcóllar que tuvieron lugar en 1998, en España provincia de Sevilla, como consecuencia de la rotura de una balsa que contenía concentraciones elevadas de metales pesados procedentes de una mina de esa localidad (García, Díez, Martín, Simón, & Dorronsoro, 2009).

Actividades agrícolas. El empleo de agroquímicos como los fertilizantes y pesticidas en las actividades agropecuarias mediante prácticas inadecuadas, constituyen una de las formas de contaminación más importantes que impactan no solo a los suelos en áreas de aplicación. Al ser lavado por lluvias, factores de lixiviación, llegan a los ríos y finalmente a las zonas costeras afectando las especies marinas.

1.2.6. Ingreso, transporte, acumulación de metales pesados.

Las plantas han desarrollado mecanismos altamente específicos para absorber, translocar y acumular nutrientes (Lasat, 2000), sin embargo, algunos metales no esenciales son absorbidos, translocados y acumulados en la planta debido a que presentan un comportamiento electroquímico similar a los iones esenciales.

La raíz constituye el tejido de entrada principal de los metales pesados a la planta, ingresando fundamentalmente a través de los procesos fisiológicos como difusión, flujo de masas e intercambio catiónico. La absorción en la rizosfera puede estar influenciada por exudados de raíz, ácidos orgánicos, entre otros. Las plantas absorben metales pesados de la solución del suelo en formas iónicas tales como Zn^{2+} , Cu^{2+} , Cd^{2+} , Pb^{2+} , Ni^{2+} , Co^{2+} , Mn^{2+} y Cr^{3+} - Cr^{6+} . La absorción y el transporte de estos elementos están controlados y regulados por una variedad de moléculas, algunas de ellas involucradas en el transporte a través de la membrana, complejación y secuestro. La absorción de iones metálicos de la solución del suelo está mediada por portadores especializados acoplados a las proteínas presentes en la membrana plasmática de las células de la raíz (Brunetto, Avelar Ferreira, Melo, Ceretta, & Toselli, 2017). Los portadores realizan el transporte a través de iones como H^+ o Ca^{2+} y compuestos ricos en energía como el ATPases y algunas enzimas (pirofosfatasa), estas se encuentran ubicadas en la

membrana celular y membranas de las vacuolas (tonoplasto). Otro mecanismo, llamado transporte electroquímico secundario de H^+ , a través de la combinación de H^+ y el ion. Este tipo de co-transporte requiere energía proporcionada y generada por la hidrólisis de ATP realizada por las H^+ - ATPasas (Morsomme & Boutry, 2000). Por ejemplo, los portadores de metales pesados en las plantas se dividen en cuatro familias diferentes: como CPx-ATPasas, Nramps, CDF (difusión de cationes) y ZIP, que están involucrados en la absorción de metales (Seth, 2012). Los metales pesados no esenciales pueden competir eficazmente con metales esenciales presentan radios iónicos similares (Alford, Pilon-Smits, & Paschke, 2010). Las raíces poseen cargas negativas en sus células debido a la presencia de grupos carboxilos del ácido péptido (grupo amino NH_2 y $COOH$). De esta forma, los cationes entran por la pared celular, además de ser hidrofílica facilita el transporte iónico. Una vez unidas las cargas positivas a las negativas de la pared celular, los metales pesados se transportan por la vía apoplástica y simplástica.

No obstante, se ha demostrado recientemente que el plomo puede quedar retenido en la pared celular por la estructura de las lignina y celulosa (Marmioli, Antonioli, Maestri, & Marmioli, 2005).

Los exudados radiculares son importantes en la tolerancia a metales, ya que influyen en los factores de solubilidad de elementos esenciales y no esenciales de manera directa mediante la acidificación, quelación, precipitación y procesos de óxido-reducción.

La participación de los ácidos orgánicos en la tolerancia a metales, se observa principalmente en plantas expuestas al aluminio (González-Mendoza & Zapata-Pérez, 2008). Los exudados (compuestos orgánicos) liberados por la raíz de la planta, facilitan la disponibilidad de los metales, debido a que forman una capa externa a la raíz (mucigel), también favorece la complejación de metales pesados como el cadmio, cobre y plomo (Navarro-Aviñó, Aguilar Alonso, & López-Moya, 2007). Después de su absorción de la solución suelo, los iones metálicos pueden almacenarse en las raíces y / o trasladarse a los brotes a través del xilema (Jabeen, Ahmad, & Iqbal, 2009). El primer transporte radial sucede en el apoplasto, pasando por un filtro de difusión y regulación en el endodermio, para cruzar la membrana plasmática. Una vez dentro, se mueven principalmente a través del xilema (Barceló & Poschenrieder, 1992).

La absorción y distribución de los metales pesados en las plantas, depende de las especies, variedades, diferencias en la capacidad de retención del elemento absorbido en raíces y xilema (Shaw, 1989). Sin embargo, existen tres procesos que influyen en el movimiento de los metales pesados, de la raíz al brote a través del xilema siendo los siguientes: 1) Secuestro de los metales dentro de las células de las raíces, 2) Transporte simplástico en la estela y 3) Liberación en el xilema. Dentro del xilema, el transporte de los iones metálicos es un proceso estrictamente controlado y mediado por proteínas de la membrana, debido a la reactividad de los iones metálicos con los grupos funcionales OH^- , COO^- , $-\text{SH}$ y NH_2 , los ácidos carboxílicos y los aminoácidos representan ligandos potenciales de los metales pesados (Brunetto, Avelar Ferreira, Melo, Ceretta, & Toselli, 2017). Algunos ácidos carboxílicos (ácido cítrico, málico y oxálico) están implicados en diversos procesos, incluido el transporte a través del xilema y el secuestro vacuolar (Rauser, 1999).

El cadmio al ingresar a la célula, es transportado por algunas proteínas, entre ellos el transportador específico de calcio LCT1 (Clemens, 2001) y la proteína IRT1, perteneciente a la familia de transportadores de Zinc y Hierro (ZIP) (Guerinot, 2000). Otra familia de transportadores implicados, es el Nramp (proteína macrófaga asociada a la resistencia natural) localizada en la membrana de la vacuola, por lo que probablemente tenga una función en la movilización del metal y no en el ingreso del mismo a la raíz (Thomine, Wang, Ward, Crawford, & Schroeder, 2000).

La capacidad de las plantas para bioacumular metales y otros posibles contaminantes varían según la especie vegetal, capacidad de retención, interacción planta - raíz y la naturaleza de los contaminantes; por ejemplo los tallos de arvejas acumulan más cadmio que plomo en suelos tratados con dosis crecientes de metales pesados (Pietro Méndez, Gonzáles Ramírez, Román Gutiérrez, & Prieto García, 2009). Algunas plantas presentan una gran plasticidad (mecanismo de tolerancia a las condiciones ambientales) de respuesta fenotípica, en otros la tolerancia muestra claramente una base genética que depende de varios genes con carácter aditivo y dominante. En suelos contaminados con diferentes metales, se ha comprobado que las plantas pueden presentar una tolerancia, siendo las fitoquelatinas (péptidos que forman parte de las proteínas) responsables de la tolerancia a cadmio. Estudios por diversos autores han mostrado que la concentración de fitoquelatinas aumenta como respuesta a la absorción de cadmio (Barceló & Poschenrieder, 1992). Adicionalmente, es

importante mencionar que (Gulli, Rampino, Lupotto, Marmioli, & al., 2005) encontraron que al exponer plantas de cebada y maíz con cadmio, generaban una mayor inducción del gen Hvhsp17 (Proteínas de estrés térmico-HSP), localizado en el citoplasma, lo cual fue relacionado con la protección y reparación de proteínas durante la exposición al metal.

Quelación de metales pesados

La quelación se puede definir como la capacidad de una molécula para formar un complejo con un metal y así formar un nuevo compuesto con propiedades químicas diferentes del original. La quelación es un proceso homeostático (propiedad que consiste en mantener estable los cambios internos regulando la materia y los cambios externos con la energía), en el que participan dos tipos de moléculas.

Moléculas transportadoras, encargadas de transferir iones específicos de metales a organelos (vacuolas, cloroplastos y las mitocondrias) y 2) Los ligandos de alta afinidad, como las fitoquelatinas, metalotioneinas, ácidos orgánicos, proteínas de estrés térmico y los aminoácidos, los cuales contribuyen a la desintoxicación y mantienen estable la concentración de iones de metales en el citosol (matriz citoplasmática) (Clemens, 2001); (Hall, 2002).

Almacenamiento de metales en vacuola

La importancia de la vacuola en la tolerancia a metales ha sido demostrada en diversos trabajos. (Davies, Davies, & Francis, 1991), observaron que existe una correlación entre la tolerancia y una mayor proliferación de vacuolas en células del meristemo de la raíz en plantas de *Festuca rubra* (maleza perteneciente a la familia de las poaceas y se encuentra en Europa) al ser expuestas a Zn. También se ha demostrado que el tonoplasto (membrana que delimita a las vacuolas) es un factor clave en la tolerancia a metales, los tonoplastos aislados de plantas tolerantes y no tolerantes al metal, se observaron que el transporte a través del tonoplasto por proteínas de membrana a la vacuola fue 2.5 veces mayor en las plantas tolerantes, confirmando la importancia de la vacuola en la tolerancia a metales en las plantas.

1.2.7. Efectos tóxicos en la planta

El primer contacto de los metales pesados dentro de la planta, es el espacio del apoplasto y la pared celular de la raíz. Estos metales se almacenan como precipitados o en forma cristalina en las paredes de las células epidérmicas o del córtex (Baker, McGrath, Reeves, & Smith, 2000).

Entre los efectos negativos y visibles es la inhibición del crecimiento de la planta, sobre todo en raíces, clorosis y necrosis en hojas, posteriormente síntomas típicos de senescencia y abscisión. El síntoma más característico de la toxicidad por metales pesados es la reducción del crecimiento radicular. (Baker, McGrath, Reeves, & Smith, 2000).

También tienen lugar un gran número de daños estructurales, puesto que la presencia de metales pesados en el interior de las células provoca la aparición de especies reactivas de oxígeno (ROS), produciendo estrés oxidativo provocando una inestabilidad en la membrana celular (Baker, McGrath, Reeves, & Smith, 2000).

Los metales afectan las actividades fisiológicas y bioquímicas de las plantas. En el caso de la anhidrasa carbónica, el átomo de zinc presente en su centro activo es reemplazado por uno de metal pesado, produciendo una gran disminución de su actividad. Lo mismo sucede con las enzimas implicadas en el ciclo de Calvin. Otros efectos negativos de los metales pesados en plantas, es la disminución del contenido en clorofila y del potencial hídrico en las hojas o el cierre estomático, impidiendo el ingreso de CO₂ para llevar a cabo una correcta fotosíntesis (Baker, McGrath, Reeves, & Smith, 2000).

Algunos metales pueden ocasionar reducción de la elasticidad y de la extensibilidad de las paredes celulares y la plasmalema. Estas alteraciones fisicoquímicas, producen efectos en la biosíntesis enzimáticas, rotura de membranas, pérdida y como síntomas finales, apoptosis (muerte celular programada o provocada) y necrosis. Los metales pesados inhiben el flujo de electrones de la cadena de transporte o del Ciclo de Calvin y afectan la fotosíntesis por el exceso de energía lumínica que darán como resultado la formación de radicales de peróxido de hidrógeno, que son altamente tóxicos en las células (Baker, McGrath, Reeves, & Smith, 2000).

La reacción de defensa de las células de las plantas a los metales pesados, consiste en la producción de enzimas antioxidantes como la peroxidasa y superóxido dismutasa (SOD), mediante la cadena redox; sin embargo la toxicidad ocasiona la disminución de la capacidad antioxidante de las células. También se ha observado la inhibición de la asimilación de CO₂, cierre estomático por déficit hídrico inducido por los metales a causa los efectos tóxicos y su interferencia con la absorción y translocación del agua. El cierre estomático en la inhibición de la fotosíntesis, depende del tipo de metal (Barceló & Poschenrieder, 1992). El cadmio principalmente afecta la fotosíntesis y la transpiración. Las adaptaciones específicas de las plantas al estrés por metales se basan en mecanismos de resistencia que reducen su entrada en la planta; si son absorbidos permiten su almacenamiento en lugares no perjudiciales para las células.

1.2.8. Estrategias de remediación

A) Aplicación de microorganismos

Hongos micorrízicos (HM). En las plantas el proceso de adsorción de metales puede estar influenciado por microorganismos que están íntimamente asociados con la raíz (comunidad rizosférica). Entre estos microorganismos, los hongos micorrízicos (HM) forman asociaciones mutualistas (micorrizas) con diversas especies de plantas y pueden ser clasificados en dos grupos, de acuerdo con el tipo de colonización de la planta hospedera:

Hongos micorrízicos arbusculares (HMA), los cuales se caracterizan por colonizar intracelularmente el sistema radical de 80% de las especies vegetales.

Hongos ectomicorrízicos (HEM), se caracterizan por colonizar la raíz extracelularmente de 3% de las especies vegetales. En el caso de los HEM, los mecanismos que se pueden presentar son: (1) Movilidad del metal en el apoplasto (espacio extracelular por donde fluye el agua y otras sustancias), en donde es retenido por la red de Hartig (red de hifas de hongos) evitando la entrada a la raíz; (2) Reducción de la movilidad del metal en el apoplasto; (3) Secreción de sustancias quelatantes como ácidos orgánicos y otras sustancias producidas por el HEM y (4) Retención de los metales en el micelio externo del hongo (González-Mendoza & Zapata-Pérez, 2008).

B). Uso de plantas hiperacumuladoras, pueden superar en 100 a más veces los valores normales de metales acumulados. Estas plantas son especies muy tolerantes a uno o más metales pesados y a menudo su distribución está restringida a suelos ricos en un amplio rango de concentraciones de metales, pues no son competitivas en zonas no contaminadas.

La hiperacumulación ha evolucionado en más de 400 especies de plantas repartidas en 45 familias botánicas, siendo la familia *Brassicaceae* (especies de nombre común como coles, berros, repollo chino, rábanos, nabo, entre otras (Baker, McGrath, Reeves, & Smith, 2000).

Esta tecnología es efectiva a través de la manipulación genética, mejorando la capacidad de remediación de las plantas (Cherian & Oliveira, 2005). Se han mejorado especies vegetales con una mayor capacidad de degradación de contaminantes orgánicos o de acumulación de metales pesados. Algunas plantas genéticamente modificadas (GM) están adaptadas específicamente para la fitorremediación de Cd y otros metales (Delgadillo-López, Gonzáles-Ramírez, Prieto-García, Villagómez-Ibarra, & Acevedo-Sandoval, 2011).

C) Aplicación de enmiendas cálcicas.

La alternativa para corregir los problemas de acidez en los suelos, es la aplicación de enmiendas calcáreas, estas enmiendas aumentan el contenido de bases y neutralizan los protones que resultan del proceso de acidificación. Los suelos ácidos poseen cargas variables, que se caracterizan por poseer una alta concentración de Al^{3+} y Fe^{2+} y Mn^{2+} disponibles en la superficie de los coloides. Este aumento de la carga positiva disminuye la capacidad de retención de bases de intercambio en el complejo arcilla, materia orgánica del suelo y genera a su vez un aumento en el contenido de aluminio soluble. Por esta razón, es necesario aumentar la CIC del suelo, de esta manera las bases como Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^{+} , son retenidas en el complejo y tomadas por las plantas (Demagnet Filippi, 2017).

Al incrementar el pH del suelo, las moléculas de aluminio presentes forman hidróxidos que afectan el desarrollo de las plantas. Por lo tanto, el encalado consiste en agregar al suelo carbonatos de calcio y magnesio que permiten reducir la acidez e incrementar el pH, desplazando el aluminio intercambiable en las partículas del suelo y neutralizando el aluminio libre en la solución (Demagnet Filippi, 2017).

La incorporación de las enmiendas cálcicas al suelo, es previo al establecimiento a través del uso de rastra o incorporadores de rastros durante el proceso de preparación. Las enmiendas se aplican en cobertera, pero es la humedad del suelo que permite la reacción química neutralizando la acidez (Demagnet Filippi, 2017).

La reacción que ocurre en el suelo considera que los iones hidrógeno y aluminio presentes en la solución, reaccionan con las enmiendas cálcicas, dando como resultado agua y aluminio precipitado, que es reemplazado en los sitios de intercambio por calcio y otros cationes básicos, quedando el aluminio tóxico en una forma inerte en la solución del suelo (Demagnet Filippi, 2017).

El componente principal de los carbonatos de calcio es la piedra caliza, es una enmienda muy utilizada para neutralizar la acidez del suelo y suministrar de calcio. El término “cal” puede referirse a varios productos como (dolomita, cal agrícola, cal apagada, entre otros), pero en la agricultura generalmente se refiere a la piedra caliza molida (Espinoza J. , 1999).

El agregado de cal también es una fuente valiosa de calcio y posiblemente de magnesio como la dolomita que tiene los dos elementos en su composición. Algunos de los beneficios secundarios de la neutralización de la acidez del suelo son:

- Mayor disponibilidad de fósforo (P).
- Mejor fijación de nitrógeno (N) de las leguminosas.
- La mineralización de N y la nitrificación.
- Mejor uso del agua, recuperación de nutrientes y el crecimiento de las plantas con un sistema radicular más saludable.

Hidróxido de calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$: También es conocido como cal apagada o hidratada y se obtiene a partir de la reacción de Oxido de calcio con agua. El principal uso de la cal agrícola es elevar el pH de los suelos ácidos y reducir la concentración de aluminio (Al^{+++}) en la solución del suelo. El crecimiento pobre de los cultivos en los suelos ácidos se debe principalmente al aluminio soluble, que es tóxico para el sistema radical de muchas plantas. La cal reduce el aluminio soluble (Espinoza J. , 1999).

Dolomita: Carbonato de calcio-magnesio $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$. Mayormente insoluble en agua, pero su solubilidad se incrementa en condiciones ácidas (contiene entre 2 a 13% de magnesio). Es una fuente de reacción lenta en el suelo comparado con otras fuentes cálcicas, pero tiene una ventaja de contener Mg^{2+} , que es un elemento muy deficiente en suelos ácidos. El contenido determina su calidad de la dolomita, impurezas de arcillas y material orgánico. (Espinoza J. , 1999).

D) Enmiendas orgánicas.

La materia orgánica puede adsorber fuertemente algunos metales incluidos el cadmio que pueden quedar en forma no disponible por las plantas, motivo por el cual algunas plantas crecen en suelos ricos en materia orgánica presentan carencia de elementos como el Cd^{2+} , Pb^{2+} y Zn^{2+} . La textura favorece la entrada e infiltración de la contaminación de metales pesados en el suelo, por ejemplo, la arcilla tiende a adsorber a los metales pesados, que quedan retenidos en sus posiciones de cambio por el contrario los suelos arenosos carecen de capacidad de fijación de los metales pesados, los cuales pasan rápidamente al subsuelo y pueden contaminar los niveles freáticos (Cabrera Capitán, 2007). Los abonos orgánicos tienen tres tipos de propiedades, estas son:

Propiedades físicas: Mejora la estructura, la permeabilidad del suelo, ya que influye en el drenaje y aireación, disminuyen la erosión, aumentan la retención de agua.

Propiedades químicas: Las enmiendas orgánicas mejoran la disponibilidad de los macro y micronutrientes del suelo, aumentan la capacidad de intercambio catiónico y otras propiedades positivas.

Propiedades biológicas: Los abonos orgánicos favorecen la aireación y oxigenación del suelo, por lo que hay mayor actividad radicular y mayor actividad de los microorganismos. Los abonos orgánicos constituyen una fuente de energía para los microorganismos por lo que se multiplican rápidamente, limitan el desarrollo de microorganismos patógenos pueden proporcionar actividad enzimática (Cabrera Capitán, 2007).

El papel principal de las enmiendas mencionadas, es la materia orgánica que poseen; el humus está asociado con el aumento de la población microbiana, reduciendo los patógenos y principalmente reducen el efecto tóxico de los metales pesados, además

permite la fácil absorción de moléculas químicas producto de la mineralización. La adsorción de metales pesados es otro beneficio positivo de la materia orgánica, permitiendo que los metales pesados queden adsorbidos en el complejo arcillo húmico reduciendo su absorción por las plantas (Cabrera Capitán, 2007).

Existen diferentes tipos de enmiendas, entre los más comunes podemos encontrar:

Gallinaza:

Es un compuesto orgánico, principalmente viene acompañado con cascarilla de arroz, que ayuda a absorber la humedad. La calidad, depende mucho de la alimentación de las aves, tipo de alimento, edad y sobre todo el proceso de fermentación. Su composición física y química es: pH 9, K₂O: 1.9%, carbono orgánico: 19.8 %, materia orgánica: 34.1 %, nitrógeno 3.2 %, relación C/N: 3.2, P₂O₅: 7.39%. Es un material con alto contenido de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre y algunos micronutrientes. Su aplicación al suelo aumenta la materia orgánica, fertilidad y calidad del suelo (Hirzel Campos & Salazar Sperberg, 2011)

Guano de Isla:

Es un fertilizante natural completo, contiene macronutrientes como el Nitrógeno, Fósforo y Potasio en cantidades de 10-14, 10-12, 2 a 3 % respectivamente. Elementos secundarios como el Calcio, Magnesio y Azufre, con un contenido promedio de 8, 0.5 y 1.5 % respectivamente. También contiene microelementos como el hierro, zinc, cobre, manganeso, boro y molibdeno en cantidades de 20 a 320 ppm (partes por millón). (Hirzel Campos & Salazar Sperberg, 2011)

Compost:

Se obtiene por descomposición de residuos orgánicos que son transformados en humus, tiene un alto contenido de nutrientes (dependiendo del proceso de fermentación). Su CIC suele estar entre 50-100 meq/100 g, el contenido de materia orgánica entre 40-60 %, y una relación C/N de 10-20 (Mejía F. & Palencia C., 2011). El contenido nutricional depende del tipo de componente; el uso de restos de cosecha (mazorcas de cacao), permiten elaborar los abonos orgánicos de manera sostenible; debido a su bajo contenido nutricional es recomendable mezclar con otros subproductos.

1.2.9. Valores referenciales en productos alimenticios de Cacao.

Los límites máximos del contenido de cadmio en productos alimenticios están regulados en la Unión Europea por el Reglamento (UE) N° 488/2014 de la Comisión de 12 de mayo de 2014 que modifica el Reglamento (CE) N° 1881/2006 por lo que respecta al contenido máximo de cadmio en los productos alimenticios. Se establecen nuevos límites máximos para chocolate y productos de cacao (aplicable a partir de 2019), (ELIKA, 2004).

Tabla 1

Contenidos máximos de Cd en productos alimenticios (U.E, 2014)

Productos alimenticios	Contenidos máximos (mg/kg)
Chocolate con leche con contenido de materia seca total de cacao < 30%	0.10 a partir del 1/1/2019
Chocolate con un contenido de materia seca total de Cacao < 50%; chocolate con leche con un contenido de materia seca total de cacao > o igual a 30%	0.30 a partir del 1/1/2019
Chocolate con un contenido de materia seca total de cacao > o igual 50%	0.80 a partir del 1/1/2019
Cacao en polvo vendido al consumidor final o como ingrediente en cacao en polvo edulcorado vendido al consumidor final (chocolate para beber)	0.60 a partir del 1/1/2019

1.2.10. Efectos de cadmio en la salud humana.

Los síntomas comunes de intoxicación por cadmio son: Náuseas, vómitos, dolores abdominales y cefalea, estos efectos se presentan en dosis mayores a 15 ppm, ingeridos a través del agua y alimentos contaminados. La intoxicación aguda por cadmio puede causar la muerte (Pérez García & Azcona Cruz, 2012). Incluso una exposición crónica con una dosis relativamente baja, puede causar alteraciones digestivas y pérdidas de peso. Con mucha frecuencia se aprecian efectos pulmonares, en particular cáncer al pulmón, debido a la inhalación del humo del tabaco, causando la muerte por insuficiencia respiratoria (Pérez García & Azcona Cruz, 2012). La cantidad promedio de cadmio ingerido en los países europeos y norteamericanos es de 10-20 µg/día. La ingesta de Cd a través de los alimentos solía ser más alta en Japón que en Europa, pero ha disminuido y actualmente es similar a los niveles informados en los países europeos con altas ingestas (Nordberg, Nogawa, & Nordberg, 2015).

1.2.11. Antecedentes de Investigación.

(Ruiz, 2011), realizó un estudio en el Centro Agropecuario Marengo (Mosquera, Cundinamarca-Colombia), su objetivo fue evaluar tratamientos para disminuir la acumulación de cadmio en lechuga. Utilizó CaCO_3 y compost, el contenido de cadmio en suelos fue $3,97 \text{ mg kg}^{-1}$; el tratamiento con compost disminuyó significativamente la concentración de cadmio en lechuga ($0,26 \text{ mg kg}^{-1}$) con respecto a los otros tratamientos, aumentando significativamente el peso fresco de las lechugas.

(Huaynates Natividad, 2013), realizó un estudio en la región Huánuco, donde se aplicó dos fuentes orgánicas (guano de isla y compost) en tres dosis de 0.5, 1 y 1.5 kg, en el cultivo de cacao, con el objetivo de reducir el contenido de cadmio en el suelo. Los resultados demostraron que los tratamientos (125g compost más 375g de Guano de isla por planta), (250 de compost más 250g de guano de isla. por planta) y (500g de compost más 500g de guano de isla por planta), reducen la concentración de cadmio de 3.5 a 0.3 ppm.

(Al Mamun, y otros, 2016), realizaron un experimento con espinaca (*Spinacia oleracea L.*), lechuga (*Lactuca sativa L.*) y cebolla (*Allium cepa L.*) en Nueva Zelanda, con el objetivo de reducir la absorción de cadmio. Las fuentes aplicadas fueron lignito y compost municipal; utilizaron dos suelos con Cd^{2+} de $1,45 \text{ mg/kg}$ y $0,47 \text{ mg/kg}$. La adición de compost municipal al 2,5%, redujo la concentración de Cd^{2+} en cebollas, espinacas y lechuga hasta en un 60% en ambos suelos.

(Ahmad, Akhtar, Zahir, & Mitter, 2015), realizaron un experimento con dos cereales (trigo y maíz), utilizaron dos enmiendas orgánicas (compost y lodo de biogás) en Pakistán, con el objetivo de estabilizar, extraer y aliviar los efectos adversos en el crecimiento de los cereales afectados por cadmio. Prepararon enmiendas orgánicas junto con cuatro niveles de Cd^{2+} (0, 5, 20, 50 mg kg^{-1} suelo) con tierra. El compost redujo significativamente la absorción de Cd^{2+} en trigo y maíz, también aumentaron la biomasa seca; sin embargo, aumentó la translocación de Cd^{2+} en las plantas.

(Chandra Shaha, Kashem, & Towhid Osman, 2012), mencionan que realizaron un experimento para investigar el efecto de la cal y el estiércol de corral sobre la concentración de cadmio en las espinacas con agua. Se cultivó en suelos contaminados con 5 mg Cd Kg^{-1} con cal (L) y abono de corral (M). Los tratamientos consistieron en:

Control, cuatro niveles de L (5, 10, 15 y 20 t ha⁻¹), M (5, 10, 15 y 20 t ha⁻¹) y sus combinaciones (5 + 5, 10 + 10, 15 + 15 y 20 + 20 t ha⁻¹). La adición de cal al suelo disminuyó la concentración de Cd tanto en el tallo como en la raíz de la espinaca con agua. La concentración de cadmio disminuyó en 72, 15 y 66% sobre el control en brotes y 82.28 y 76% en las raíces correspondientemente con la tasa más alta de cal (20 t ha⁻¹), estiércol (20 t ha⁻¹) y combinaciones de cal y estiércol (20 t ha⁻¹ + 20 t ha⁻¹).

(Chupillon Cubas, 2017), menciona que en plántones de cacao, con los genotipos que los IMC-67 y POUND-12, han tenido baja capacidad de absorción de metales pesados, seguido del Cacao común.

CAPÍTULO II

MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Tipo y nivel de investigación

2.1.1. Tipo de investigación.

El tipo de investigación del proyecto, es de tipo aplicada, ya que busca solucionar el problema principal del contaminante cadmio y evaluar el efecto de la aplicación de las enmiendas cálcicas y orgánicas en plántones de cacao.

2.1.2. Nivel de investigación.

El nivel de investigación del proyecto, es de tipo explicativa, ya que describe las posibles soluciones del problema principal, a través de los diseños experimentales que consistieron en la aplicación de enmiendas cálcicas y orgánicas en la absorción de cadmio en los plántones de cacao.

2.2. Diseño de investigación.

El diseño aplicado fue Parcelas Divididas. Siendo las Parcelas principales las enmiendas cálcicas (Dolomita e Hidróxido de Calcio), el contaminante Cadmio fue la sub parcela (Con Cadmio y Sin Cadmio), finalmente las enmiendas orgánicas (Guano de Isla, Gallinaza, Compost) fueron las siguientes subparcelas; con 5 repeticiones por tratamiento. El esquema del diseño experimental es presentado en la Tabla 2.

a) Tratamientos en estudio:

Parcelas Principales (Enmiendas cálcicas)

Parcela A: Dolomita

Parcela B: Hidróxido de Calcio

Sub Parcelas I: Contaminante

- CC: Con Cadmio
- SC: Sin Cadmio

Sub parcela II: Enmiendas Orgánicas

- T1: Gallinaza
- T2: Guano de Isla
- T3: Compost (cáscara de cacao).

Tabla 2

Tratamientos en estudio

N°	Código	Descripción
1	A x CC	Testigo 1(Dolomita + Cadmio)
2	A x CC x T1	Dolomita + cadmio + gallinaza
3	A x CC x T2	Dolomita + cadmio + guano de isla
4	A x CC x T3	Dolomita + cadmio + compost
5	A x SC	Testigo 2 (Dolomita sin cadmio)
6	A x SC x T1	Dolomita + gallinaza
7	A x SC x T2	Dolomita + guano de isla
8	A x SC x T3	Dolomita + compost
9	B x CC	Testigo 3 (H. de calcio + cadmio)
10	B x CC x T1	H. de calcio + cadmio + gallinaza
11	B x CC x T2	H. de calcio + cadmio + guano de isla
12	B x CC x T3	H. de calcio + cadmio + compost
13	B x SC	Testigo 4 (H. de calcio sin cadmio)
14	B x SC x T1	H. de calcio + gallinaza
15	B x SC x T2	H. de calcio + guano de isla
16	B x SC x T3	H. de calcio + compost

El análisis estadístico.

Los resultados fueron analizados por ANOVA; para la comparación de medias se aplicó el Test de Tukey a un nivel de significancia de 0.05 usando el software estadístico **R**, con la finalidad de determinar si existe diferencias significativas entre los valores de los resultados obtenidos.

2.2.1. Área de estudio

El presente trabajo de investigación, se llevó a cabo en el vivero de la estación experimental Juan Bernito - Instituto de Cultivos Tropicales (I.C.T), aproximadamente a 2.5 Km del distrito de la banda de Shilcayo, donde se consideró 4 camas almacigueras de 5 m por 1 m de ancho, estas últimas fueron las subparcelas del experimento.

Ubicación política y geográfica

a) Ubicación política

Región	: San Martín
Provincia	: San Martín
Distrito	: Banda de Shilcayo
Sector	: Laguna Venecia

b) Ubicación geográfica

Longitud Oeste	: 76° 00' 18"
Latitud Sur	: 06° 30' 28"
Altitud	: 333 m.s.n.m.

2.3. Población y muestra

Población: Plantones de Cacao (*Theobroma cacao L.*) del clon CCN-51, la selección de semillas fue de las estaciones experimentales Choclino y Juan Bernito - ICT, bajo las condiciones ambientales de la Zona, seleccionando aproximadamente 5 mazorcas.

Muestra: Fueron 80 plantones de cacao (*Theobroma cacao L.*) del clon CCN-51.

Conducción del experimento:

Obtención de las semillas.

Para obtener las semillas, se recolectaron mazorcas de cacao del clon CCN-51, de la estación experimental Juan Bernito y Choclino, del Instituto de Cultivos Tropicales (I.C.T). Después de seleccionar las mejores mazorcas, se quebraron con un machete sin filo para no cortar las semillas, la selección de las mismas fue del tercio medio de la mazorca, finalizando con el retiro del mucílago con aserrín.

Desinfección de las semillas: Después de la separación del mucílago, se aplicó fungicida Homai, a una dosis de 1g kg⁻¹ de semilla.

Instalación de la cama pre germinadora: Las camas fueron compuestas de una capa gruesa de aserrín húmedo, luego se acondicionó las semillas (Ver, fig. 1), finalmente se tapó con hojas de plátano con una fina capa de aserrín seco para mantener una temperatura adecuada y facilitar la germinación, en un periodo de 5 días aproximadamente.

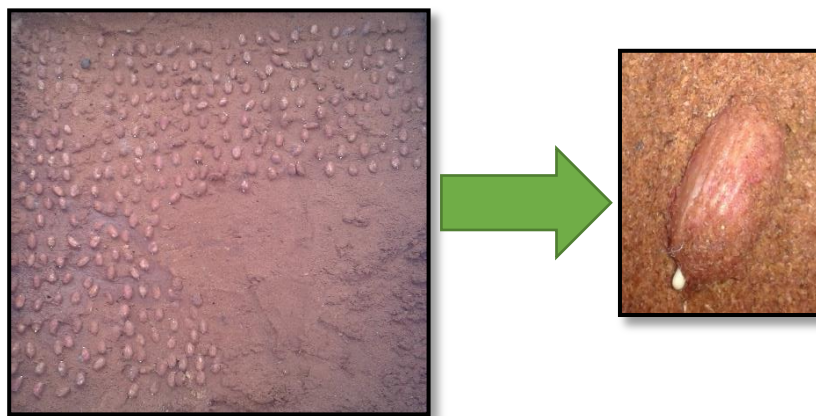


Figura 1. Cama pre germinadora y semilla de cacao con la radícula diferenciada.

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La recolección de datos, fue a través de fuentes primarias, que consistió en la observación y evaluación de los plántones de Cacao. La toma de datos fue en diferentes fases que se mencionan a continuación:

Fase de Vivero: Toma de datos de medidas biométricas de los 80 plántones de cacao.

Fase de Laboratorio: Se tomó datos del peso fresco y seco de la parte aérea y radicular de los plántones de cacao; con respecto al contenido de cadmio total de las diferentes partes vegetales (hojas, tallos y raíces), los datos fueron las lecturas de absorbancia mediante el espectrofotómetro de absorción atómica. Los datos secundarios (Fundamento teórico), se obtuvieron a través de artículos citados.

Parámetros biométricos evaluados (variables) fueron los siguientes:

Altura: Se tomó datos en situ, de los 80 plántones de cacao, que consistió en medir con una regla de 50 cm, desde la base del tallo hasta la última yema terminal.



Figura 2. Plantón de cacao, con las bases establecidas para tomar las medidas de altura.

Diámetro: Se tomaron datos de los 80 plantones de cacao, que consistió en medir con un vernier automático, aproximadamente a 5 cm desde la base del tallo.

Materia seca (Tallo-hojas-ramas y raíz): Para determinar la materia seca, se tomaron datos del peso fresco y seco de los 80 plantones de cacao utilizando una balanza electrónica.

Contenido de cadmio (parte aérea y radicular): Los datos se tomaron de las lecturas de absorbancia, que se obtuvieron del espectrofotómetro de absorción atómica VARIAN, después del proceso de digestión.

2.5. Materiales y métodos

2.5.1. Materiales.

Material vegetal

Semillas de cacao del clon CCN-51 (*Theobroma cacao L.*)

Equipos

- Estufa marca (*memmert*)
- Espectrofotómetro de absorción atómica (*VARIAN- 55B*)
- Espectrofotómetro de absorción molecular (*THERMO SCIENTIFIC* modelo SPECTRONIC 20 D+).
- Bloque Digestor

- Molino
- Balanza analítica
- Balanza gravimétrica
- Mufla

Reactivos

- Ácido Nítrico
- Ácido Sulfúrico
- Ácido Clorhídrico
- Sulfato Ferroso
- Bicarbonato de Sodio
- Trióxido de Lantano
- Cloruro de Potasio
- Hidróxido de Sodio
- Super floc
- E.D.T.A
- Cloruro de cadmio (CdCl_2)
- Acido Perclórico

Insumos: Abonos Orgánicos

- Gallinaza
- Compost
- Guano de Isla

Insumos: Material encalante

- Dolomita
- Hidróxido de calcio

Materiales de laboratorio

- Guantes
- Matraces
- Fiolas (50, 500 ml)
- Picetas
- Pipetas

- Tubos de ensayo
- Gradillas
- Vaso de precipitación
- Tubos falcon
- Jarra de plástico (600 ml)
- Embudo

Materiales de gabinete

- Ficha de evaluación
- Lápiz
- Cámara fotográfica

Materiales de Campo

- Regla de aluminio de 50 cm
- Vernier automático
- Balanza electrónica
- Maceteros (baldes).

2.5.2. Métodos

Consistieron en la aplicación de fuentes encalantes (dolomita e hidróxido de calcio), enmiendas orgánicas (guano de isla, gallinaza, compost) y el contaminante cadmio al sustrato para finalmente realizar la siembra.

Fase de vivero

Preparación del sustrato para el experimento

Para la preparación del sustrato se utilizaron tierra agrícola y arena a una proporción de 3:1. Después de la mezcla, se sacó una pequeña muestra para el análisis físico y químico, finalmente se llenó 80 macetas con aproximadamente 5 kg cada uno y se ordenaron en las camas almacigueras.



Figura 3. A. Muestra del sustrato, para el análisis. B. Macetas ordenadas en el vivero.

Para el análisis del sustrato, se utilizaron las metodologías de análisis descritas por (Anderson & Ingram, 1993) y (EMBRAPA., 2011). Los resultados del sustrato son presentados en la Tabla 3 (Anexos).

Preparación del contaminante.

La preparación del contaminante fue con cloruro de cadmio (CdCl_2), de estructura cristalina, la solución fue preparada a una concentración de 5000 ppm y se pesó 10.20 g kg^{-1} de cloruro de cadmio, finalmente se diluyó con agua destilada en una fiola de 2 L.



Figura 4. Solución concentrada de cadmio a 5000 ppm

Mezcla del sustrato con Cadmio.

El sustrato fue dispuesto en bandejas de plástico, con el fin de lograr una mezcla homogénea del metal pesado con el sustrato, se agregó una solución de 500 ml diluido a partir de la solución concentrada, con el objetivo de obtener una concentración en el suelo de 25 ppm de cadmio. Donde se extrajo 2.5 ml de la solución concentrada de 5000 ppm.



Figura 5. Aplicación de cadmio al sustrato

Aplicación de las Fuentes encalantes

La formulación para la aplicación de calcio fue a base de $6 \text{ cmol (+) kg}^{-1}$. Para la dosificación se tomó los datos del análisis del sustrato, necesitando solo $2.90 \text{ cmol (+) kg}^{-1}$ de calcio. Para el caso de la enmienda cálcica dolomita se aplicó 15 g por balde, para hidróxido de calcio se aplicó 8 g por balde. Finalmente, el sustrato ya mezclado con las enmiendas cálcicas, paso a un periodo de estabilización y encubación por 15 días, manteniendo la mezcla a capacidad de campo.



Figura 6. Aplicación de dolomita e hidróxido de calcio.

Aplicación de enmiendas orgánicas

Se utilizaron tres compuestos orgánicos: Guano de isla (T1), gallinaza (T2) y compost (T3), las enmiendas se mezclaron con el sustrato según los tratamientos indicados, dejando reposar por una semana con un riego constante. Para la dosis se tomó en cuenta los datos químicos del sustrato y las enmiendas orgánicas.



Figura 7. Aplicación de compost al sustrato

La formulación para la aplicación de enmiendas orgánicas para plantones de cacao en condiciones controladas fue: **360 ppm Nitrógeno - 400 ppm Fósforo -150 ppm Potasio – 6 cmol (+) kg⁻¹ de Calcio.**

Aplicación:

122 gramos de gallinaza por planta

47.8 gramos de guano de isla por planta

634 gramos de compost de cáscara de cacao por planta.

La dosificación fue a base del fósforo (P)

Análisis de las enmiendas orgánicas y cálcicas.

Se analizaron todos los compuestos orgánicos y cálcicos, determinando macronutrientes como: N, P, K y Cd²⁺. Para el proceso de digestión de las enmiendas orgánicas y cálcicas, se utilizaron 8 ml de la relación Ácido nítrico: Ácido Clorhídrico (3:1). Para el caso del Nitrógeno, la digestión fue con Ácido Sulfúrico, utilizando el método de Kjeldhal. Para la lectura del P, se utilizó el espectrofotómetro de absorción molecular y las lecturas de Cd²⁺ fue con el espectrofotómetro de absorción atómica (EAA-VARIAN).

Tabla 4*Análisis químico de las enmiendas cálcicas y orgánicas*

Enmiendas orgánicas	M.O (%)	N (%)	P₂O₅ (%)	K₂O (%)	Cd (ppm)
Gallinaza	41.11	3	3.96	3.328	< 10
Guano de isla	9.80	10.14	10.12	2.3	< 10
Compost	30.34	0.7	0.76	0.992	< 10
Enmiendas cálcicas			Cantidad (%)		
Dolomita		29 CaCO ₃		20.71 Mg	< 10
Hidróxido de calcio		55 Ca (OH)		-	< 10

Nota: Laboratorio de fertilizantes ICT, 2017.

Siembra de las semillas de cacao clon CCN-51

La siembra se realizaron, en baldes de aproximadamente 5 kg cada uno y se tomaron aquellas semillas que tenían la radícula diferenciada. Las evaluaciones comenzaron a los 30 días después de la siembra cuando los plantones presentaban hojas maduras y fueron realizadas cada 15 días, durante tres meses.



Figura 8. Siembra de las semillas de cacao



Figura 9. Evaluaciones biométricas de los plantones de cacao

Fase de Laboratorio

Análisis de tejido foliar

Después de tres meses de evaluación en la fase de vivero, se sacrificaron todos los plantones de cacao, separando la parte aérea y radicular; luego fueron desinfectadas en una solución de HCl al 0,5% por 30 seg, finalmente las partes vegetales se colocaron en sobres de manila para ser secadas en la estufa a 60°C. Después de una semana de secado, se pesaron la parte aérea y radicular para calcular la materia seca; después se trituraron en un molino y pasadas por un tamiz de 20 mm, finalmente fueron almacenadas para su posterior análisis.

Después de triturar todas las partes vegetales, se pesaron en un tubo digestor 0.40 a 0.50 g, se adicionó 8 ml de ácido nítrico y se llevaron al bloque digestor por un periodo de 10 horas aproximadamente a 130 °C; después del proceso de digestión, cada muestra fue diluida en una fiola de 50 ml con agua destilada. El metal pesado (Cd^{2+}) fue analizado en el espectrofotómetro de absorción atómica (EAA) Varían



Figura 10. Preparación de las plantas de cacao para el sacrificio

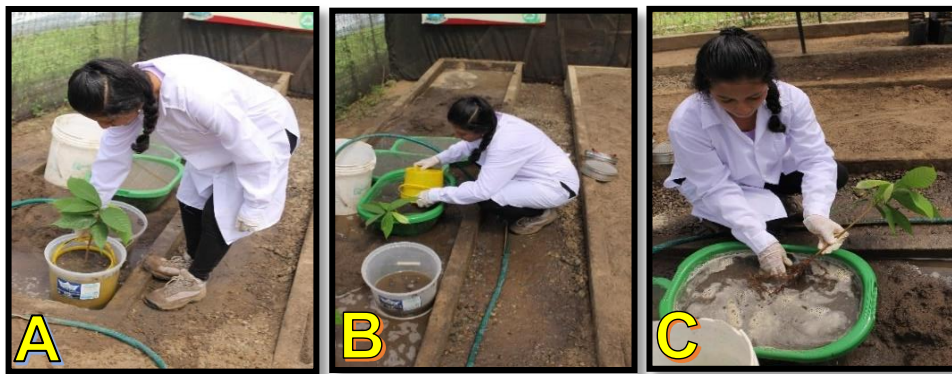


Figura 11. Proceso de sacrificio de los plantones



Figura 12. Separación de la parte aérea y radicular de los plantones de cacao



Figura 13. Plantones de cacao con diferentes tratamientos T3 (D) y T11(C).



Figura 15. Desinfección con la solución de ácido clorhídrico y agua destilada.



Figura 14. Peso fresco aéreo-radicular y secado de las muestras en la estufa a 60°.



Figura 16. Trituración de muestras secas (hojas, tallos y raíces).



Figura 17. Proceso de digestión de las muestras foliares y radiculares



Figura 18. Dilución con agua destilada de las muestras foliares y radiculares

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Altura de plántones de cacao

En la Tabla 5, se presenta el análisis de varianza aplicada a la variable altura de los plántones de cacao. El análisis de las parcelas, no se encontraron diferencias significativas.

El análisis de la sub parcela, muestra que la variable tratamiento (enmiendas orgánicas), fue altamente significativa y tuvieron efectos diferentes sobre el crecimiento de los plántones.

Por otra parte, la interacción parcela (enmiendas cálcicas) con cadmio fueron significativas estadísticamente, mostrando efectos diferentes entre hidróxido de calcio y dolomita sobre la variable altura. Las demás interacciones no tuvieron diferencias estadísticamente significativas.

Tabla 5

ANVA de altura de los plántones de cacao

Fuente de variabilidad	G. L	Suma	Media	F. valor	Pr (> F)	
Análisis de Parcelas						
Repetición	4	7.056	7.056			
Enmiendas cálcicas	1	0.03	0.03	0.01	0.9218	N. S
Error (Enmiendas cálcicas)	4	10.56	10.56			
Análisis de Subparcelas						
Tratamientos (Enmiendas orgánicas) b)	3	106.39	35.46	10.511	1.98E-05	**
Error (Trat)	24	260.22	86.74			
Tratamiento x Enmiendas cálcicas	3	26.53	8.84	2.621	0.0614	N.S
Error (Cadmio)	1	341.3	341.3			
Enmiendas cálcicas x Cadmio	1	13.97	13.97	4.141	0.0474	*
Cadmio x tratamiento (a x b)	3	26.53	8.84	2.621	0.0614	N.S
E. cálcicas x Tratamiento x Cadmio	3	22.17	7.39	2.19	0.1013	N.S
Error (residual)	32	161.94	3.37			
Total	79					

Nota: Significancia (**) al 5% con el test F. N.S: No significativa

Los resultados de la variable altura con aplicación de enmiendas cálcicas, enmiendas orgánicas y cadmio en plántones de cacao, son presentados en la Tabla 6 y Figura 18.

Se observa que el tratamiento guano de isla destacó con una media de 29.96 cm de altura, seguida del tratamiento gallinaza con 29.34 cm. Estos se diferencian significativamente del testigo (sin enmienda orgánica) y compost, con alturas menores de 25.62 cm y 24.80 cm, respectivamente. Al adicionar enmiendas orgánicas al sustrato, aumentaron la disponibilidad de los macronutrientes principales, como nitrógeno, fósforo y potasio; debido a su composición química (Ver tabla 21). La aplicación de Guano de Isla al sustrato aumentó la disponibilidad de los elementos esenciales, especialmente nitrógeno de 0.06% a 0.29% con guano de isla siendo aprovechados por los plántones de cacao. En la etapa inicial (vivero), los plántones de cacao requieren mucho nitrógeno, siendo un elemento indispensable y vital para el crecimiento, formación de carbohidratos, proteínas, clorofila y fotosíntesis (Potash, 1997)

El crecimiento no sólo depende de la disponibilidad de los elementos químicos presentes en el suelo, si no también de los factores ambientales como luz, temperatura y humedad relativa (De Almeida & Valle, 2008)

(Cuví Ramírez, Rodríguez Guerra, Carrera, Asanza, & Soria Rea, 2012), aplicaron compost y estiercol en plántones de cacao, obteniendo alturas de 34 a 35 cm en un periodo de 120 dds. Estos promedios de alturas superan a lo obtenido; en nuestro caso con la aplicación de guano de isla se llegó a una altura máxima de 29.96 cm. Estas diferencias, dependen del tipo de cultivo, enmiendas orgánicas, propiedades físicas, químicas de suelo y vegetal.

Tabla 6

Tukey aplicado a la variable altura, con aplicación de enmiendas orgánicas.

Tratamientos	Media (cm)	Significancia
Guano de isla	29.96	a
Gallinaza	29.11	a
Compost	25.62	b
Control	24.80	c

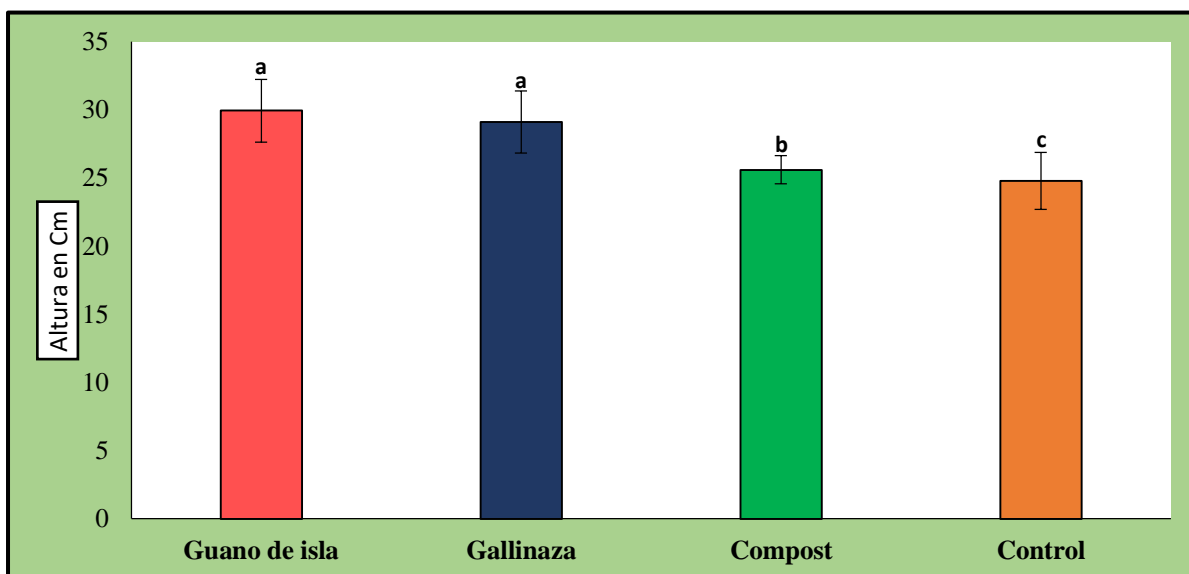


Figura 19. Altura de plantones de cacao evaluadas hasta los 120 dds con aplicación de enmiendas orgánicas.

En la Tabla 7 y Figura 19, se presenta la comparación de medias de la variable altura en plantones de cacao con aplicación de enmiendas cálcicas (dolomita e hidróxido de calcio). Se observa que la enmienda cálcica dolomita, destaca con una media de 29.96 cm, seguida de hidróxido de calcio con una media de 29.15 cm, estos se diferencian significativamente de los tratamientos que se contaminó con cadmio, mostrando alturas inferiores de 26.11 cm y 24.02 cm.

En el gráfico 19, referente a la variable altura, la enmienda cálcica dolomita, supera a Hidróxido de Calcio con 0.85 cm de diferencia. La función específica de las enmiendas cálcicas es neutralizar la acidez, causadas por iones de aluminio, fierro, manganeso e hidrógeno. El efecto de dolomita $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ aplicado al sustrato, consistió en el reemplazar el cadmio que se encuentra adherido al coloide por iones de calcio o magnesio, de esta manera el cadmio se hidroliza y se precipita. Estas reacciones dependen de las propiedades físicas de las enmiendas cálcicas y de la humedad del suelo (Demanet Filippi, 2017).

El cadmio interfiere en la entrada, transporte y función de elementos esenciales (N-NO_3 , Ca^{2+} , Mg^{2+} , P y K^{1+}) y del agua, provocando desequilibrios nutricionales e hídricos (Singh y Tewari, 2003). El cadmio inhibe específicamente la actividad del nitrato reductasa en tallos (Gouia, Ghorbal, & Meyer, 2000). El efecto beneficio de la dolomita es

que esta compuesta de óxidos de calcio y magnesio, provocando una sinergia de los iones presentes en el suelo.

(Juarez Contreras, 2015), menciona que aplicó dolomita mas enmienda organica guano de isla, obteniendo alturas maximas de 77 cm en el cultivo *Setaria sphacelata* (especie forrajera).

En las Figuras 18 y 19, se observa que las enmiendas orgánicas (gallinaza, guano de isla, compost) y calcicas, se obtuvieron similar respuesta y no se encontraron diferencias significativas

Tabla 7

Tukey aplicado a la variable altura, con enmiendas cálcicas y cadmio.

Tratamientos	Media	Significancia
Dolomita sin cadmio	29.96	a
Hidróxido de calcio sin cadmio	29.15	a
Dolomita con cadmio	26.11	b
Hidróxido de calcio con cadmio	24.02	c

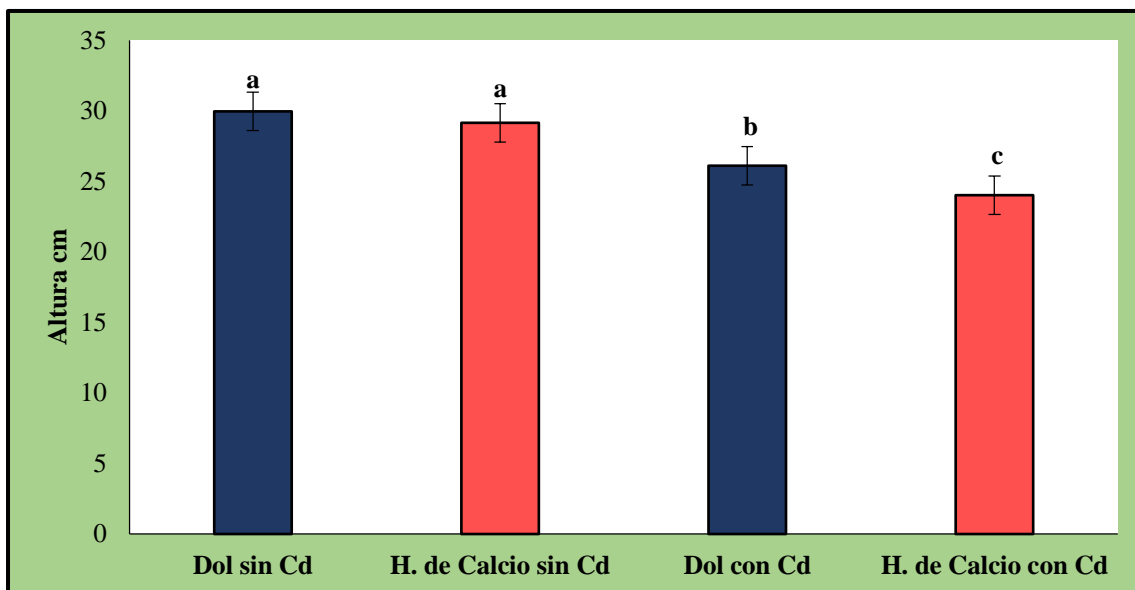


Figura 20. Altura de los plantones de cacao con la aplicación de enmiendas calcicas y cadmio.

3.2. Diámetro de tallos de los plantones de cacao

En la Tabla 8, se presenta el análisis de varianza para el diámetro de tallos en plantones de cacao. Se observa que el análisis de las parcelas no fueron significativas. El análisis de la sub parcelas, se observa que la variable tratamiento (enmiendas orgánicas), existe diferencias estadísticas significativas. Las enmiendas orgánicas (gallinaza, guano de isla y compost), mostraron efectos diferentes en el diámetro de tallos de los plantones de cacao.

La interacción de enmiendas orgánicas más enmiendas cálcicas, fueron altamente significativas estadísticamente, mostrando efectos diferentes entre gallinaza, guano de isla, compost, dolomita e hidróxido de calcio. A su vez, la interacción de tratamientos (enmiendas orgánicas) más cadmio, fueron altamente significativas, existiendo diferentes entre gallinaza, guano de isla, compost y cadmio sobre la variable estudiada. Las demás interacciones no fueron estadísticamente significativas.

Tabla 8*ANVA para diámetros de tallos de los plántones de cacao*

Fuente de variabilidad	G. L	Suma	Media	F. valor	Pr (> F)	
Análisis de Parcelas						
Repetición	4	0.0459	0.0459			
Enmiendas cálcicas	1	0.289	0.2889	3.041	0.08759	NS
Error (Parcela)	4	0.5611	0.5611			
Análisis de Subparcelas						
Tratamiento (enmiendas orgánicas)	3	1.159	0.3863	4.066	1.19E-02	*
Error (Trat.)	24	3.89	1.2968			
E. Orgánicas x Enmiendas cálcicas	3	1.714	0.5714	6.014	0.00146	**
Error (Cadmio)	1	0.137	0.137			
Enmiendas cálcicas x Cadmio	1	0.002	0.0025	0.026	0.87228	NS
Enmiendas orgánicas x Cadmio	3	1.425	0.475	5	0.00425	**
E. cálcicas x E. orgánicas x cadmio	3	0.409	0.1364	1.436	0.24395	NS
Error (residual)	32	4.56	0.095			
Total	79					

Nota: Significancia (**) al 5% con el test F. N.S: No Significativa

Los resultados de los diámetros de tallos con aplicación de enmiendas orgánicas y cadmio en plántones de cacao, son presentados en la Tabla 9 y Figura 20. Se encontraron diferencias estadísticas significativas sobre la variable estudiada.

A su vez, en la Tabla 9, se observa que el tratamiento guano de isla sin cadmio, destaca con una media de 6.65 mm, superando a los tratamientos que fueron contaminados con cadmio, diferenciándose significativamente del tratamiento control (sin enmienda orgánica), habiendo alcanzado una media de 5.69 mm respectivamente.

Debido al incremento de los macronutrientes principalmente del nitrógeno, aumentando su contenido y disponibilidad en el sustrato con la aplicación de enmiendas orgánicas, este elemento es imprescindible en el crecimiento y desarrollo de tallos, la adición de guano de isla aumentó el contenido de macronutrientes en el sustrato (Ver, Tabla 21).

Las enmiendas orgánicas, al descomponerse a través de diferentes factores (biológicos, ambientales y antropogénicos) aportan nutrientes dando vida al suelo, además aumentan la población de microorganismos benéficos, como hongos endomicorrízicos arbusculares y bacterias; esta población microbiana mejora las características físicas,

químicas del suelo, como aireación, estructura y CIC, factores que darán como resultado la disponibilidad, proporcionando la mayor parte de los elementos esenciales y aprovechamiento (Jaramillo, Escobar, & Romero, 2016). Las enmiendas orgánicas, minimizan el efecto tóxico del contaminante, por la formación de compuestos orgánicos (fitoquelatinas, metalotioneínas), a través del proceso de humificación y ácidos orgánicos.

En especies forrajeras (*Setaria sphacelata* - graminia originaria de África Tropical), encontraron que aplicando dolomita y guano de isla, el diámetro de tallos llegó a los 1220 mm, en un periodo de 90 días (Juarez Contreras, 2015). Estos promedios de diámetros de tallos superan a lo obtenido, en nuestro caso con guano de isla se obtuvieron valores máximos de 6.69 mm.

Tabla 9

Tukey aplicado a diámetro de tallos, con enmiendas orgánicas.

Tratamientos	Media (mm)	Significancia
G. de isla sin cadmio	6.65	a
Gallinaza sin cadmio	6.20	ab
Compost sin cadmio	6.07	abc
Control sin cadmio	5.98	bc
Guano de isla + cadmio	5.91	bc
Gallinaza + cadmio	5.72	bc
Compost + cadmio	5.69	bc
Control + cadmio	5.49	bc

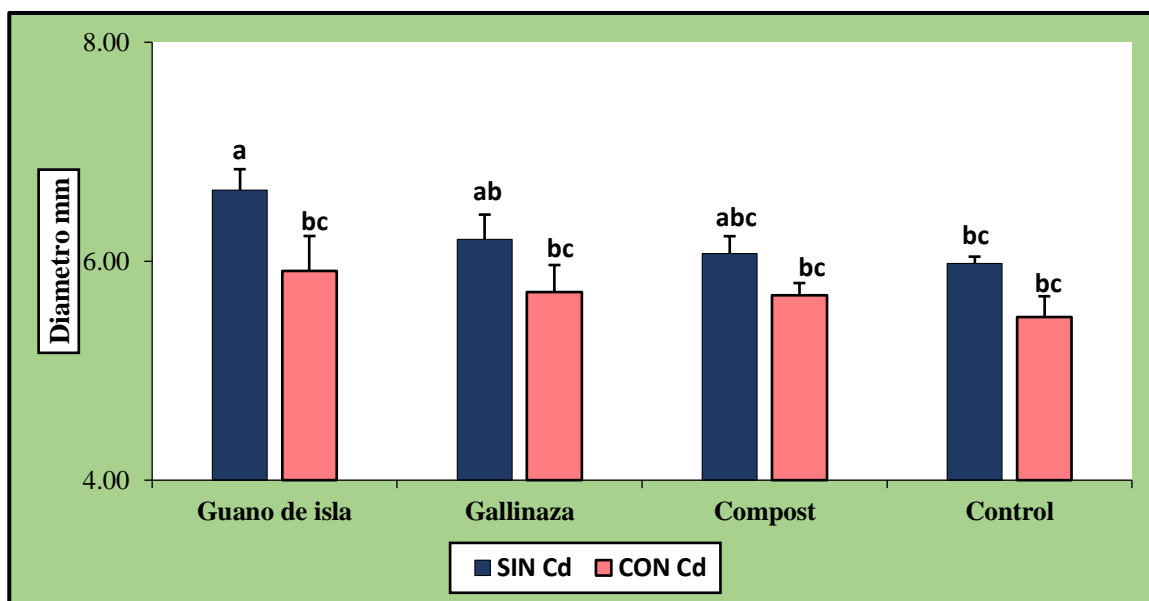


Figura 21. Diámetros de tallos de los plántones de cacao E. orgánicas y cadmio

Los resultados de los diámetros de tallos, con aplicación de enmiendas cálcicas, orgánicas en plántones de cacao, son presentados en la Tabla 10 y Figura 21.

En la Figura 21, se observa que la enmienda cálcica Dolomita fue superior a Hidróxido de calcio con un 7%, mostrando diferencias significativas, debido a su composición química (Ver, Tabla 3). Respecto a las enmiendas orgánicas, el tratamiento guano de isla, destaca con una media de 6.69 mm siendo superior al tratamiento gallinaza con 6.27 mm, diferenciándose significativamente del testigo (Ver, Tabla 10). El desarrollo y crecimiento de los plántones de cacao, depende de la disponibilidad de los elementos en el sustrato (Ver, Tabla 21). Las enmiendas cálcicas, son fuentes carbonatadas de calcio y magnesio, el efecto en el suelo, es la disponibilidad de los cationes cambiabiles y además permite elevar el pH. (Demagnet Filippi, 2017).

En el cultivo de café se encontraron resultados favorables con la aplicación de guano de isla con una dosis creciente de nitrógeno, el diámetro de tallos alcanzó los 3 cm, en un periodo de 120 dds (Borjas, 2008). Según (Cuví Ramírez, Rodríguez Guerra, Carrera, Asanza, & Soria Rea, 2012), mencionan que al aplicar compost o estiércol en plántones de cacao, se obtienen diámetros de tallos de 8.72 mm, en un periodo de 120 dds.

Tabla 10

Tukey aplicado a diámetros de tallos, con enmiendas cálcicas y orgánicas.

Tratamientos	Media (mm)	Significancia
Dolomita + G. de isla	6.69	a
Hidróxido de calcio + G. de isla	6.27	ab
Dolomita + gallinaza	6.03	bc
Hidróxido de calcio + gallinaza	6.01	bc
Dolomita + compost	5.76	c
Dolomita	5.66	c
Hidróxido de calcio + Compost	5.65	c
Hidróxido de calcio	5.64	c

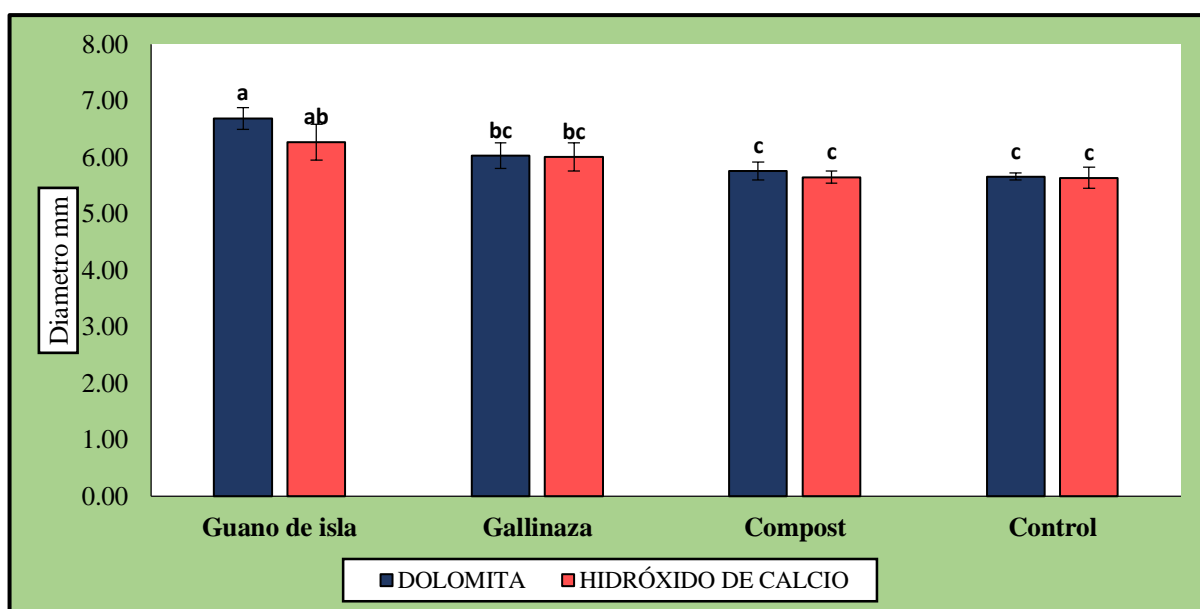


Figura 22. Diámetro de tallos de los plantones de cacao con E. orgánicas y enmiendas cálcicas

3.3. Materia seca (parte aérea) de los plantones de cacao.

En la Tabla 11, se presenta el análisis de varianza aplicada a materia seca parte aérea de los plantones de cacao. Se observa el análisis de la parcela (enmiendas cálcicas), encontrando diferencias estadísticas significativas. Las enmiendas cálcicas (dolomita e hidróxido de calcio), tuvieron efectos diferentes sobre la materia seca aérea.

El análisis de la Subparcela, indica que la variable tratamiento (enmiendas orgánicas), se encontraron diferencias estadísticas significativas. Las enmiendas orgánicas (gallinaza, guano de isla y compost), mostraron efectos diferentes sobre materia seca; por otra parte la interacción de enmiendas orgánicas más enmiendas cálcicas fueron altamente significativas estadísticamente, mostrando efectos diferentes entre gallinaza, guano de isla,

compost, dolomita e hidróxido de calcio sobre la variable estudiada. La interacción, de enmiendas orgánicas, enmiendas cálcicas más cadmio, fueron significativas estadísticamente, mostrando efectos diferentes entre gallinaza, guano de isla, dolomita e hidróxido de calcio sobre materia seca (parte aérea).

Tabla 11

ANVA de materia seca parte aérea de los plantones de cacao

Fuente de variabilidad	G.L	Suma	Media	F. valor	Pr (> F)	
Análisis de Parcelas						
Repetición	4	2.186	2.186			
Enmiendas cálcicas	1	7.76	7.76	5.501	0.023186	*
Error (Parcela)	4	44.01	44.01			
Análisis de Subparcelas						
Tratamiento (Enmienda Orgánica)	3	17.64	5.88	4.4166	0.010594	*
Error (Trat)	24	92.91	30.97			
E. Orgánica x E. cálcica	3	35.32	11.77	8.344	0.000144	**
Error (Cadmio)	1	1137.7	1137.7			
E. cálcica x Cadmio	1	22.3	22.3	15.797	0.000236	**
E. Orgánica x Cadmio	3	59.76	19.92	14.112	<0.00001	**
E. cálcica x E. orgánica x cadmio	3	12.62	4.21	2.98	0.040514	*
Error (residuos)	32	67.75	1.41			
Total	79					

Nota: Significancia (**) al 5% con el test F.

Los resultados de materia seca parte aérea, con aplicación de Hidróxido de calcio más enmiendas orgánicas y cadmio en plantones de cacao, son presentados en la Tabla 12 y Figura 22.

El análisis de las parcelas principales (Enmiendas cálcicas), se muestra que Dolomita fue diferente estadísticamente respecto a Hidróxido de calcio, debido a sus propiedades químicas como calcio y magnesio, estos iones reaccionan al contacto con el agua y el sustrato e interfieren en las propiedades física y químicas.

En la Figura 22, se observa que la enmienda orgánica guano de isla, destaca con una media de 15.94 g sin la aplicación de cadmio; seguida de gallinaza con 15.08 g; estos tratamientos se diferencian significativamente del tratamiento compost y control con 14.56 g y 11.08 g respectivamente. Sin embargo, al aplicar cadmio disminuyó significativamente el peso seco aéreo.

Las enmiendas orgánicas, tienen la capacidad de disminuir el efecto tóxico del metal por sus propiedades húmicas y ácidos orgánicos; este efecto aumenta la disponibilidad de los iones que se encuentran en la solución suelo y son absorbidos fácilmente por las plantas. Este efecto depende de las propiedades químicas (Ver, Tabla 21) y físicas de las enmiendas orgánicas, características del metal, características de resistencia y tolerancia de las plantas, propiedades físicas y químicas del suelo (Azpilicueta, Pena, & Callego, 2010).

Es por ello, que los tratamientos contaminados con cadmio, tienen una menor altura, pobre crecimiento de raíces y poca biomasa, debido al gasto de energía necesaria que utilizan para minimizar el efecto tóxico del metal (Llugany, Tolrà, Poschnrieder, & Barceló, 2007).

(Bautista-Zamora, Chavarro-Rodríguez, Cáceres-Zambrano, & Buitrago-Mora, 2017), mencionan que aplicando compuestos orgánicos como compost y lombricompost en el cultivo de frejol, obtuvieron un contenido de materia seca mayor de 20g en un periodo de 56 días.

(Juarez Contreras, 2015), menciona que, aplicando enmiendas cálcicas y guano de isla, obtuvo un contenido de materia seca de 15tn/ha, en el cultivo de (*Setaria sphacelata*), originaria de África Tropical).

Tabla 12

Tukey aplicado a M. seca aérea, con enmiendas orgánicas, cálcicas y cadmio.

Tratamientos	Media (g)	Significancia
Hidróxido de calcio + Guano de isla	15.94	a
Hidróxido de calcio + Gallinaza	15.08	b
Hidróxido de calcio + Compost	14.56	b
Hidróxido	11.08	c
Hidróxido de calcio + Guano de isla + cadmio	10.58	c
Hidróxido de calcio+ Gallinaza + cadmio	9.62	d
Hidróxido de calcio+ Compost + cadmio	8.36	e
Hidróxido de calcio + Cadmio	5.00	f

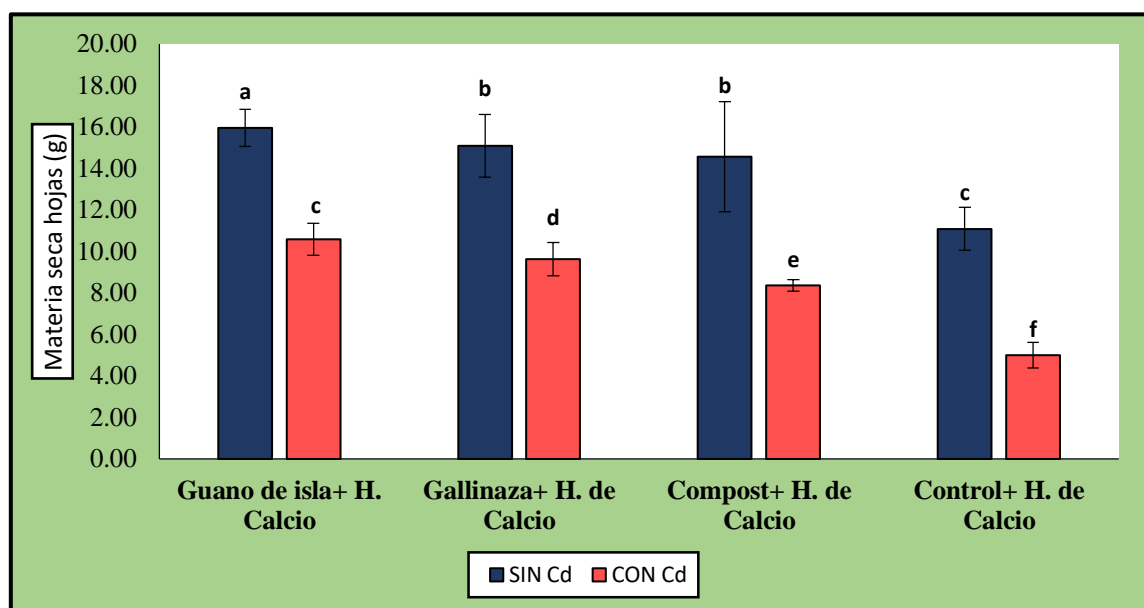


Figura 23. M. seca aérea de los plántones de cacao con la aplicación de E. orgánicas, dolomita y cadmio.

Los resultados de materia seca parte aérea, con aplicación de enmiendas orgánicas, Dolomita y cadmio en plántones de cacao, son presentados en la Tabla 13 y Figura 23.

El análisis de la parcela principal (Enmiendas cálcicas) son presentadas en la Tabla 13, se observa que la enmienda cálcica Dolomita fue superior a Hidróxido de calcio con un 38%, mostrando diferencias significativas, debido a su composición química de carbonatos de calcio y magnesio. Respecto a las subparcelas, el tratamiento Guano de Isla, es superior con una media de 25.76 g, seguida del tratamiento gallinaza con 17.78 g y compost con 16.36 g, diferenciándose significativamente del control con 13.14 g, los compuestos orgánicos contienen macro y micronutrientes esenciales para la planta, siendo guano de isla con un contenido alto tal como se refiere en la Tabla 4. El contaminante cadmio afectó el peso seco aéreo, por su efecto tóxico.

En algunos casos cadmio queda retenido en las raíces o es translocado a la parte aérea junto a otros elementos, hasta la fecha no se sabe si cumple alguna función específica dentro de la planta. (Fortis, y otros, 2009), mencionan que en el cultivo de maíz para forraje, con aplicación de abonos orgánicos se obtuvieron resultados de 28.58% de materia seca.

(Cuevas & Walter, 2004), mencionan que en el cultivo de maíz con aplicación de cal agrícola y abonos orgánicos se obtuvieron 37.53 g y 14.78 g de materia seca en la parte aérea; (Borjas, 2008), menciona que en el cultivo de Café con la aplicación de guano de isla se obtuvieron 3.15 g de materia seca por planta, en un periodo de 120 días.

Tabla 13

Tukey aplicado a M. seca aérea, con hidróxido de calcio, E. orgánicas y cadmio.

Tratamientos	Media (g)	Significancia
Dolomita + Guano de isla	25.76	a
Dolomita + Gallinaza	17.78	b
Dolomita + Compost	16.36	c
Dolomita	13.14	d
Dolomita + G. de isla + cadmio	9.52	e
Dolomita + Gallinaza + cadmio	8.90	f
Dolomita + Compost + cadmio	6.42	g
Dolomita + cadmio	5.20	h

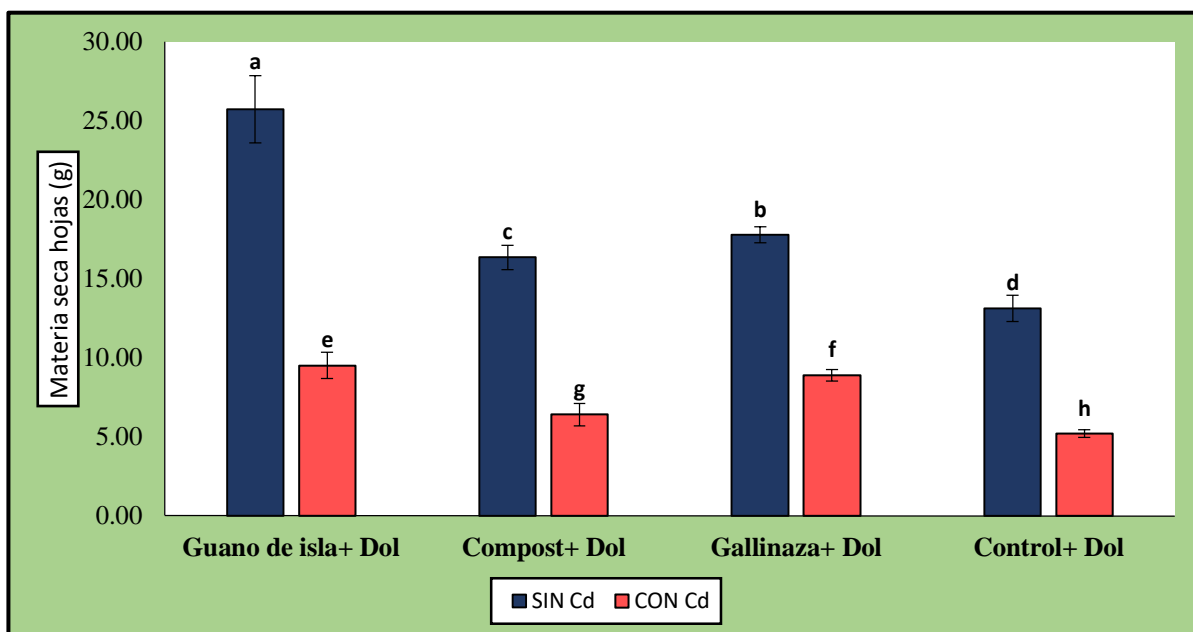


Figura 24. M. seca aérea, de los plántones de cacao con E. orgánicas, H. de calcio y cadmio.

3.4. Materia seca radicular de plántones de cacao.

En la Tabla 14, se presenta el análisis de varianza aplicada a materia seca radicular de los plántones de cacao. En el análisis de la parcela (enmiendas cálcicas), existen diferencias estadísticas altamente significativas.

El análisis de la subparcela, donde la variable tratamiento (enmiendas orgánicas), se encontraron diferencias altamente significativas. Las enmiendas orgánicas (gallinaza, guano de isla y compost), tuvieron efectos diferentes sobre la materia seca radicular de los plántones de cacao. Por otra parte, la interacción de enmiendas cálcicas más cadmio, fueron significativas estadísticamente, mostrando efectos diferentes entre dolomita e hidróxido de calcio sobre la materia seca. La interacción de enmiendas orgánicas más cadmio, fue altamente significativa estadísticamente. Las enmiendas orgánicas, mostraron efectos diferentes sobre la variable. La interacción, de enmiendas orgánicas y cálcicas sobre cadmio, fueron altamente significativas estadísticamente, mostrando efectos diferentes entre gallinaza, guano de isla, dolomita e hidróxido de calcio sobre la materia seca radicular.

Tabla 14*ANVA de Materia seca radicular de los plantones de cacao*

Fuente de variabilidad	G. L	Suma	Media	F. valor	Pr (> F)	
Análisis de Parcelas						
Repetición	4	2.28	2.28			
Enmiendas cálcicas	1	56.7	56.7	119.721	1.23E-14	**
Error (Parcela)	4	173.6	173.6			
Análisis de Subparcelas						
Tratamiento (E. orgánicas)	3	14.7	4.9	10.345	2.30E-05	**
Error (Trat)	24	18.01	6.004			
E. Orgánicas x E. cálcicas	3	1.05	0.35	0.737	0.53495	N.S
Error (Cadmio)	1	59.7	59.7			
E. cálcicas x Cadmio	1	3.09	3.09	6.516	0.01392	*
E. Orgánicas x Cadmio	3	13.26	4.42	9.335	5.70E-05	**
E. cálcicas x E. orgánicas x cadmio	3	13.39	4.46	9.425	5.25E-05	**
Error (residuos)	32	22.73	0.47			
Total	79					

Nota: Significancia (**) al 5% con el test F

Los resultados de materia seca parte radicular, con aplicación de hidróxido de calcio más enmiendas orgánicas y cadmio en plantones de cacao, son presentados en la Tabla 15 y Figura 24.

La interacción de Hidróxido de calcio más guano de isla destaca con una media de 8.70 g de materia seca radicular sin la aplicación de cadmio; seguida de gallinaza con 8.40 g y compost con 6.94 g, diferenciándose significativamente del control con 6.82 g respectivamente. Hidróxido de calcio, es muy reactiva en el suelo y violenta, de esta manera el pH del sustrato fue superior, siendo no muy óptimo para el desarrollo de los plantones, es por ello que el crecimiento fue limitado, afectando las raíces por lo tanto el peso seco fue bajo. El cadmio tiene un efecto negativo en la biomasa seca radicular, impidiendo la absorción de los elementos del suelo.

(Martínez Chávez, 2015), menciona que en el cultivo de pepino, con aplicación de enmiendas orgánicas como Bocashi, el peso seco radicular fue mayor a 0.3 g.

Tabla 15

Tukey aplicado a M. seca radicular, con H. de calcio, E. orgánicas y cadmio.

Tratamientos	Media (g)	Significancia
Hidróxido de calcio+ Guano de isla	8.70	a
Hidróxido de calcio + Gallinaza	8.40	b
Hidróxido de calcio + Compost	6.94	c
Hidróxido de calcio	6.82	c
Hidróxido de calcio + G. de isla + cadmio	6.48	c
Hidróxido de calcio + Gallinaza + cadmio	5.84	d
Hidróxido de calcio + Compost + cadmio	4.86	e
Hidróxido de calcio + Cadmio	4.54	e

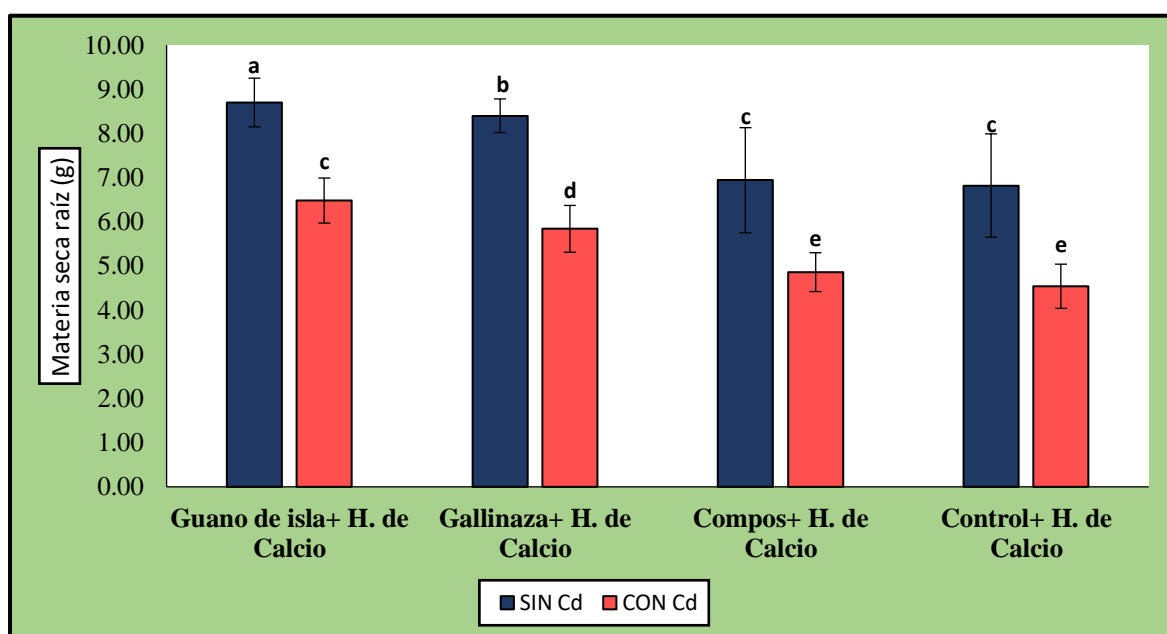


Figura 25. M. seca radicular de los plantones de cacao con E. orgánicas, H. de calcio y cadmio.

Los resultados de materia seca parte radicular, con aplicación de enmiendas orgánicas, dolomita y cadmio en plantones de cacao, son presentados en la Tabla 16 y Figura 25.

A su vez, se observa que la aplicación de dolomita más guano de isla sin cadmio, destaca con una media de 13.30 g de materia seca radicular seguida de gallinaza con 11.72 g y compost con 10.34 g. Estos tratamientos con enmiendas orgánicas se diferencian significativamente del control con 9.84 g, respectivamente.

Esto se debe a que una gran parte del metal queda retenido en las raíces, gracias a las propiedades físicas, químicas de las enmiendas orgánicas, la otra parte es absorbida por

competencia debido a su similitud electroquímica con los microelementos (Cu, Mn, Zn, entre otros), de esta manera se transloca a la parte aérea sin cumplir funciones específicas en la planta.

(Chandra Shaha, Kashem, & Towhid Osman, 2012), aplicaron cal y estiércol de corral, en el cultivo de espinacas, para disminuir la absorción de cadmio, en un período de 5 meses. Obtuvieron que adicionando cal al suelo disminuyó la concentración en la raíz de la espinaca. La concentración de cadmio disminuyó en un 82.28 y 76% en las raíces correspondientemente con la tasa más alta de cal (20 t ha⁻¹), estiércol (20 t ha⁻¹) y combinaciones de cal y estiércol (20 t ha⁻¹ + 20 t ha⁻¹).

Tabla 16

Tukey aplicado a M. seca radicular, con Dolomita, E. orgánicas y cadmio.

Tratamientos	Media (g)	Significancia
Dolomita + Guano de isla	13.30	a
Dolomita + Gallinaza	11.72	b
Dolomita + Compost	10.34	c
Dolomita	9.84	d
Dolomita + G. de isla + cadmio	9.56	d
Dolomita + Gallinaza + cadmio	9.42	d
Dolomita + Compost + cadmio	7.96	e
Dolomita + Cadmio	7.50	e

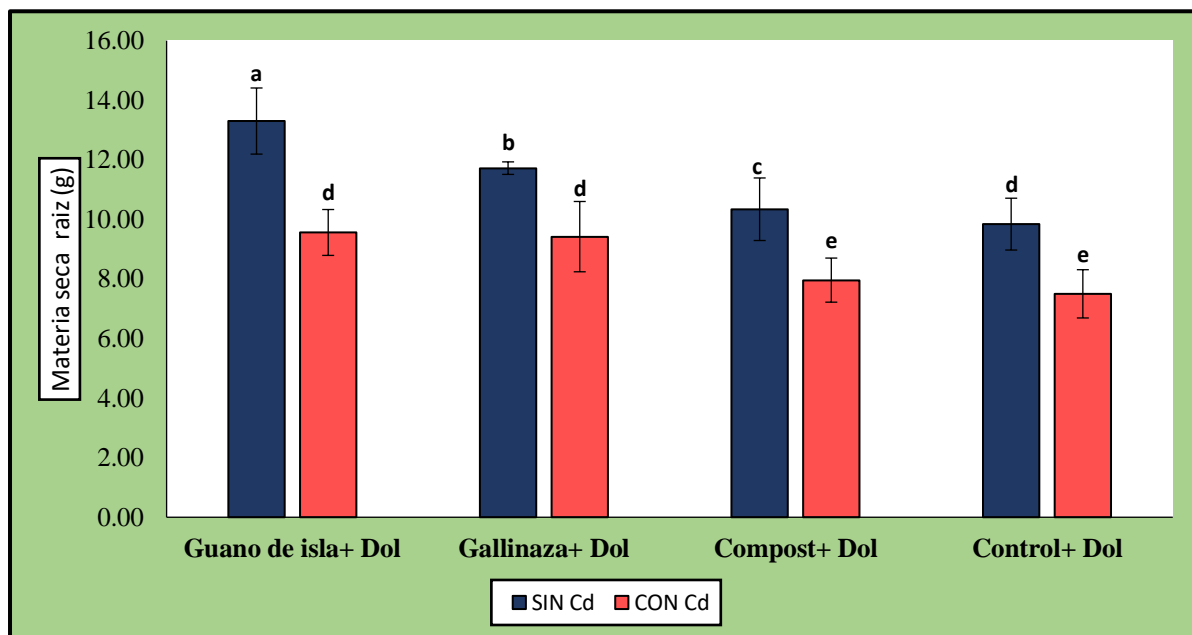


Figura 26. M. seca radicular con enmiendas orgánicas y Dolomita.

3.5. Contenido de cadmio en la parte aérea de los plántones de cacao.

En la Tabla 17, se presenta el análisis de varianza aplicada al contenido de cadmio en la parte aérea de los plántones de cacao. El análisis de la parcela (enmiendas cálcicas), es altamente significativa. Las enmiendas cálcicas (dolomita e hidróxido de calcio), tuvieron efectos diferentes sobre el contenido de cadmio en la parte aérea de los plántones de cacao.

El análisis de la Subparcela, muestra que la variable tratamiento es altamente significativa estadísticamente. Las enmiendas orgánicas, mostraron efectos diferentes sobre el contenido de cadmio en la parte aérea de los plántones de cacao. Por otra parte, la interacción de enmiendas cálcicas y orgánicas fue altamente significativas estadísticamente y tuvieron diferencias entre dolomita e hidróxido de calcio sobre la variable estudiada.

Tabla 17

ANVA del Contenido de Cadmio ($\mu\text{g g}^{-1}$), en la parte aérea.

Fuente de variabilidad	G.L	Suma	Media	F. valor	Pr (> F)	
Análisis de Parcelas						
Repetición	4	475.7	475.7			
Enmiendas cálcicas	1	31297	31297	23.11	6.79E-05	**
Error (Parcela)	4	130456	130456			
Análisis de Subparcelas						
Tratamiento (Enmiendas orgánica)	3	184461	61487	45.4	4.79E-10	**
Error (Trat)	24	1020782	340261			
Enmiendas orgánicas x E. cálcicas	3	70654	23551	17.39	3.25E-06	**
Error (residual)	32	32507	1354			
Total	71					

Nota: Significancia (**) al 5% con el test F

Los resultados del contenido de cadmio aéreo, con aplicación de enmiendas orgánicas y enmiendas cálcicas en plantones de cacao, son presentados en la Tabla 18 y Figura 26.

En la Figura 26, se observa que el análisis de las parcelas principales, en el contenido de cadmio, siendo dolomita, superior a hidróxido de calcio con un 42%, por sus características químicas ya antes mencionada, siendo estadísticamente diferentes.

Respecto a las subparcelas, se observa que el tratamiento gallinaza es superior con una media de $86.47 \mu\text{g g}^{-1}$ del contenido total de cadmio, siendo altamente significativa respecto al testigo con un contenido total de $466.70 \mu\text{g g}^{-1}$ de cadmio. La aplicación de enmiendas orgánicas y cálcicas disminuyeron la absorción de cadmio.

Estas diferencias, se debe a las propiedades físicas y químicas de las enmiendas orgánicas favorables para el desarrollo de las plantas. Una de las propiedades químicas importantes es el contenido de materia orgánica, que gracias a sus grupos orgánicos, reaccionan con el cadmio dando lugar a complejos o quelatos reduciendo su efecto tóxico y su absorción, quedando menos disponible para las plantas. Los microorganismos de la materia orgánica, también contribuyen con la captura del cadmio en sus organismos. Las enmiendas orgánicas aumentan la CIC del sustrato por lo tanto hay una mayor fijación del metal. La función principal de las enmiendas cálcicas fue elevar el pH, ya que en suelos

ácidos el cadmio se encuentra disponible para las plantas, a excepción de otros metales pesados (Kiran, y otros, 2017).

La acumulación de cadmio en los diferentes órganos de la planta, depende de su absorción a través de diferentes vías como (flujo de masas, difusión, transporte por sistemas vasculares xilema y floema); el cadmio, al ser absorbido por las plantas quedan retenidos en la membrana plasmática, después que pasan esta barrera son almacenados en las vacuolas de las células radiculares, la acumulación va a depender del tipo de cultivo, fases de crecimiento, suelos, entre otros factores (Kabata-Pendias, 2010), menciona que el contenido máximo permitido en hojas maduras es de 0.50 ppm para cadmio. Los diferentes contenidos de cadmio en la parte aérea, varía de acuerdo al tiempo y niveles de exposición.

(Ruiz, 2011), menciona en el cultivo de lechuga con aplicación de compost y carbonatos de calcio, se logró disminuir de 3.97 mg kg⁻¹ a 0.26 mg kg⁻¹ de cadmio. Según Al Mamun *et al.*, 2017, mencionan que en hortalizas como espinaca (*Spinacia oleracea L.*), lechuga (*Lactuca sativa L.*) y cebolla (*Allium cepa L.*), con la aplicación de compost municipal; redujo la concentración de Cd²⁺, hasta en un 60%.

Tabla 18

Tukey aplicado a contenido de cadmio aéreo, con E. orgánicas y cálcicas.

Tratamientos	Media (µg g⁻¹)	Significancia
Hidróxido de calcio + cadmio	466.70	a
Hidróxido de calcio + Guano de isla + cadmio	268.80	b
Hidróxido de calcio + Compost + cadmio	236.80	c
Hidróxido de calcio + Gallinaza + cadmio	213.65	d
Dolomita + cadmio	197.20	e
Dolomita + Guano de Isla + cadmio	182.46	e
Dolomita + Compost + cadmio	100.82	f
Dolomita + Gallinaza + cadmio	86.47	g

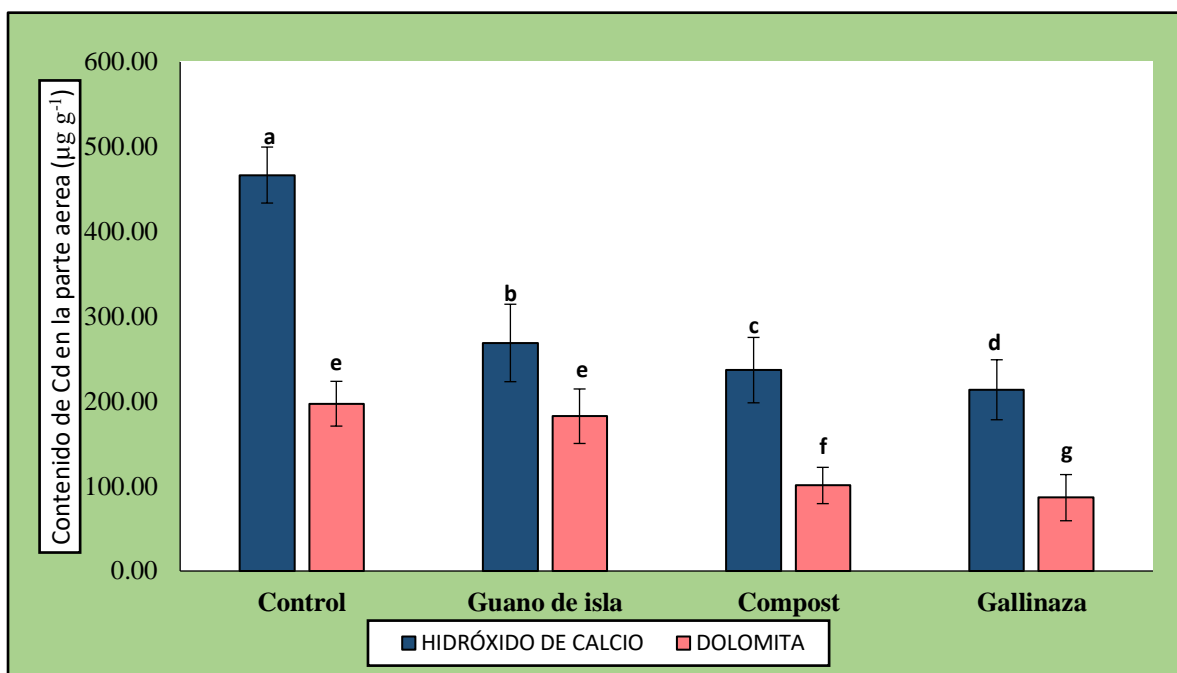


Figura 27. Contenido de cadmio aéreo con enmiendas orgánicas y cálcicas

3.6. Contenido de cadmio en raíces de plantones de cacao.

En la Tabla 19, se presenta el análisis de varianza aplicada al contenido de cadmio en raíces en plantones de cacao. El análisis de la parcela (enmiendas cálcicas), se encontraron diferencias estadísticas altamente significativas. Las enmiendas cálcicas (dolomita e hidróxido de calcio), tuvieron efectos diferentes sobre el contenido de cadmio en las raíces de los plantones de cacao.

El análisis de la Subparcela, muestra que la variable tratamiento, se encontraron diferencias estadísticas altamente significativas. Las enmiendas orgánicas (gallinaza, guano de isla y compost), tuvieron efectos diferentes sobre el contenido de cadmio en las raíces de los plantones de cacao. Por otra parte, la interacción de enmiendas cálcicas y enmiendas orgánicas, encontraron diferencias estadísticas altamente significativas. Las enmiendas orgánicas (gallinaza, guano de isla, compost) y enmiendas cálcicas (dolomita, hidróxido de calcio) sobre el contenido de cadmio en las raíces.

Tabla 19

ANVA del contenido de cadmio ($\mu\text{g g}^{-1}$), en la parte radicular.

Fuente de variabilidad	G.L	Suma	Media	F. valor	Pr (> F)	
Análisis de Parcelas						
Repetición	4	320.1	320.1			
Enmiendas cálcicas	1	39461	39461	12.36	1.77E-03	**
Error (Parcela)	4	114046	114046			
Análisis de Subparcelas						
Tratamiento (Enmiendas orgánicas)	3	108845	36282	11.36	7.85E-05	**
Error (Trat)	24	540799	180266			
E. orgánicas x Enmiendas cálcicas	3	157262	52421	16.41	5.16E-06	**
Error (residuos)	32	76646	3194			
Total	71					

Nota: Significancia (**) al 5% con el test F

Los resultados del contenido de cadmio de las raíces, con aplicación de enmiendas orgánicas y enmiendas cálcicas en plántones de cacao, son presentados en la Tabla 20 y Figuras 27.

En la Figura 27, se observa que la enmienda orgánica compost, fue menor con un contenido de cadmio total de $168.18 \mu\text{g g}^{-1}$, seguido de gallinaza con $180.45 \mu\text{g g}^{-1}$. respectivamente, diferenciándose significativamente del tratamiento testigo que alcanzó una media de $456.70 \mu\text{g g}^{-1}$. El tratamiento gallinaza, acumuló un menor contenido de cadmio en la parte aérea y mayor en el sistema radicular, este efecto fue producto de las propiedades físicas y químicas de las enmiendas orgánicas ya antes mencionadas.

La acumulación de cadmio en la parte radicular de los plántones de cacao, aumentan debido a su contacto directo con el suelo. El metal pesado tiene mayor radio iónico; es por ello que compite con los cationes de calcio, sodio, magnesio, entre otros y logra penetrar a través de diferentes vías de absorción, ingresando por las células corticales translocándose a los tejidos, su movilidad dentro de la planta es muy rápida y logra unirse con otros iones y enzimas.

(Ahmad, Akhtar, Zahir, & Mitter, 2015), mencionan que en cereales (trigo y maíz), con la aplicación de compost, redujeron significativamente la absorción de cadmio, sin embargo, aumentó la translocación de Cd^{2+} en los cereales. Ping *et al.*, (2008), encontraron

que aplicando enmiendas cálcicas (piedra caliza) y estiércol (cerdo), disminuyó la concentración de cadmio significativamente en un rango de 23 a 50,4% en granos de arroz.

Tabla 20

Tukey aplicado a contenido de cadmio radicular, con E. O y cálcicas.

Tratamientos	Media ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Significancia
Hidróxido de calcio + Cadmio	456.70	a
Hidróxido de calcio + Guano de isla + cadmio	388.54	b
Hidróxido de calcio + Gallinaza + cadmio	319.47	c
Hidróxido de calcio + Compost + cadmio	310.09	c
Dolomita + cadmio	245.08	d
Dolomita + Guano de isla + cadmio	193.59	e
Dolomita + Gallinaza + cadmio	180.45	f
Dolomita + Compost + cadmio	168.18	g

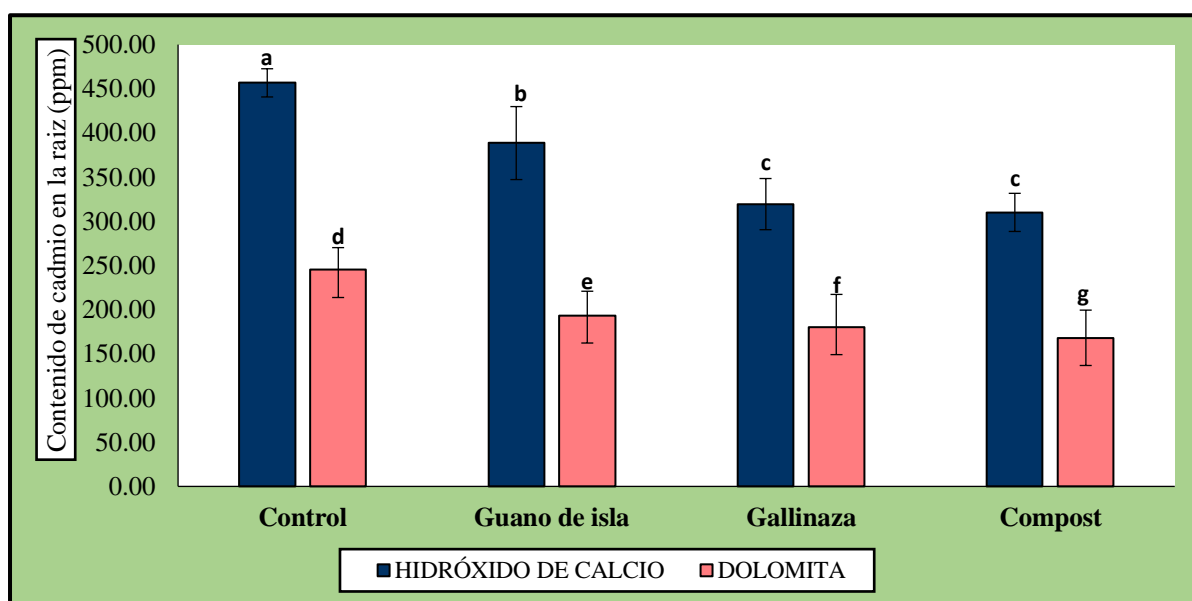


Figura 28. Contenido de cadmio radicular con enmiendas orgánicas y cálcicas.

CONCLUSIONES

Los resultados demostraron que las enmiendas cálcicas dolomita e hidróxido de calcio mostraron efectos diferentes en los parámetros evaluados, siendo dolomita superior por sus propiedades químicas.

Los mejores resultados obtenidos con enmiendas orgánicas, fue el tratamiento guano de isla siendo superior en los parámetros evaluados tales como: Altura 29.96 cm, diámetro de tallos 6.69 mm, materia seca aérea 25.76 g y materia seca radicular 13.30 g.

Respecto a la variable contenido de cadmio (aérea y radicular), los resultados demostraron que todas las enmiendas orgánicas, disminuyeron el contenido de cadmio en ambos parámetros; siendo los tratamientos gallinaza y compost de cáscara de cacao los que tuvieron un mayor impacto en esta variable.

RECOMENDACIONES

Realizar pruebas en campo definitivo, utilizando los mejores tratamientos obtenidos (gallinaza y compost de cáscara de cacao).

Realizar pruebas usando otras enmiendas orgánicas como (humus de lombriz, bocashi y microorganismos eficientes).

Realizar análisis de los microorganismos presentes en el suelo y determinar su efecto en la absorción de cadmio.

Realizar experimentos tomando en consideración la variabilidad de los cultivares de cacao y su relación con la absorción de cadmio

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abollino, O., Aceto, M., Malandrino, M., Mentasti, E., Sarzanini, C., & Barberis, R. (2002). Distribution and mobility of metals in contaminated sites. chemometric investigation of pollutant profiles. *PubMed*. Obtenido de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12152825>
- Adriano. (2001). Ecológica and health risk of metals. Trace elements in the Terrestrial environments. 2.
- Ahmad, I., Akhtar, M. J., Zahir, Z., & Mitter, B. (2015). Organic amendments: effects on cereals growth and cadmium remediation. 2919-2928.
- Aikpokpodion. (2010). Nutrients Dinamics in Cocoa oils, leaf and beans in Onto State.
- Al Mamun, S., Chanson, G., Muliadi., Benyas, E., Aktar, M., Lehto, N., Robinson, B. (2016). Municipal composts reduce the transfer of Cd from soil to vegetables. 8-15.
- Alford, É. R., Pilon-Smits, E. A., & Paschke, M. W. (2010). Metallophytes—a view from the rhizosphere. 33-50.
- Alloway, B., & Steinnes, E. (1999). Anthropogenic Additions of Cadmium to Soils. 85, 97-123.
- Anderson, J., & Ingram, J. (1993). Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods.
- Angelova, V., Ivanova, R., Delibaltova, V., & Ivanov, K. (Mayo de 2004). Bioacumulación y distribución de metales pesados en cultivos de fibra (lino, algodón y cáñamo). *ScienceDirect*, 197-205. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2003.10.001>
- Azpilicueta, C., Pena, L., & Callego, S. (2010). Los metales y las plantas: Entre la nutrición y la toxicidad. 12-16.

- Baker, A., McGrath, S., Reeves, R., & Smith, J. (2000). Metal Hyperaccumulator Plants: A Review of the Ecology and Physiology of a Biological Resource for Phytoremediation of Metal-Polluted Soils. .
- Barceló, J., & Poschenrieder, C. (1992). Respuestas de las plantas a la contaminación por metales pesados. 345-361.
- Bautista-Zamora, D., Chavarro-Rodríguez, C., Cáceres-Zambrano, J., & Buitrago-Mora, S. (2017). Efecto de la fertilización edáfica en el crecimiento y desarrollo de *Phaseolus vulgaris* cv. ICA Cerinza. *11*(1).
- Bonomelli, C., Bonilla, C., & Valenzuela, A. (2003). Efecto de la fertilización fosforada sobre el contenido de cadmio en cuatro suelos de Chile. *SciELO*, *38*(10), 1179-1186.
- Borjas, V. (2008). Uso de fuentes naturales en la fertilización del café (*Coffea arabica*) var. Caturra en vivero como base para la producción orgánica en la selva central del Perú.
- Brunetto, G., Avelar Ferreira, P. A., Melo, G. W., Ceretta, C. A., & Toselli, M. (2017). Metais pesados em solos de vinhedos e pomares. *39*(2).
- Cabrera Capitán, F. (2007). Materia Orgánica del suelo: Papel de las enmiendas orgánicas.
- Chandra Shaha, S., Kashem, A. M., & Towhid Osman, K. (2012). Effect of lime and farmyard manure on the concentration of cadmium in water spinach (*Ipomoea aquatica*).
- Cherian, S., & Oliveira, M. (2005). Transgenic plants in phytoremediation: recent advances and new possibilities. 9377-9390.
- Chupillon Cubas, J. W. (2017). Determinación de la absorción de cadmio y plomo en genotipos de cacao (*Theobroma cacao* L.), para el establecimiento de plantaciones comerciales.
- Clemens, S. (2001). Mecanismos moleculares de la tolerancia a metales vegetales y homeostasis. 475-486.

- Cuevas, G., & Walter, I. (2004). Metales pesados en maíz (zea mays), cultivado en suelos enmendado con diferentes dosis de compost de lodo residual.
- Cuvi Ramírez, M. B., Rodríguez Guerra, Y., Carrera, K. M., Asanza, M., & Soria Rea, S. (2012). Efecto de abonos orgánicos en el cultivo de *Theobroma cacao* L. en vivero de "Recinto el Capricho", Provincia de Napo, Ecuador.
- Davies, K., Davies, M., & Francis, D. (1991). Vacuolación inducida por zinc en células meristemáticas de la raíz de *Festuca rubra* L.
- De Almeida, A. A., & Valle, R. R. (2008). Ecofisiología del cacao.
- Delgadillo-López, A. E., Gonzáles-Ramírez, C. A., Prieto-García, F., Villagómez-Ibarra, J. R., & Acevedo-Sandoval, O. (2011). Fitorremediación: Una alternativa para eliminar la contaminación. 597-612.
- Demagnet Filippi, R. (2017). Enmiendas calcáreas.
- ELIKA, F. V. (2004). Cadmio.
- EMBRAPA. (2011). Manual de Métodos de Análisis de Suelo.
- Espinoza, J. (1999). Acidez y encharcamiento de los suelos.
- Félix-Herrán, J., Sañudo-Torres, R., Rojo-Martínez, G., Martínez-Ruiz, R., & Olalde-Portugal, V. (2008). Importancia de los abonos orgánicos. *Ra Ximhai*, 4(1), 57-67.
- Fortis, H., Leos, R., Preciado, R. P., Orana, C. I., García, S. J., García, H. J., & Orozco, V. J. (2009). Aplicación de abonos orgánicos en la producción de maíz forrajero con riego por goteo.
- García, I., Díez, M., Martín, F., Simón, M., & Dorronsoro, C. (2009). Mobility of Arsenic and Heavy Metals in a Sandy-Loam Textured and Carbonated Soil. 19, 166-175.

- González-Mendoza, D., & Zapata-Pérez, O. (2008). Mecanismos de tolerancia a elementos potencialmente tóxicos en plantas. 53-61.
- Gouia, H., Ghorbal, M., & Meyer, C. (2000). Effects of cadmium on activity of nitrate reductase and on other enzymes of nitrate assimilation pathway in bean.
- Guerinot, M. (2000). La familia ZIP de transportadores de metal.
- Gulli, M., Rampino, P., Lupotto, E., Marmioli, N., & al., e. (2005). Efecto del estrés por calor y los iones de cadmio en la expresión de un pequeño gen hsp en cebada y maíz.
- Hall, J. (2002). Mecanismos celulares para la desintoxicación y tolerancia de metales pesados. 1-11.
- Hirzel Campos, J., & Salazar Sperberg, F. (2011). Uso de enmiendas orgánicas como fuente de fertilización en cultivos.
- Huaynates Natividad, J. L. (2013). Efecto de la materia orgánica en la absorción de Cd por el suelo, en la localidad de Supte.
- ICCO, O. I. (2003). Resumen Estadístico. (Boletín del Cacao GB 21).
- Jabeen, R., Ahmad, A., & Iqbal, M. (2009). Fitorremediación de metales pesados: mecanismos fisiológicos y moleculares. 75(4), 339-364.
- Jaramillo, B. C., Escobar, E. N., & Romero, J. N. (2016). Efecto de abonos orgánicos en la productividad de alimentos base de agricultura familiar: Maíz (*Zea mays*) y frijol (*Phaseolus vulgaris* L.).
- Jiménez Tobón, C. S. (Junio de 2015). Estado legal mundial del cadmio en cacao (*Theobroma cacao*): fantasía o realidad. *SCIELO*, 10(1). Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552015000100009.

- Juarez Contreras, L. d. (2015). Efecto de dos enmiendas cálcicas y dos abonos orgánicos en el rendimiento de la especie forrajera (*Setaria sphacelata*) Nicarion, Molinopampa-Chachapoyas- Amazonas.
- Kabata-Pendias. (2010). Trace elements in soils and plants. 4.
- Kiran, Y. K., Barkat, A., Xiaoqiang, C., Ying, F., Petter, J. S., Lin, T., & Show, A. (2017). Efecto de la modificación ácido húmico sobre la biodisponibilidad de cadmio y acumulación por pak choi (*Brassica rapa* ssp. *Chinensis* L.) para aliviar riesgo de toxicid.
- Lasat, M. M. (2000). The use of Plants for the Removal of Toxic Metals From Contaminated Soils.
- Llugany, M., Tolrà, R., Poschnrieder, C., & Barceló, J. (2007). Hiperacumulación de metales ¿ Una ventaja para la planta y para el hombre? *16*(2), 4-9.
- Lucho-Constantino, C., Alvarez-Suárez, M., Beltrán Hernández, R., Prieto-García, F., & Poggi-Varaldo, H. (Abril de 2005). A multivariate analysis of the accumulation and fractionation of major and trace elements in agricultural soils in Hidalgo State, Mexico irrigated with raw wastewater. doi:10.1016/j.envint.2004.08.002
- Mancilla-Villa, O. R., Ortega-Escobar, H. M., Ramírez-Ayala, C., Uscanga-Mortera, E., Ramos-Bello, R., & Reyes-Ortigoza, A. L. (2012). Metales pesados totales y arsénico en el agua para riego de Puebla y Veracruz, México. *SciELO*. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992012000100004.
- Marmiroli, M., Antonioli, G., Maestri, E., & Marmiroli, N. (2005). Evidencia de la participación de la estructura lignocelulósica de la planta en el secuestro de Pb: un análisis basado en espectroscopía de rayos X.
- Martínez Chávez, C. C. (2015). Efecto de enmiendas de Biochar sobre el Desarrollo en *Cucumis sativus* L. Var. SMR-58.

- McLaughlin, M., & Singh, B. (1999). *Cadmium in Soils and Plants* (1 ed., Vol. 85). (S. Netherlands, Ed.).
- Mejía F & Palencia C., G. (2011). *Abono Orgánico: Manejo y uso en el cultivo de cacao*.
- MINAGRI. (2013). *Datos estadísticos de la producción del Cacao*. Lima.
- MINAGRI. (2016). *Datos estadísticos de la producción del Cacao*. Lima.
- Morsomme, P., & Boutry, M. (2000). The plant plasma membrane H⁺-ATPase: structure, function and regulation. 1-16.
- Navarro-Aviñó, J., Aguilar Alonso, I., & López-Moya, J. (2007). Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas. *16*(2), 10-25.
- Nordberg, G. F., Nogawa, K., & Nordberg, M. (2015). cadmio. 667-716.
- Novotny, V. (1995). Diffuse Sources of Pollution by Toxic Metals and Impact on Receiving Waters. 33-52.
- Pérez García, P. E., & Azcona Cruz, M. I. (2012). Los efectos del cadmio en la salud. *17*(3), 199-205.
- Pietro Méndez, J., Gonzáles Ramírez, C., Román Gutiérrez, A. D., & Prieto García, F. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 29-44.
- Pinto, A., Mota, A., de Varennes, A., & Pinto, F. (2004). Influence of organic matter on the uptake of cadmium, zinc, copper and iron by sorghum plants.
- Potash, P. I. (1997). *Manual de fertilidad de suelos*.
- Rauser, W. E. (1999). Estructura y función de los quelantes metálicos producidos por plantas. 19-48.

Rodríguez-Serrano, M., Martínez de la casa, N., Romero-Puertas, M., del Rio, L., & Sandalio, L. (2008). Toxicidad del Cadmio en Plantas. *Ecosistemas*, 39-146.

Ruiz, J. (2011). Evaluación de tratamientos para disminuir cadmio en lechuga (*Lactuca sativa* L.) regada con agua del río Bogota.

Seth, C. S. (2012). A Review on Mechanisms of Plant Tolerance and Role of Transgenic Plants in Environmental Clean-up. 78.

Shaw, A. (1989). *Tolerancia a metales pesados en plantas*.

Thomine, S., Wang, R., Ward, J. N., Crawford, N. M., & Schroeder, J. I. (2000). Transporte de cadmio y hierro por miembros de una familia de transportadores de metal vegetal en *Arabidopsis* con homología con los genes Nramp. 97(9), 4991-4996.

U.E, U. E. (2014). Normativa Europea en derivados de cacao.

Wong Rivera, A. F. (2017). Determinación de cadmio (Cd) en suelos de cultivo para cacao CCN-51 mediante análisis de espectrofotometría de absorción atómica.

Wood, G. A., & Lass, R. (2001). *Cocoa* (4 ed.). Londres: Longman.

Zamora, C. D. (2018). Cadmio en el cultivo de cacao: Problemática y manejo.

ANEXOS

10.1. Análisis del sustrato después del período de evaluación.

Tabla 21*Análisis del sustrato después de la aplicación de E orgánica y cálcica.*

Tipo de muestra	pH	C.E dS/m	M.O (%)	N (%)	P (ppm)	K (ppm)	CATIONES CAMBIABLES		
							Ca ²⁺	Mg ²⁺ cmol/kg	K ⁺
Hidróxido de calcio	7.03	0.24	1.27	0.06	6.27	32.1	4.56	0.38	0.08
Dolomita	6.55	0.11	1.31	0.06	4.64	28.7	2.68	0.64	0.07
H. C + Gallinaza	7.10	0.47	2.21	0.13	38.23	217.0	15.6	1.7	0.55
H.C + Compost	7.10	1.08	4.54	0.07	42.70	215.3	12.4	2.7	0.55
H.C + Guano de isla	7.04	0.32	1.35	0.29	47.28	67.2	13.8	1.3	0.17
Dolomita + Gallinaza	6.63	0.34	2.25	0.13	36.64	213.7	13.8	2.0	0.55
Dolomita + Compost	6.68	0.96	4.58	0.07	41.26	212.3	10.6	3.0	0.54
Dolomita + Guano de isla	6.56	0.18	1.39	0.30	45.67	63.8	12.0	1.6	0.16

NOTA: Laboratorio de suelos ICT 2018

Tabla 22*Croquis de la distribución experimental de los plántones de cacao.*

PARCELA A			PARCELA B								
Sub Parcela SC			Sub Parcela CC			Sub Parcela SC			Sub Parcela CC		
T1	T4	T2	T5	T8	T6	T9	T12	T10	T13	T16	T14
T3	T1	T4	T7	T5	T8	T11	T9	T12	T15	T13	T16
T2	T3	T3	T6	T7	T7	T10	T11	T11	T14	T15	T15
T4	T2	T1	T8	T6	T5	T12	T10	T9	T16	T14	T13
T2	T3	T4	T6	T7	T8	T10	T11	T12	T14	T15	T16
T4	T1	T2	T8	T5	T6	T12	T9	T10	T16	T13	T14
T1		T3	T5		T7	T9		T11	T13		T15

