

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



**EFFECTO DE DIFERENTES CONCENTRACIONES DE CADMIO EN
SUELO ALUVIAL Y RESIDUAL EN DIFERENTES ÓRGANOS DE
PLANTONES DE *Theobroma cacao* (CACAO)**

Autor	: Villaorduña Hauxwell Nick Anderson
Asesor	: Jaime Josseph Chávez Matías
Programa de investigación	: Suelos y fertilizantes
Línea de investigación	: Servicios ecosistémicos, descontaminación del suelo y medio ambiente
Eje temático	: Análisis de cadmio en suelo y plantones de cacao.
Lugar de ejecución	: Vivero “El agrónomo” Facultad de Agronomía - UNAS
Duración	: 6 meses
Financiamiento	: S/5000

Tingo María – Perú Julio, 2021



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María
FACULTAD DE AGRONOMÍA



Av. Universitaria Km 1.5 Telf. (062) 562341 (062) 561136 Fax. (062) 561156 E. mail: fagro@unas.edu.pe

"Año de la Universalización de la Salud"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

N° 010 -2020-FA-UNAS

BACHILLER : VILLAORDUÑA HAUXWELL NICK ANDERSON

TÍTULO : "EFECTO DE DIFERENTES CONCENTRACIONES DE CADMIO EN UN SUELO ALUVIAL Y RESIDUAL EN DIFERENTES ÓRGANOS DE PLANTONES DE *Theobroma cacao L.*

JURADO CALIFICADOR

PRESIDENTE : Dr. JOSE WILFREDO ZAVALA SOLORZANO

VOCAL : Dr. HUGO A. HUAMANI YUPANQUI

VOCAL : Ing. LUIS MANSILLA MINAYA

ASESOR : M.Sc. JAIME CHAVEZ MATIAS

FECHA DE SUSTENTACIÓN : miércoles 2 de Setiembre del 2020

HORA DE SUSTENTACIÓN : 6 Pm

LUGAR DE SUSTENTACIÓN : VIRTUAL PLATAFORMA TEAM

CALIFICATIVO : BUENO

RESULTADO : APROBADO

OBSERVACIONES A LA TESIS : EN HOJA ADJUNTA

TINGO MARÍA, 02 de setiembre del 2020

PRESIDENTE
Dr. José W. Zavala Solorzano

VOCAL
Dr. Hugo Huamani Yupanqui

VOCAL
Ing. Luis G. Mansilla Minaya

ASESOR
M.Sc. Jaime Chávez Matias

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA

REGISTRO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DE TÍTULO

Universidad : Universidad Nacional Agraria de la Selva
Facultad : Facultad de Agronomía

Título de Tesis : Efecto de diferentes concentraciones de cadmio en suelo aluvial y residual en diferentes órganos de plántones de *Theobroma cacao* (Cacao)

Autor : Villaorduña Hauxwell Nick Anderson
DNI : 45774756
Correo electrónico : Nick.villaorduna@unas.Edu.pe

Asesor : Jaime Josseph Chávez Matías

Escuela Profesional : Agronomía

Programa de Investigación : Suelos y fertilizantes
Línea (s) de Investigación : Servicios ecosistémicos, descontaminación del suelo y medio ambiente
Eje temático de investigación : Análisis de cadmio en suelo y plántones de cacao.
Lugar de Ejecución : Vivero “El agrónomo” Facultad de Agronomía - UNAS

Duración del trabajo : 6 meses
Fecha de Inicio : Mayo del 2018
Término : Noviembre del 2018

Financiamiento : **S/5000**
FEDU : NO
Propio : SI
Otros : NO

Tingo María - Perú Agosto, 2022

DEDICATORIA

A Dios, que me permitió realizarme profesionalmente y su presencia me acompaña a donde vaya.

A mis queridos padres, mi esposa mis hijos, que con su esfuerzo y ejemplo me apoyaron en toda mi formación académica por impulsarme el deseo constante de verme realizado como profesional.

AGRADECIMIENTO

- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva y a todo el personal que la conforman, por su apoyo y confianza, en especial a los docentes de la Facultad de Agronomía que contribuyeron en mi formación profesional.

- A los miembros del jurado de tesis Dr. José Wilfredo Zavala Solórzano, en calidad de presidente, Dr. Hugo Alfredo Huamaní Yupanqui y Ing. Luis Germán Mansilla Minaya, por su valiosa orientación en el desarrollo del presente trabajo de investigación.

- Al Ing. Jaime Josseph Chávez Matías, en condición de asesor de la presente tesis, por su apoyo en la elaboración, ejecución, culminación y revisión de la investigación.

- A mis queridos padres por su apoyo durante todo el desarrollo del trabajo de investigación.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISION DE LITERATURA	3
2.1. Generalidades del cultivo de cacao.....	3
2.2. Metales pesados en suelos agrícolas y plantas	3
2.3. Cadmio.....	4
2.3.1 Contaminación del cacao con cadmio	4
2.3.2 Origen del cadmio	4
2.3.3 Cadmio en los suelos.....	5
2.3.4 Disponibilidad del cadmio en el suelo.....	6
2.3.5 Factores del suelo que afectan la acumulación del cadmio y su disponibilidad	6
2.3.6 Cadmio en las plantas.....	7
2.3.7 Efectos tóxicos del cadmio sobre las plantas	7
2.3.8 Efectos del cadmio en la salud humana.....	8
2.4. Estudios de incubación para contaminar suelos con cadmio.....	8
III. MATERIALES Y METODOS	10
3.1. Lugar de ejecución.....	10
3.2. Material y métodos	10
3.2.1. Análisis físico químico inicial del suelo	10
3.2.2. Metodología.....	11
3.2.3. Tratamientos en estudio	12
3.2.4. Diseño de investigación y características	12
3.2.5. Esquema del análisis de variancia (ANVA).....	13
3.2.6. Conducción del experimento	13
3.2.7. Variables para evaluar	14
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	16
4.1. Plantones de cacao.....	16
4.1.1. Altura.....	16
4.1.2. Diámetro	18
4.2. Cadmio en suelo	20
4.2.1. Análisis de cadmio total	20
4.2.2. Análisis de cadmio disponible.....	23

4.3. Cadmio en plántones de cacao.....	26
4.3.1. Análisis de cadmio en raíz.....	26
4.3.2. Análisis de cadmio en tallo	28
4.3.3. Análisis de cadmio en hoja	30
V. CONCLUSIONES	35
VI. PROPUESTAS A FUTURO.....	36
VII.REFERENCIAS.....	37
VIII. ANEXO.....	43

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Análisis físico químico de los suelos en estudio.....	11
2. Descripción de los tratamientos en estudio.....	12
3. Esquema del análisis de variancia (ANVA)	13
4. Análisis de variancia ($\alpha=0,05$) para altura de plántulas de cacao.....	16
5. Altura de plantones de cacao por efecto de seis niveles de cadmio (media \pm error estándar).....	17
6. Análisis de variancia ($\alpha=0,05$) para diámetro de plántulas de cacao.....	18
7. Interacción de tipos de suelo sobre niveles de cadmio en diámetro de tallo de plantones de cacao (media \pm error estándar).....	19
8. Interacción de niveles de cadmio sobre tipos de suelo en diámetro de tallo de plantones de cacao (media \pm error estándar).....	20
9. Análisis de variancia ($\alpha=0,05$) para cadmio total en suelo	21
10. Prueba de DGC ($\alpha=0,05$) para cadmio total en suelo (media \pm error estándar).....	22
11. Prueba de DGC ($\alpha=0,05$) para cadmio total en suelo (media \pm error estándar).....	22
12. Análisis de variancia ($\alpha=0,05$) para cadmio disponible en suelo.....	23
13. Cadmio disponible en dos tipos de suelo (media \pm error estándar).....	24
14. Cadmio disponible por efecto de seis niveles de cadmio adicionado la suelo (media \pm error estándar).....	25
15. Análisis de variancia ($\alpha=0,05$) para cadmio en raíz de plantones de cacao.....	27
16. Cadmio en raíz de plantones de cacao en dos tipos de suelo (media \pm error estándar).....	27
17. Cadmio en raíz de plantones de cacao por efecto de seis niveles de cadmio adicionados al suelo (media \pm error estándar).....	28
18. Análisis de variancia ($\alpha=0,05$) para cadmio en tallo de plantones de cacao.....	29
19. Cadmio en tallo de plantones de cacao en dos tipos de suelo (media \pm error estándar).....	29
20. Cadmio en tallo de plantones de cacao por efecto de seis niveles de cadmio adicionados al suelo (media \pm error estándar).....	30
21. Análisis de variancia ($\alpha=0,05$) para cadmio en hoja de plantones de cacao.....	31
22. Cadmio en hoja de plantones de cacao en dos tipos de suelo (media \pm error estándar).....	31

23. Cadmio en hoja de plántones de cacao por efecto de seis niveles de cadmio adicionados al suelo (media \pm error estándar).....	32
24. Evaluaciones de altura de plántones de cacao	44
25. Evaluaciones de diámetro de plántones de cacao	44
26. Evaluaciones de cadmio total y disponible en suelo al final del experimento.....	45
27. Evaluaciones de cadmio en plántones de cacao.....	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Ubicación del campo experimental.....	10
2. Contenido de cadmio total y disponible en dos tipos de suelo.	25
3. Contenido de cadmio total y disponible por efecto de niveles de camio incorporados al suelo	26
4. Cadmio en plantones de cacao en suelo aluvial y residual.	33
5. Cadmio en plantones de cacao por efecto de niveles de cadmio adicionados al suelo.	33
6. Incubación de cadmio	46
7. Selección de semillas antes de la instalación	46
8. Después de 45 días de incubación llenado de bolsas	47
9. Evaluación de altura de plantones.....	47
10. Evaluación de diámetro de plantones.....	48
11. Gigantografía de la tesis.....	48

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar los efectos de diferentes concentraciones de cadmio en suelos aluviales y residuales y en diferentes partes de la planta de cacao CCN-51, para lo cual se transportaron 150 kg de suelo de cada sitio; El experimento se desarrolló en la incubadora de la Facultad de Ingeniería Agrícola con el fin de lograr los siguientes objetivos: 1. Evaluar altura y diámetro de plántones de cacao por efecto de los factores en estudio, 2. Evaluar cadmio disponible y cadmio total por efecto de los factores en estudio, 3. Evaluar cadmio total en raíz, tallos y hojas de plántones de cacao por efecto de los factores en estudio. Estuvo conformado por un Diseño Completamente al Azar (DCA), con arreglo factorial de 2A x 6B formado por doce tratamientos y cuatro repeticiones. Se obtuvo los siguientes resultados:

No se determinó diferencias estadísticas en la interacción de los factoriales, sin embargo, se determinó diferencias estadísticas en el factorial niveles de cadmio y se determinó mayor altura de plantas a dosis de 6 ppm de cadmio con valor promedio de 36,48 cm. respecto al Diámetro de tallo se determinó diferencias estadísticas en la interacción de factoriales, mostrando mayor diámetro en la interacción (Suelo aluvial x 0 ppm de cadmio) con diámetro promedio de 8,62 mm y la interacción (Suelo residual x 8 ppm de cadmio) con diámetro promedio de 8,34 mm. Respecto al cadmio total y disponible del suelo, no se determinó diferencias estadísticas en la interacción de factoriales, sin embargo, se determinó diferencias estadísticas en los factoriales principales, determinando mayor contenido en suelo residual con valor promedio de 7,79 y 4,49 ppm, en el factorial dosis de cadmio, se determinó mayor contenido en dosis de 10 ppm con valor de 12,35 y 5,53 ppm. Finalmente, cadmio en plantas de cacao, no se determinó diferencias estadísticas en la interacción de factoriales, sin embargo se determinó diferencias estadísticas en factoriales principales, donde el mayor contenido de cadmio fue en la orden de raíces, tallo y hojas en suelo residual con valor promedio de 5,00, 9,18, 10,36 ppm, en el factorial dosis de cadmio, se determinó mayor cadmio en dosis de 10 ppm con valor promedio de 5,50, 10,12, 12,44 ppm.

Palabras claves: tipo de suelo, partes de plántones, Cd

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the effects of different concentrations of cadmium in alluvial and residual soils and in different parts of the CCN-51 cocoa plant, for which 150 kg of soil were transported from each site; The experiment was developed in the incubator of the Faculty of Agricultural Engineering in order to achieve the following objectives were set: 1. Evaluate height and diameter of cocoa seedlings due to the effect of the factors under study, 2. Evaluate available cadmium and total cadmium due to the effect of the factors under study, 3. Evaluate total cadmium in roots, stems and leaves of cocoa seedlings due to the effect of the factors under study. It was made up of a Completely Random Design (DCA), with a factorial arrangement of 2A x 6B formed by twelve treatments and four repetitions. The following results were obtained:

No statistical differences were determined in the interaction of the factorials, however, statistical differences were determined in the factorial levels of cadmium and greater plant height was determined at a dose of 6 ppm of cadmium with an average value of 36.48 cm. Regarding stem diameter, statistical differences were determined in the interaction of factorials, showing a greater diameter in the interaction (Alluvial soil x 0 ppm of cadmium) with an average diameter of 8.62 mm and the interaction (Residual soil x 8 ppm of cadmium) with an average diameter of 8.34 mm. Regarding the total and available cadmium of the soil, no statistical differences were determined in the interaction of factorials, however, statistical differences were determined in the main factorials, determining higher content in residual soil with an average value of 7.79 and 4.49 ppm, in the cadmium dose factorial, a higher content was determined in a dose of 10 ppm with a value of 12.35 and 5.53 ppm. Finally, cadmium in cocoa plants, no statistical differences were determined in the interaction of factorials, however statistical differences were determined in main factorials, where the highest content of cadmium was in the order of roots, stem and leaves in residual soil with value average of 5.00, 9.18, 10.36 ppm, in the cadmium dose factorial, higher cadmium was determined in doses of 10 ppm with average value of 5.50, 10.12, 12.44 ppm

Keywords: soil type, seedling parts, cadmium

I. INTRODUCCIÓN

Las exportaciones de cacao y todos sus productos (granos, intermedios y productos finales) en 2014 ascendieron a \$234 millones, y el consumo total ascendió a 64.625 toneladas. Estos números han permitido que Perú sea considerado el segundo exportador mundial de cacao orgánico (Ministerio de Agricultura y riego [MINAGRI], 2019). El monto de las exportaciones corresponde al 80% de cacao en grano y la diferencia será procesado, cacao en polvo, licor de cacao y otros productos de valor agregado. Los principales países en los que se compran nuestros productos son USA, Holanda, Alemania, Bélgica e Italia (Santa Cruz-Muñoz, 2017). Pero los principales mercados europeos tienen ciertas condiciones para la penetración y comercialización del cacao, y por tanto para la aparición de metales pesados, el mercado europeo da notas sobre la aparición de cadmio en los bienes de cacao transportados y superando el máximo legal, que según la Comisión Europea (UE, 2013) refieren el límite máximo de cadmio es de 0.5 ppm. Según el Ministerio de Comercio Exterior y Turismo (MINCETUR, 2020) actualmente los niveles máximos permitidos de metales pesados en bienes para consumo humano se encuentran en revisión en Europa.

Por lo tanto, se planteó el tema del contenido de cadmio en los granos de cacao, el cual tiene una concentración superior al estándar establecido por el mercado, lo que retrasará el posicionamiento y consolidación del mercado. Afecta mucho a los productores de cacao (Melgarejo, 2015). Provoca pérdidas económicas a los productores de todo el país que, debido al alto contenido de cadmio, venderán productos de cacao de la manera tradicional, es decir, debido a la certificación orgánica y el comercio en general. No se reconoce cero, las ventas se verán afectadas (García, 2019). La pérdida de confianza en el cultivo de cacao como el cultivo alternativo de la coca, y como cultivo rentable, puede llevar al abandono por los mismos productores, debido a los bajos precios ofrecidos a causa del cadmio en el mercado internacional. Teniendo en cuenta la preocupación sobre la contaminación de cadmio en el cacao varios países exportadores e importadores realizaron varios estudios a fin de determinar metodologías donde se pueda disminuir el cadmio en las almendras de cacao, por lo que los cacaoteros serían los más afectados por posibles restricciones en el mercado extranjero; se plantea iniciar este trabajo de investigación en cadmio, para adaptar medidas de prevención, remediación, conocer la disponibilidad del cadmio en suelos, Con el fin de mitigar el impacto económico y social que pudiera ocasionar inconvenientes en la comercialización del cacao peruano por los altos niveles de cadmio en el grano. Hasta la fecha se tiene estudios que determinan los contenidos de cadmio a nivel de suelos y almendra de cacao, y aun son escasos

los trabajos de investigación sobre el porcentaje de disponibilidad de cadmio en suelo con respecto al total y niveles de tolerancia del cadmio por el cultivo de cacao.

Objetivo general

Determinar el efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de cadmio en suelo aluvial y residual en los diferentes órganos de plántulas de cacao.

Objetivos Específicos:

1. Evaluar altura y diámetro de plántulas de cacao por efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de cadmio en suelo aluvial y residual.
2. Evaluar cadmio disponible y cadmio total en suelo aluvial y residual por efecto aplicación de diferentes concentraciones de cadmio.
3. Evaluar cadmio total en raíz, tallos y hojas de plántulas de cacao por efecto aplicación de diferentes concentraciones de cadmio en suelo aluvial y residual.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. Generalidades del cultivo de cacao

El país lo considera como un producto de estrategia económica con mucha importancia, para las familias que producen este producto ya que contribuye a mejorar la calidad de vida. Según el Ministerio de Desarrollo Agrario y riego (MIDAGRI, 2012) el Perú es un país que produce y exportador delicioso y aromático granos de cacao y representa el 36% de la producción mundial. Gracias a estas cualidades en el año 2012, el cacao fue reconocido como patrimonio nacional, reconocido como uno de los cultivos más importantes del Perú, y en el año 2013 se reconoció como un producto fundamental.

2.2. Metales pesados en suelos agrícolas y plantas

Los suelos agrícolas a menudo contienen metales pesados, pero en bajas concentraciones, la gran diversidad de metales pesados es por efecto de la composición del material original y los procesos de formación y evolución del suelo. Las diferentes prácticas agrícolas pueden variar las concentraciones de metales pesados en el suelo, así como la aplicación de fertilizantes minerales y agroquímicos, fertilizantes orgánicos de origen animal o vegetal y suplementos orgánicos. También los lodos de refinería y las aguas residuales domésticas utilizadas para el riego son las principales fuentes de estos minerales indica Peris, (2006) y Inés (2011). El depósito de metales pesados en suelos agrícolas representa un gran peligro para la salud y vida de los humanos, y sus efectos negativos dependen de los minerales y sus propiedades únicas en el suelo y el cuerpo (Rueda et al., 2011).

La conducta de la planta es mayor para los minerales que no son heterogéneos. Las especies de plantas, incluidas las variedades de cultivos, difieren en la capacidad de absorber, ensamblar y soportar minerales. Las plantas se clasifican en tres categorías: exclusión, indicador y acumulación según su comportamiento en presencia de minerales en el ambiente. Por lo tanto, la exclusión limita la entrada o transferencia de metales tóxicos; Esto les permite vivir en ambientes con altas concentraciones de minerales. Los indicadores reflejan el aumento de minerales producidos en el medio ambiente. Finalmente, aumenta la acumulación activa de minerales en tus tejidos. (Berry, 2006; Prieto et al., 2009). En particular, las plantas han desarrollado mecanismos especiales para la absorción y síntesis de materia. Sin embargo, algunos minerales no se calculan y los minerales se absorben por verduras y fluidos y se acumulan en la fábrica porque tienen el mismo comportamiento electroquímico, como la nutrición requerida (Miranda et al., 2008). Las plantas tienen la capacidad para bioacumular

metales pesados y otros contaminantes, pero se tendrá en cuenta la especie de planta y la naturaleza del contaminante. Estas diferencias en la absorción de minerales se pueden atribuir específicamente a la capacidad de retención de minerales de dicho suelo, planta, interacción entre raíces minerales y plantas, y metabolismo de la planta. (Prieto et al., 2009).

2.3. Cadmio

El elemento metálico cadmio presenta N° atómico 48, masa atómica 112,10, gravedad específica 8,642, símbolo químico Cd, perteneciente al grupo IIB de la tabla periódica. No es abundante en la corteza terrestre, de textura suave, blanco y maleable. Siendo uno de los principales minerales la Greenokite la que contiene cadmio, se puede encontrar asociada a compuestos de zinc por lo que es liberado durante la extracción de zinc., como la esfalerita, o en minerales propios como la esfalerita de cadmio o el outtavit. Puede formar hidróxidos e iones complejos, como ocurre con el amoníaco o el cianuro. No tiene una función biológica básica y es altamente tóxico para las plantas y los animales. Los principales usos del cadmio refinado son: en baterías de níquel-cadmio (NICD) y como colorante para plásticos, cerámicas y esmaltes. Reparación de chapa plástica, hierro y acero, así como componentes de competición, cobre y estaño (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA], 2010; Isaura, 2010; Subero, 2013).

2.3.1 Contaminación del cacao con cadmio

El cadmio y el plomo se encuentran naturalmente en la corteza terrestre como metales, que pueden ser absorbidos por las plantas y por los humanos, lo que presenta riesgos potenciales (Prieto et al., 2009). El árbol del cacao impregna los metales pesados del suelo y los concentra en las semillas. (Augstburger et al., 2020). Se indica que al aumentar los hidronios disminuye la contaminación y al mismo tiempo las plantas absorben menos contenido de cadmio, por lo que las plántulas de cacao concentran menos contenido de estos elementos (Acevedo, 2005).

2.3.2 Origen del cadmio

El contenido de cadmio en el suelo puede ser de origen natural o artificial. Las fuentes naturales incluyen rocas o limo y materiales corrosivos transportados por el viento y el agua. El cadmio sintético en el suelo puede provenir de sedimentos atmosféricos, aguas residuales, savia de árboles, estiércol animal y fosfatos. Este último tiene concentraciones de cadmio entre 10 y 200 ppm (Martínez y Palacio, 2010; Ruiz, 2011). El cadmio es un recurso

humano menos estable que su origen natural, y su futuro depende en gran medida de la dinámica de conservación y su transmisión en el registro. Las rocas sedimentarias muestran un rango más amplio de concentraciones de cadmio que otras rocas de Isaura (2010). Por otro lado, la presencia de cadmio puede ocurrir con más frecuencia cuando se trabaja cerca de áreas urbanas, donde aumenta el potencial de contaminación por residuos de combustible, asfalto y otros materiales contaminantes. (The International Plant Names Index [IPNI], 2015). Las actividades humanas liberan de 3 a 10 veces más cadmio al medio ambiente que los procesos naturales. En los últimos años la contaminación de este mineral se ha incrementado debido a actividades industriales como la minería y fundición, uso y refinación de cadmio, quema de combustibles fósiles, uso de fosfatos, fabricación de baterías, producción de cemento, etc., cemento, tintes y plásticos (Rodríguez-Serrano et al., 2008; Subero, 2013).

2.3.3 Cadmio en los suelos.

En un trabajo dinámico de cadmio en el suelo que se cultiva con papas en Nario, Colombia, los autores concluyeron que el mayor contenido de cadmio en la superficie (0 - 13 cm) y más del 95 % en una profundidad de 0 a 25 cm, Esto es quizás por el contenido de la materia orgánica. (Insuasty et al., 2006). El cadmio es un elemento no esencial que no abunda en la corteza terrestre y en bajas concentraciones puede ser tóxico para todos los seres vivos (Rodríguez-Serrano et al., 2008). Tiene un tiempo de residencia en el suelo que va desde los 15 hasta los 1100 años, por lo que es claro que esto es una complicación tanto a corto como a largo plazo y la necesidad de prevenir o reducir la contaminación. (Isaura, 2010; Rueda et al., 2011).

El primordial tipo de cadmio en la solución del suelo es el Cd^{2+} , pero este metal puede formar complejos iónicos y complejos orgánicos. En soluciones de suelo los tipos de cadmio serán los siguientes: suelos ácidos: Sulfato de cadmio y Cloruro de cadmio, suelos alcalinos: Cloruro de cadmio, Sulfato de cadmio y Oxido dinitrato de cadmio (Gonzales, 2010; Subero, 2013). Algunos países consideran un valor máximo de 2 mg/kg de cadmio total, cuyo valor para terrenos agrícolas se considera “normal”. La concentración máxima permitida en suelos agrícolas de los países de la unión europea (UE) en lugar de 3 mg/kg (Miranda et al. 2008). Es importante señalar que un contenido total de cadmio en el suelo superior a 3 mg/kg se considera fitotóxico según los datos proporcionados por el Comité Conjunto Organización Mundial de la Salud/Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (OMS/FAO, 1992; Insuasty et al., 2006; Barragán, 2008). El cadmio es un metal pesado que puede llegar a la superficie terrestre de forma natural o a través de la actividad humana. No existe en la naturaleza en estado puro. La actividad

volcánica es la principal fuente natural de liberación de cadmio a la atmósfera, y las rocas sedimentarias marinas y los fosfatos son otras fuentes naturales de este mineral (FAO, 2019).

2.3.4 Disponibilidad del cadmio en el suelo

Depende de su concentración en la solución del suelo y de su capacidad para liberar estos iones de la fase sólida a la solución, donde son absorbidos por las plantas. El cadmio está estrechamente relacionado con los minerales arcillosos, los óxidos de hierro y aluminio y la materia orgánica (Subero, 2013). La disponibilidad de cadmio en el suelo generalmente se considera alta en comparación con otros minerales debido a su alta solubilidad y al predominio de enlaces de baja energía con la fase sólida del suelo. Según Inés (2011), en la acumulación de minerales (cadmio, zinc, cobre, cromo, níquel y plomo) en los tipos de bilagonium chi, indicó que el cadmio es un factor inestable y biológico. Es un metal y un relanzamiento bajo con sales de carbonato.

2.3.5 Factores del suelo que afectan la acumulación del cadmio y su disponibilidad

Las reacciones del cadmio con cada composición del suelo dependerán de factores como la estructura del suelo, el pH del suelo, la materia orgánica, el contenido y tipo de arcilla, la capacidad de intercambio catiónico (CIC), los carbonatos y los óxidos de la tierra. (Rodríguez-Serrano et al., 2008; Subero, 2013). La textura del suelo es importante para la acumulación y estabilidad de los metales pesados, ya que el limo tiende a ser absorbido y retenido en el complejo de intercambio. Por el contrario, los suelos arenosos no pueden eliminar los metales pesados que se mueven rápidamente a través El suelo y las aguas subterráneas pueden causar contaminación. (Peris, 2006; Inés, 2011 y Subero, 2013). Uno de los principales determinantes de la absorción de cadmio en el suelo es el pH (Berry, 2006). Por encima de $\text{pH} = 6$, la absorción de cadmio aumenta rápidamente, pero esto depende de las características de la composición del suelo. En un estudio del efecto del pH en la captación y absorción de cadmio en 17 suelos (Oxisoles) de Brasil, con diferencias en propiedades físicas, químicas y minerales, se determinó que el pH del suelo aumenta a 4.5; 5.5 y 6.5 y se incubaron con solución de $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ durante 72 horas. El cadmio absorbido fue: 27% a pH 4.5, 35% a pH 5.5 y 55% a pH 6.5 (Subero, 2013).

La materia orgánica es otro componente del suelo que es activo en la absorción de cadmio y esta actividad está determinada no solo por la cantidad presente en el suelo, sino también y ciertamente por la composición del suelo (Isaura, 2010). Con un aumento en la CIC debido a un mayor contenido de materia orgánica, aumenta el número de grupos funcionales

responsables de la absorción de cadmio. Por lo tanto, cuanto mayor sea el número de CIC, más estable será el metal (Subero, 2013). La presencia de carbonatos en el suelo también afecta la retención de minerales (Inés, 2011).

2.3.6 Cadmio en las plantas

Las proteínas responsables de la entrada de cadmio en las células vegetales incluyen el transportador de calcio LCT1 y la proteína IRT1. El cadmio se acumula principalmente en las raíces, es secuestrado en las vacuolas celulares y sólo una pequeña parte es transferida a las partes aéreas de la planta, concentrándose en orden decreciente en los tallos, hojas, frutos y semillas. (Rodríguez-Serrano et al., 2008). El cadmio también puede ingresar a otros medios minerales como Ca^{2+} , Fe^{2+} y Zn^{2+} que, una vez movilizados, son capturados por las células madre, donde se adhieren inicialmente a la pared celular y luego son transportados a la epidermis por iones. Comparte con el resto del árbol. (Pernía et al., 2008). Algunos minerales y oligoelementos no son esenciales para la absorción, el transporte y la síntesis de las plantas porque exhiben un comportamiento electroquímico similar al de los nutrientes esenciales (Miranda et al., 2008). El cadmio se considera un elemento reemplazable en plantas superiores debido a su alta biodisponibilidad. Por otro lado, la capacidad de las plantas para absorber y distribuir minerales varía entre especies, ya que la acumulación de cadmio en el lino se detecta en la siguiente secuencia: raíces > tallos > hojas > flores; Además, en el cáñamo, el orden es: flor > raíces > tallo > hojas (Inés, 2011). Todas las plantas absorben minerales del suelo en el que se encuentran, pero varía entre plantas y regiones. Ellos cambian. en mayor o menor grado, según el tipo y características de la planta) y la concentración de minerales en el suelo (Prieto et al., 2009).

2.3.7 Efectos tóxicos del cadmio sobre las plantas

Sin embargo, el mecanismo de toxicidad se ha estudiado ampliamente y aún no se comprende por completo. El cadmio interfiere en la entrada, transporte y uso de elementos esenciales (calcio, magnesio, fósforo y potasio) y agua, provocando desequilibrios de nutrientes y agua en las plantas (Miranda et al., 2008). Muestra cambios en la apertura de la boca, la fotosíntesis y la sudoración. (Rodríguez-Serrano et al., 2008). Puede desplazar el ion Mg en la molécula de clorofila, imposibilitando la captura de fotones, lo que conduce a una pobre actividad fotosintética (Pernía et al., 2008). También reduce la absorción y transferencia de nitrato de la raíz al tallo. La ictericia es el síntoma más común del envenenamiento por cadmio causado por deficiencia de hierro, fosfato o manganeso. El estudio fue realizado por Prieto et al. (2009), se verificó la capacidad de aumentar la absorción de cadmio en plantas

como rábanos y zanahorias. Estos autores muestran que las concentraciones más altas de minerales se acumulan en las hojas de remolacha, lo que provoca el marchitamiento de las hojas y la reducción de la longitud y la biomasa de las raíces; También se ha informado un acortamiento de la raíz similar para las zanahorias.

2.3.8 Efectos del cadmio en la salud humana

El cadmio afecta a varios órganos y tejidos como: los riñones (causando disfunción tubular, proteinuria e insuficiencia renal crónica) y el corazón (causando aterosclerosis de las arterias coronarias, aumento del colesterol y acidez). grasa), hueso, placenta, sistema nervioso central y periférico (Nava y Méndez, 2011). La población está expuesta al cadmio principalmente de dos formas: bebiendo agua y comiendo alimentos contaminados con cadmio (hojas, granos, frutas, pescado, órganos de animales); el segundo método es a través de la inhalación de partículas de cadmio. El cadmio viaja en la sangre y se distribuye principalmente en el hígado y los riñones, y la vida media en humanos oscila entre 17 y 30 años. Los pulmones son altamente susceptibles a la exposición al cadmio, y la inhalación subaguda crónica puede causar bronquitis con daño alveolar progresivo, fibrosis secundaria y enfisema (Isaura, 2010; Nava y Méndez, 2011). El cadmio tiene efectos tóxicos sobre los riñones, el esqueleto y el sistema respiratorio. Además, está clasificado como carcinógeno humano (OMS, 2019).

2.4. Estudios de incubación para contaminar suelos con cadmio

Insuasty et al. (2006), en su artículo “Cadmio migratorio en suelos de coníferas, Columbia”. Se aplicaron fracciones de cadmio de 0, 50, 100 y 150 ppm y se incubaron durante cuatro meses para retener la humedad en un amplio rango. Llegaron a la conclusión de que un menor contenido de cadmio y menos del 50% del cadmio total utilizado se convirtió en parte del cadmio reemplazable en el suelo.

Insuasty et al. (2007), en su trabajo de “*Dinámica del cadmio en el suelo cultivado con papa, Colombia*”. Incubaron suelos con cloruro de cadmio en niveles de 0, 50, 100 y 150 ppm. Concluyendo que en todos los suelos la mayor concentración de cadmio intercambiable se encuentra en la parte superficial del suelo.

Sánchez et al (2011), en su trabajo de “*Cadmio disponible en dos suelos de Venezuela: efecto del fósforo*”. El estudio se realizó en dos suelos venezolanos de uso agrícola. Estos suelos presentaban diferentes tipos de cultivos: caña de azúcar y pastos. Los suelos se enriquecieron artificialmente con unos niveles de cadmio equivalente al 70 % de la capacidad

máxima de adsorción de los suelos, bajo condiciones controladas de humedad. Se utilizó cloruro de cadmio (CdCl_2 con 76,02 % de cadmio) como fuente de cadmio y fosfato diamónico $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$. Concluyeron que después de 32 días de incubación con unos niveles de cadmio de 250 mg.kg^{-1} , y con el tratamiento sin fósforo, solamente quedó un 9 % y 13 % de cadmio disponible, mientras que en los suelos fertilizados con fosforo solo quedó un 8 % y 12 % de los niveles de cadmio aplicada inicialmente.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Lugar de ejecución

El presente trabajo se desarrolló en la Facultad de Agricultura de la Universidad Nacional Agraria de La Selva (UNAS), ubicada en la ciudad de Tingo María, Provincia Rupa Rupa, Provincia Leoncio Prado, Región Huánuco, con coordenadas UTM 390529 m E y 8970043 m N, elevación 658 m sobre el nivel del mar.

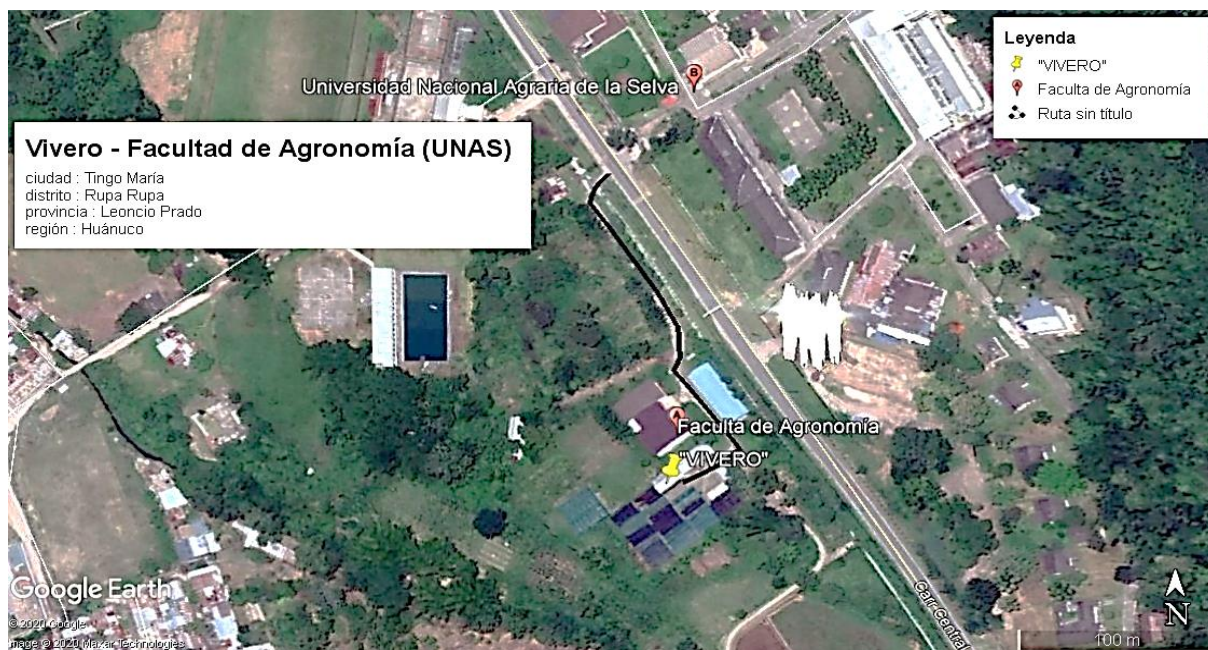


Figura 1. Ubicación del campo experimental (google earth, 2022)

Para el estudio se seleccionó dos tipos de suelo (aluvial y residual), se extrajo 150 kg de cada lugar, una vez seco y cernidos los suelos, se llenó las bolsas de 1.5 kg cada uno, posteriormente se adicionó 5 niveles de cadmio (2, 4, 6, 8 10 ppm), para tal efecto se usó sulfato de cadmio ($CdSO_4$) como fuente contaminante, una vez adicionado el cadmio a cada bolsa según los tratamientos, se dejó en reposo por 45 días. Para el desarrollo del trabajo fue necesario el uso de semillas de cacao CCN-51, costales, pala, bolsas de polietileno, regla, vernier, libreta de campo, lapicero, marcadores, regadora, vasos graduados, probetas graduadas, cámara, balanza, entre otro.

3.2. Material y métodos

3.2.1. Análisis físico químico inicial del suelo

El análisis físico químico inicial de los dos suelos seleccionados para el estudio (Tabla 1), se observa suelos con clase textural franco arenoso (aluvial) y franco arcilloso (Residual), según Rucks et al. (2004), los suelos francos son de textura ideal, porque tiene una

mezcla equilibrada de arena, limo y arcilla, además supone un equilibrio entre permeabilidad y retención de agua y de nutrientes. Asimismo, observamos un pH de 7.04 y 5.15, denominados suelos alcalino y ácido (Piedrahíta, 2009 y Sadeghian, 2016). Respecto al porcentaje de materia orgánica (M.O.), observamos valores de 3.97 y 3.18 %, suelo con contenido de M.O mayor de 2.5 % se considera alto refiere Andrade y Martínez (2014). Se observa un contenido de fósforo disponible de 9.26 y 13.94 ppm, según Pellegrini (2017), señala que valores menores de 10 ppm, es bajo y de 10 a 15 ppm alto, según Guerrero (2012), los valores de K₂O menores a 120 ppm son considerada bajo y mayores de 240 ppm de K₂O considerado alto 135.94 y 163.38 ppm, es decir los suelos en estudio presentan bajo contenido de K₂O. Con respecto a los contenidos de Ca y Mg se observa valores de 6.18, 4.12, 1.90 y 0.89 Cmol (+)/kg. Valores que se consideran medios, estimaciones propuestas por CIC fueron manifestadas por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA, 1992); citado por Sadeghian (2012), hacen referencia que para Ca valores menores de 3 Cmol (+)/kg es bajo, de 3 a 6 Cmol (+)/kg medio y mayores de 6 Cmol (+)/kg altos. Y para Mg valores menores a 1.5 Cmol (+)/kg bajo, 1.5 a 2.5 Cmol (+)/kg medio y mayores de 2.5 Cmol (+)/kg altos. Además, se observa 100 % de bases cambiables.

Tabla 1. Análisis físico químico de los suelos en estudio.

Parámetros	Suelo aluvial	Suelo residual	Método empleado
Textura	Franco arenoso	Franco arcilloso	Triangulo textural
pH (1:1)	7.04	5.15	Potenciómetro
M.O. (%)	3.97	3.18	Walkey y Black
N – total (%)	0.20	0.05	% M.O. x 0.05
P (ppm)	9.26	13.94	Olsen Modificado
K ₂ O (ppm)	135.94	163.38	Acetato de amonio
Ca cambiable (Cmol ⁽⁺⁾ /kg)	6.18	4.12	EAA
Mg cambiable (Cmol ⁽⁺⁾ /kg)	1.90	0.89	EAA
K cambiable (Cmol ⁽⁺⁾ /kg)	0.19	--	EAA
Na cambiable (Cmol ⁽⁺⁾ /kg)	0.04	--	EAA
CIC (Cmol ⁽⁺⁾ /kg)	8.31	5.01	Suma de cationes
Al cambiable (Cmol ⁽⁺⁾ /kg)	0.00	0.08	-
H cambiables (Cmol ⁽⁺⁾ /kg)	0.00	0.11	-
Saturación de bases cambiables (%)	100.00	1.61	-
Cd ppm	1.55	2.26	EAA

3.2.2. Metodología

Componentes en estudio

- **Factor A (tipos de suelo)**

- a₁ = Suelo aluvial

- a_2 = Suelo residual
- **Factor B (Niveles de cadmio)**
 - b_1 = 0 ppm Cd
 - b_2 = 2 ppm Cd
 - b_3 = 4 ppm Cd
 - b_4 = 6 ppm Cd
 - b_5 = 8 ppm Cd
 - b_6 = 10 ppm Cd

3.2.3. Tratamientos en estudio

Los tratamientos en estudio se muestran en el Tabla 2

Tabla 2. Descripción de los tratamientos en estudio

Clave	Tratamientos	Descripción
T ₀	a ₁ b ₁	Suelo aluvial + 0 ppm Cd
T ₁	a ₁ b ₂	Suelo aluvial + 2 ppm Cd
T ₂	a ₁ b ₃	Suelo aluvial + 4 ppm Cd
T ₃	a ₁ b ₄	Suelo aluvial + 6 ppm Cd
T ₄	a ₁ b ₅	Suelo aluvial + 8 ppm Cd
T ₅	a ₁ b ₆	Suelo aluvial + 10 ppm Cd
T ₆	a ₂ b ₁	suelo residual + 0 ppm Cd
T ₇	a ₂ b ₂	suelo residual + 2 ppm Cd
T ₈	a ₂ b ₃	suelo residual + 4 ppm Cd
T ₉	a ₂ b ₄	suelo residual + 6 ppm Cd
T ₁₀	a ₂ b ₅	suelo residual + 8 ppm Cd
T ₁₁	a ₂ b ₆	suelo residual + 10 ppm Cd

3.2.4. Diseño de investigación y características

Se utilizó un Diseño Completo al Azar (DCA) con arreglo factorial de 2A X 6B, conformado por dos tipos de suelo (Aluvial y residual) y seis niveles de cadmio (0, 2, 4, 6, 8 y 10 ppm) haciendo un total de doce tratamientos y cuatro repeticiones. Se realizó un análisis de variancia y en el caso que haya significancia estadística, se realizara una prueba de comparación múltiple (DGC) $\alpha=0,05$.

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \delta_k + \epsilon_{ijk}$$

Donde

Y_{ijk} = Es la respuesta obtenida en el k-ésimo repetición, a la que se aplicó el j-ésimo niveles de cadmio, en el i-ésima tipo de suelo

- μ = Efecto de la media general.
- τ_i = Efecto de la i-ésima tipo de suelo
- β_j = Efecto del j-ésimo niveles de cadmio.
- $(\alpha\beta)_{ij}$ = Efecto de la interacción del j-ésimo niveles de cadmio con el i-ésima tipo de suelo
- ε_{ij} = Efecto aleatorio del error experimental asociado a dicha observación.

Para:

$i = 1$ y 2 tipos de suelo.

$j = 0, 2, 4, 6, 8$ y 10 niveles de cadmio

$K = 1, 2, 3, 4$ repeticiones

3.2.5. Esquema del análisis de variancia (ANVA)

El esquema del análisis estadístico se presenta el Tabla 4.

Tabla 3. Esquema del análisis de variancia (ANVA)

Análisis de varianza	GL	SC	CM	Fcal
Suelo (A)	GLA	SCA	CMA	CMA/CMee
Cadmio (B)	GLB	SCB	CMB	CMB/CMee
Suelo (A) x Cadmio (B)	GLAxB	SCAxB	CMAxB	CMAxB/CMee
Error experimental	GLee	SCee	CMee	
Total	GLT	SCT		

3.2.6. Conducción del experimento

- **Selección de los suelos**

Se seleccionó suelo con cultivo de cacao, aluvial y residual, de cada parcela se extrajo 150 kg de suelos, se trasladó al vivero de la Facultad de Agronomía (UNAS), se secó bajo sombra, después se molió, luego se tamizo a 2 x 2 mm con la finalidad de eliminar todos residuo como pierdas y raíces.

- **Llenado de las bolsas**

Una vez tamizado, se realizó el llenado de las bolsas (1.5 kg), con las manos presionando ligeramente para que quede compactado y rígido, para evitar caída de las bolsas.

- **Adición de cadmio**

Para ello se utilizó sulfato de cadmio ($3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$); se pesó 2.2820 g y se disolvió en un litro de agua destilada, obteniendo una concentración de 1000 ppm de

cadmio. Una vez preparada la solución se procedió a hacer los cálculos para contaminar cada bolsa según los niveles planteadas (suelo*cadmio/1000 ppm), siendo 3, 6, 9, 12 y 15 ml de cadmio concentrado; luego se determinó el porcentaje de capacidad de campo, los resultados fueron para suelo aluvial 19 % y suelo residual 27 %, calculando la necesidad de agua salió 285 y 405 respectivamente. Teniendo todos los cálculos se adicionó el cadmio en cada bolsa y se dejó en reposo por 45 días.

- **Obtención y pre-germinación de semillas**

Las semillas se extrajeron de frutos de cacao CCN-51, grandes sanos y maduros, las semillas de ambos extremos fueron descartadas, el mucilago se limpió con aserrín fino, el pregerminado se realizó en aserrín húmedo, al tercer día salió su radícula las cuales fueron instalados. La parcela seleccionada para la semilla fue de un socio de la Cooperativa Agroindustrial Cacao Alto Huallaga (Tingo María).

- **Siembra de las semillas en las bolsas**

Una vez realizado el pregerminado y cumplido los 45 días de incubación, se escogió las semillas con buena radícula, se depositó en cada bolsa una semilla con la radícula perpendicular al sustrato, luego se cubrió cada semilla al ras de cada suelo.

- **Riego y sombra**

El riego se realizó cada tres días con una regadora, el experimento de desarrolló bajo sombra.

3.2.7. Variables para evaluar

- **Altura de la planta**

Esta variable se midió a los 30, 60, 90 y 120 días después de haberse realizado la siembra, se midió cada unidad experimental, la medición se realizó desde el cuello de la planta (nivel del sustrato) hasta la yema terminal visible (meristemo apical), midiendo en cm con una regla graduada de 50 cm.

- **Diámetro del tallo**

Esta variable se efectuó a los 30, 60, 90 y 120 días después de haberse realizado la siembra. Se realizó las medidas del cuello de la plántula a 3 cm del sustrato contenido en las bolsas plásticas; para esta medida se empleó un vernier digital.

- **Análisis de cadmio en suelo**

Después de 120 días se realizó la cosecha de plántones. Los análisis de cadmio disponibles en suelo, se utilizó el extractante EDTA 0.05M pH 7 usado por Sánchez *et*

al. (2011). Para la extracción de cadmio total fue el método 3050 de la USEPA usado por González *et al.* (2010).

- **Análisis de cadmio en plantones de cacao**

En el caso de los plantones, se separó las raíces, tallos y hojas. El análisis del cadmio total por medio de digestión ácida (nítrico-perclórico) multi-elemento para análisis de tejidos obteniéndose un extracto a ser leído en el Espectrofotómetro de Absorción Atómica (Zasoski y Burau 2008).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Plantones de cacao

4.1.1. Altura

En el análisis de varianza, respecto a la altura de plantones de cacao clon CCN-51 evaluado a los 120 días, bajo el efecto de niveles de cadmio en dos tipos de suelo (Tabla 4), se observa que no hay diferencias significativas en los efectos simples y tampoco en el efecto principal tipo de suelos; pero si se observa diferencias estadísticas en el efecto principal, niveles de cadmio, ya que se observa un valor de significancia menor a lo planteado $\alpha = 0.05$, es decir que al menos un nivel de cadmio aplicado al suelo es estadísticamente diferente. El coeficiente de variación (C.V.) fue 10.80 %, considerando como variación media, durante el desarrollo del experimento, según lo señalado por Pimentel (1985), citado por Gordón y Camargo (2015) quien consideran al C.V. bajos cuando son inferiores a 10 %; medios de 10 a 20 %, altos cuando van de 20 a 30 % y muy altos cuando son superiores a 30 %. Asimismo se observa un coeficiente de determinación (R^2) de 0.44, este valor nos indica la dependencia de altura de plantones de cacao por efecto de los factores en estudio, lo cual indica que la altura de plantones de cacao depende del 44 % por efecto de los factores en estudio y más del 50 % por otros factores, es decir, no hay un efecto de los factores, en cuanto al altura de las plantas de cacao, según Di Rienzo et al. (2008) refieren que el coeficiente de determinación oscila entre 0 a 1 % valores cercanos a la unidad habrá mayor efecto de los factores, es probable que la baja dependencia de los factores, influya para que no se muestre diferencias estadísticas en la interacción de factores.

Tabla 4. Análisis de variancia ($\alpha=0,05$) para altura de plántulas de cacao.

Análisis de varianza	G.L.	C.M.	F cal	p-valor
Suelo (A)	1	15.99	1.22	0.28
Cadmio (B)	5	38.45	2.92	0.03
Suelo (A) x Cadmio (B)	5	32.20	2.45	0.05
Error experimental	36	13.15		
Total	47			
C.V. (%)	10.80			
R^2	0.44			

Ante la no existencia de diferencias estadísticas del análisis de varianza respecto a los efectos simples y efecto principal tipos de suelo, no es necesario realizar la prueba múltiple de DGC ($\alpha=0.05$); pero si al efecto principal niveles de cadmio, ya que nos permite

conocer las diferencias existentes respecto a la altura de plántones de cacao (Tabla 7), se observa dos grupos definidos, siendo los tratamientos con 6 y 0 ppm de cadmio estadísticamente iguales y ocupan la mayor altura de plántones de cacao, 36.48 y 35.93 cm, en comparación con los tratamientos de 2, 8, 4 y 10 ppm de cadmio incorporados al suelo, ya que, se muestran iguales estadísticamente y además, con menor altura de plántones. Al determinar mayor altura donde no se aplicó cadmio (0 ppm), indica que no hay un efecto positivo en cuanto a la altura de plántones de cacao por efecto de los niveles de cadmio, es más, los resultados nos muestran un efecto negativo.

Tabla 5. Altura de plántones de cacao por efecto de seis niveles de cadmio (media \pm error estándar).

Niveles de cadmio	Altura de plántones de cacao	Sig.
6 ppm	36.48 \pm 1.28	a
0 ppm	35.93 \pm 1.28	a
2 ppm	33.11 \pm 1.28	b
8 ppm	32.69 \pm 1.28	b
4 ppm	32.59 \pm 1.28	b
10 ppm	30.73 \pm 1.28	b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes.

Según Chupillón (2017), manifiesta que el cadmio no afecta en cuanto a la altura de plántones de cacao, referencia que coincide con el estudio ya que cuando se aplicó 6 ppm de cadmio los plántones de cacao alcanzaron mayor altura 36.48 cm. Además, que los efectos de las concentraciones de cadmio son evidentes sobre el desarrollo de las plantas, hay una relación directa entre las concentraciones de cadmio y los efectos en los plántones de cacao, por su parte James, (2002) precisó que el cadmio es uno de los pocos metales que se degrada y representa una amenaza para los suelos debido al transporte secundario y las bajas concentraciones dañinas para las plantas. Sabemos que el cadmio está en las raíces de las plantas o viaja por el aire con otros elementos, hasta ahora no sabíamos si tenía alguna función en las plantas. Al respecto Fortis (2009) refieren que el cadmio tiene un efecto negativo en la biomasa seca radicular, impidiendo la absorción de los elementos del suelo, asimismo, Correa (2018) determinó que el cadmio disminuye en un 82.28 y 76 % en las raíces. No está comprobado cuanto afecta el cadmio en el tamaño de plantas, pero si se ha determinado deficiencias nutricionales como es el caso de clorosis, según Benavides et al. (2005) Uno de los síntomas más extendidos de la toxicidad por cadmio es la clorosis producida por una deficiencia de

hierro. Por otra parte, Abanto (2016) manifiesta que los síntomas causados por el exceso de metales en las plantas son clorosis y achaparramiento.

4.1.2. Diámetro

En el análisis de varianza para diámetro de plántulas de cacao, evaluado a los 120 días después de la instalación, bajo el efecto de niveles de cadmio y dos tipos de suelo (Tabla 6), se observa diferencias estadísticas respecto a los efectos simples (Suelo x Cadmio), toda vez que se observa un valor de significancia menor al planteado ($\alpha=0.05$), es decir que al menos una combinación de los factores es diferente estadísticamente. Respecto a los factores principales, se observa que no hay diferencias estadísticas ya que los valores de significancia son mayores al planteado ($\alpha=0.05$), es decir, los tipos de suelo y niveles de cadmio por sí solos son iguales estadísticamente. El coeficiente de variación (C.V.) fue 8.39 %, considerado baja variación de los datos durante el desarrollo del experimento, ya que, Pimentel (1985), citado por Gordón y Camargo (2015) señala que el C.V. inferiores a 10 % es considerado bajo; medios de 10 a 20 %, altos cuando van de 20 a 30 % y muy altos cuando son superiores a 30 %. Asimismo, se observa un coeficiente de determinación (R^2) de 0.35 %, este valor explica la dependencia de los resultados por efecto de los tratamientos, es decir que solo el 35 %, el diámetro de tallos se da por efecto de las combinaciones de los factores y 65 % por otros factores; según Di Rienzo et al. (2008) refieren que el coeficiente de determinación oscila entre 0 a 1, valores cercanos a la unidad, los resultados muestran mayor dependencia por efecto de los tratamientos.

Tabla 6. Análisis de variancia ($\alpha=0,05$) para diámetro de plántulas de cacao

Análisis de varianza	G.L.	C.M.	F cal	p-valor
Suelo (A)	1	0.00	0.00	0.99
Cadmio (B)	5	0.48	10.57	0.40
Suelo (A) x Cadmio (B)	5	12.91	2.86	0.03
Error experimental	36	0.45		
Total	47			
C.V.	8.39			
R^2	0.35			

Al existir diferencias estadísticas de los efectos simples (Suelo x Cadmio) se procedió a realizar la prueba de comparación múltiple, DGC ($\alpha=0.05$), con la finalidad de conocer las diferencias existentes respecto al tipo de suelo sobre los niveles de cadmio (A en b) y niveles de cadmio sobre tipos de suelo (B en a), para diámetro de plántulas

de cacao. La interacción entre tipos de suelo sobre niveles de cadmio (Tabla 7) se determinó dos grupos estadísticamente diferentes en suelo aluvial, siendo los niveles de cadmio 0, 10, 4 y 2 ppm iguales estadísticamente, pero diferentes a los niveles de cadmio de 8 y 6 ppm de cadmio, que además muestran los menores diámetros de tallo de plantones de cacao. Asimismo, se observa que el tipo de suelo residual sobre los niveles de cadmio es estadísticamente igual, lo que significa que no hay un efecto positivo para diámetro de plantones de cacao en la combinación de suelo residual con niveles de cadmio.

Tabla 7. Interacción de tipos de suelo sobre niveles de cadmio en diámetro de tallo de plantones de cacao (media \pm error estándar).

Suelo (A)	Cadmio (b)	Diámetro (mm)	Sig.
Aluvial	0 ppm	8.62 \pm 0.33	a
	10 ppm	8.59 \pm 0.33	a
	4 ppm	8.10 \pm 0.33	a
	2 ppm	8.05 \pm 0.33	a
	8 ppm	7.43 \pm 0.33	b
	6 ppm	7.21 \pm 0.33	b
Residual	8 ppm	8.34 \pm 0.35	a
	10 ppm	8.25 \pm 0.35	a
	6 ppm	8.14 \pm 0.35	a
	2 ppm	7.97 \pm 0.35	a
	4 ppm	7.83 \pm 0.35	a
	0 ppm	7.46 \pm 0.35	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes

Respecto de la interacción entre, niveles de cadmio sobre tipos de suelo (Tabla 8), se observa diferencias estadísticas entre los tipos de suelo, mostrando mayor diámetro de tallo en suelo aluvial, pero no por efecto de cadmio adicionado al suelo, sino por efecto del tipo de suelo; ya que cuando se adiciono cadmio al suelo, se observa que no hay diferencias estadísticas entre los suelos en estudio, los niveles de cadmio incorporados al suelo no presentan efecto estadístico en el diámetro de tallo de patones de cacao. Al respecto Correa (2018) manifiesta, el uso de cadmio no presenta efectos significativos en el crecimiento de plantones de cacao, estos dependen de la disponibilidad de los elementos del sustrato, por lo tanto, el diámetro de plantones de cacao en el experimento estaría dependiendo del contenido de nutrientes de los suelos (Tabla 3). Además, las variaciones de diámetro suceden según lo

manifestado por Azpilicueta et al. (2010) la materia orgánica del suelo reduce el efecto de los metales tóxicos (cadmio) debido a sus propiedades aminoacídicas; Este efecto aumenta los iones disponibles en la solución del suelo y los absorbe fácilmente para reducir los efectos tóxicos que mencioné Llugany et al. (2007).

Tabla 8. Interacción de niveles de cadmio sobre tipos de suelo en diámetro de tallo de plántones de cacao (media \pm error estándar).

Cadmio (B)	Suelo (a)	Diámetro (mm)	Sig.
0 ppm	Aluvial	8.62 \pm 0.32	a
	Residual	7.46 \pm 0.32	b
10 ppm	Aluvial	8.59 \pm 0.21	a
	Residual	8.25 \pm 0.21	a
2 ppm	Aluvial	8.05 \pm 0.31	a
	Residual	7.97 \pm 0.31	a
4 ppm	Aluvial	8.10 \pm 0.25	a
	Residual	7.83 \pm 0.25	a
6 ppm	Residual	8.14 \pm 0.51	a
	Aluvial	7.21 \pm 0.51	a
8 ppm	Residual	8.34 \pm 0.33	a
	Aluvial	7.43 \pm 0.33	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes

4.2. Cadmio en suelo

4.2.1. Análisis de cadmio total

En el análisis de varianza, respecto al contenido de cadmio total en suelo, bajo el efecto de seis niveles de cadmio y tipos de suelo. Se observa que no hay diferencias estadísticas significativas en la interacción (Suelo x Cadmio), ya que el valor de significancia es mayor al planteado ($\alpha=0.05$). Pero si se observa diferencias estadísticas en los factores principales, ya que se muestra un valor de significancia menor al planteado ($\alpha=0.05$); es decir, al menos un factor en estudio es estadísticamente diferente en cuanto a los niveles de cadmio total en suelo (Tabla 9). EL coeficiente de variación (C.V.) fue 3.76 %, según Pimentel (1985), citado por Gordón y Camargo (2015) señala que el C.V. inferiores a 10 % es considerado bajo. Tomando esta referencia podemos manifestar que los datos, presenta una variación baja en el análisis de cadmio total al suelo. El coeficiente de determinación (R^2), determina la dependencia de los

resultados por efecto de los factores y oscila entre 0 a 1 (Di Rienzo et al., 2008), se determinó valor de R^2 de 0.99, lo que indica el contenido de cadmio total en el suelo depende del 99 % de los factores en estudio y 1 % por otros factores que no se pudieron controlar.

Tabla 9. Análisis de variancia ($\alpha=0.05$) para cadmio total en suelo

Análisis de varianza	G.L.	C.M.	F cal	p-valor
Suelo (A)	1	18.05	248.60	<0.00
Cadmio (B)	5	119.10	1640.00	<0.00
Suelo (A) x Cadmio (B)	5	0.01	0.19	0.97
Error experimental	36	0.07		
Total	48			
C.V.	3.76			
R^2	0.99			

Ante la existencia de diferencias estadística, en los factores principales, se procedió a realizar la prueba de comparación múltiple a través de DGC ($\alpha=0.05$), la finalidad es conocer las diferencias existentes respecto al contenido de cadmio total en dos tipos de suelo por efecto de seis niveles de cadmio incorporados al suelo. En el factor principal tipos de suelo, se observa mayor contenido de cadmio total en suelo residual, además es estadísticamente diferente al suelo aluvial, presentan valores promedios de 7.79 y 6.56 ppm (Tabla 10). El contenido de cadmio total en el suelo está en función al material parental o antropogénico, en este caso a las dosis de cadmio adicionados al suelo y a las composiciones del suelo, para retener dicho metal; según González et al. (2011), manifiesta que los metales pesados se encuentran unidos a los diferentes componentes sólidos del suelo, los cuales de acuerdo con sus características fisicoquímicas presentan diferente disponibilidad (cambiable e intercambiable). La cantidad de cationes intercambiables en un suelo dependerá del tipo y cantidad del mineral presente en el mismo, asimismo, Martínez (2015) hace referencia que las propiedades del suelo proporcionan condiciones favorables para la acumulación de metales, de acuerdo a los altos contenidos de M.O., arcilla y CIC; estas propiedades causan retención, fijación e inmovilización de metales pesados, el alto contenido de cadmio total, está relacionado al cadmio adsorbido fuertemente en los coloides del suelo. Según el resultado de nuestra investigación podemos decir que el suelo arcilloso retiene mayor contenido de cadmio por su composición. El análisis físico químico inicial del suelo, se muestra mayor contenido de M.O. en suelo aluvial, siendo esto una característica para determinar menor contenido de cadmio en este tipo de suelo, ya que según los resultados de

su trabajo de Huaynates (2013) demostró que la aplicación de abonos orgánicos disminuyó la concentración de cadmio total en el suelo por efecto del contenido de M.O.

Tabla 10. Prueba de DGC ($\alpha=0.05$) para cadmio total en suelo (media \pm error estándar).

Tipos de suelo	Cadmio total	Sig.
Residual	7.79 \pm 0.06	a
Aluvial	6.56 \pm 0.06	b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes

Respecto al factor principal, niveles de cadmio (Tabla 11), se observa diferencias estadísticas en todos los niveles, en primer lugar se encuentra el nivel de 10 ppm de cadmio y se diferencia estadísticamente de los niveles 8, 6, 4, 2 y 0 ppm de cadmio, en segundo lugar se observa al nivel de 8 ppm de cadmio y se diferencia de los niveles 6, 4, 2 y 0 ppm de cadmio; en tercer lugar se encuentra el nivel de 6 ppm de cadmio y es diferente estadísticamente de los niveles 4, 2 y 0 ppm de cadmio; en cuarto lugar se ubica el nivel de 4 ppm de cadmio y se diferencia de los niveles 2 y 0 ppm de cadmio; en quinto lugar se ubica el nivel de 2 ppm de cadmio y es diferente estadísticamente al nivel 0 ppm de cadmio, que además es el nivel que presenta menos contenido de cadmio total en el suelo.

Tabla 11. Prueba de DGC ($\alpha=0,05$) para cadmio total en suelo (media \pm error estándar).

Niveles de cadmio	Cadmio total	Sig.
10 ppm	12.35 \pm 0.10	a
8 ppm	10.30 \pm 0.10	b
6 ppm	8.19 \pm 0.10	c
4 ppm	6.09 \pm 0.10	d
2 ppm	4.03 \pm 0.10	e
0 ppm	2.09 \pm 0.10	f

Medias con una letra común no son significativamente diferentes

Mientras los niveles de cadmio es mayor el contenido de cadmio total en el suelo es mayor, lo que indica, es que este metal es acumulativo y se tiene que tener en cuenta, para no contaminar el suelo usando productos que tengan niveles de cadmio altos, al respecto Charrupi y Martínez (2017) recomiendan a los agricultores revisar las prácticas agrícolas que están realizando con el fin de identificar el uso adecuado de los fertilizantes y su aplicación y de esta manera tener un control sobre estos para que no se presente acumulación de cadmio

4.2.2. Análisis de cadmio disponible

En el análisis de varianza para cadmio disponible en suelo, bajo el efecto de seis niveles de cadmio y tipos de suelo (Tabla 12), se observa que no hay diferencias estadísticas significativas en la interacción (Suelo x Cadmio), ya que el valor de significancia planteado es mayor ($\alpha=0.05$). Pero si se observa diferencias estadísticas en los factores principales, ya que se muestra un valor de significancia menor al planteado ($\alpha=0.05$); es decir, al menos un factor en estudio es estadísticamente diferente en cuanto a los niveles de cadmio disponible en suelo (Tabla 9). EL coeficiente de variación (C.V.) fue 21.34 %, según Pimentel (1985), citado por Gordón y Camargo (2015) señala que el C.V. es considerado medios de 10 a 20 %, tomando los valores de la referencia podemos manifestar que los datos, presenta una variación media en el análisis de cadmio disponible en el suelo. El coeficiente de determinación (R^2), determina la dependencia de los resultados por efecto de los factores y oscila entre 0 a 1, según Di Rienzo et al. (2008), el análisis de varianza muestra un valor de R^2 igual a 0.86, es decir el contenido de cadmio disponible en suelo depende de los factores en estudio en 86 % y 14 % por otros factores.

Tabla 12. Análisis de variancia ($\alpha=0.05$) para cadmio disponible en suelo

Análisis de varianza	G.L	C.M.	F cal	p-valor
Suelo (A)	1	27.61	43.52	<0.00
Cadmio (B)	5	22.52	35.48	<0.00
Suelo (A) x Cadmio (B)	5	1.12	1.77	0.14
Error experimental	36	0.63		
Total	47			
C.V.	21.34			
R^2	0.86			

Ante la existencia de diferencias estadística, en los factores principales, se procedió a realizar la prueba de comparación múltiple a través de DGC ($\alpha=0.05$), la finalidad es, conocer las diferencias existentes respecto al contenido de cadmio disponible en dos tipos de suelo por efecto de seis niveles de cadmio. En el Tabla 13, se observa que el tipo de suelo residual es estadísticamente diferente al tipo de suelo aluvial, que además muestra menor contenido de cadmio disponible en suelo. El alto contenido de cadmio disponible está relacionado al cadmio adsorbido débilmente a las características del suelo, así lo manifiestan González et al. (2011), También informaron que la fracción de cadmio disponible en el suelo es un mineral que se absorbe poco en la superficie del suelo sólido (arcilla, óxidos de hierro y manganeso, M.O.) y es retenido por las interacciones electrostáticas relativamente débiles del suelo y las semillas. Los metales pesados se reducen más fácilmente. En forma de solución en el suelo y disponible para la

absorción por las plantas. Según González et al. (2011) manifiestan que los metales pesado incorporados al suelo, se enlazan a las características del suelo mediante fuerzas electrostáticas y cuando estas fuerzas son débiles, Los metales se pueden transferir o eliminar mediante reacciones de intercambio básico, como un cambio en la fuerza iónica de una solución tampón, que también cambia el pH, lo que puede provocar que el metal migre; un indicador sería que el suelo residual presenta bajo contenido de CIC (ver Tabla 3), en la cual está influyendo para que el suelo residual presente mayor disponibilidad de cadmio.

Tabla 13. Cadmio disponible en dos tipos de suelo (media \pm error estándar).

Tipos de suelo	Cadmio disponible	Sig.
Residual	4.49 \pm 0.16	a
Aluvial	2.97 \pm 0.16	b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes

En el Tabla 14, se muestra tres grupos de cadmio disponible en el suelo, mostrándose en primer lugar al nivel de 10 ppm de cadmio incorporado al suelo, diferenciándose estadísticamente de los niveles de 8, 6, 4, 2 y 0 ppm, en segundo lugar, se ubican los niveles de 8, 6, 4 y 2 ppm de cadmio, que además son estadísticamente iguales y diferentes al nivel 0 ppm, donde no se incorporó cadmio al suelo. Los resultados indican que a niveles altos como 10 ppm de cadmio se muestra mayor disponibilidad, pero de 2 a 8 ppm de cadmio la disponibilidad no se diferencia estadísticamente, sin embargo, numéricamente hay mayor disponibilidad de cadmio a mayores niveles. Los metales pesados están ligados a diferentes componentes del suelo duro y tienen diferente disponibilidad dependiendo de sus propiedades físicas y químicas, según González et al. (2011), manifiestan que la cantidad de cationes intercambiables en un suelo dependerá del tipo y cantidad del mineral presente en el mismo; por su parte Sánchez (2013), manifiesta que las uniones electrostáticas entre cadmio y componentes del suelo, cuando son débiles, el metal está sujeto a sustitución de intercambio catiónico, mostrando mayor disponibilidad de cadmio, referencia que concuerda con los resultados ya se observa mayor concentración de cadmio incorporado al suelo, mayor contenido de cadmio intercambiable. También González et al. (2011), indican que los iones metálicos intercambiables son una medida de aquellos metales pesados que son liberados más fácilmente en la solución del suelo; además, Barba et al. (2008) determinan al cadmio disponible, principalmente como la fracción geoquímica más lábil de metales, favoreciendo la liberación de los metales, principalmente Pb, Zn y Cd.

Tabla 14. Cadmio disponible por efecto de seis niveles de cadmio adicionado la suelo (media \pm error estándar).

Niveles de cadmio	Cadmio disponible	Sig.
10 ppm	5.53 \pm 0.28	a
8 ppm	4.45 \pm 0.28	b
6 ppm	4.09 \pm 0.28	b
4 ppm	3.96 \pm 0.28	b
2 ppm	3.82 \pm 0.28	b
0 ppm	0.55 \pm 0.28	c

Medias con una letra común no son significativamente diferentes

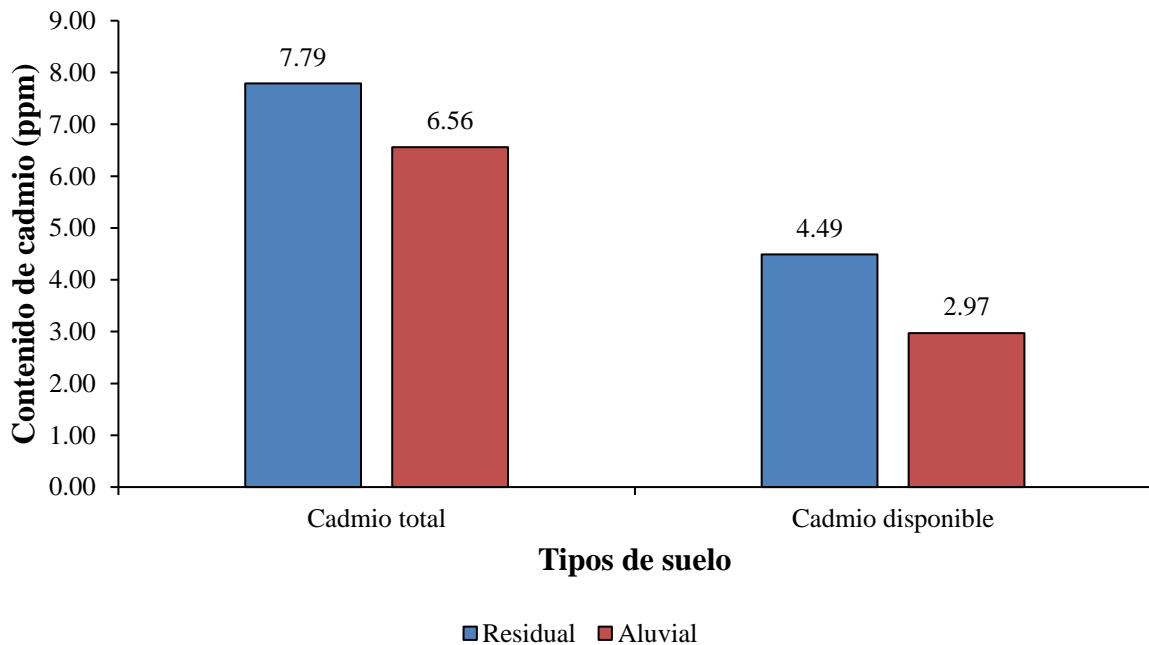


Figura 2. Contenido de cadmio total y disponible en dos tipos de suelo.

Tanto en cadmio total y disponible se determinó mayor contenido de cadmio en suelo residual (Figura 2); además, mayores concentraciones de cadmio, se determina cuando los niveles de cadmio incorporados al suelo fueron más altos. Las razones serán, las mencionadas por Sánchez (2013), los suelos arcillosos hay mayor disponibilidad de cadmio, y a mayor contenido de cadmio incorporado al suelo mayor concentración. En la Figura 3, se observa valores promedios de 7.79 y 6.56 ppm de cadmio total y 4.49 y 2.97 ppm de cadmio disponible. Los resultados muestran que al usar un producto que contenga cadmio, contamina al suelo en proporciones del contenido, asimismo los resultados muestran el 57.64 % y 45.27

% de disponibilidad respecto al total, indicando una vez más que la disponibilidad del cadmio está en función al tipo y características del suelo.

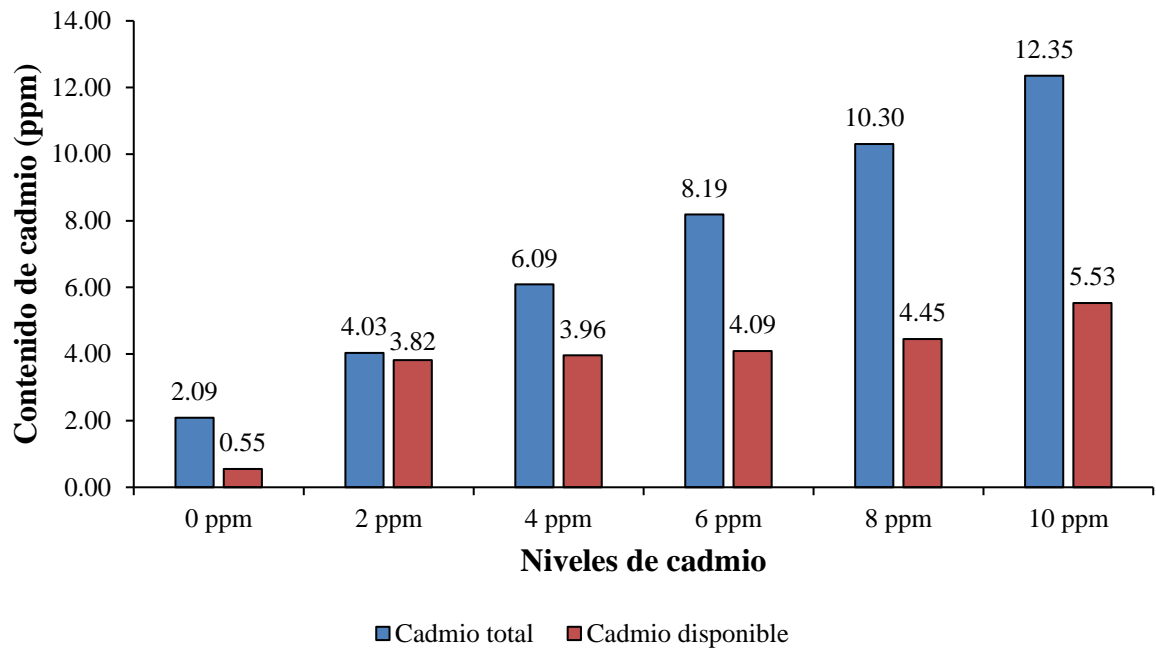


Figura 3. Contenido de cadmio total y disponible por efecto de niveles de camio incorporados al suelo.

En la Figura 3, se determina el contenido de cadmio total y disponible por efecto del cadmio incorporado al suelo, se determinó que, a mayor nivel de cadmio incorporado al suelo, mayor contenido de cadmio total, que va de 2.09 hasta 12.35 ppm de cadmio en promedio y el cadmio disponible desde 0.55 hasta 5.53 ppm en promedio. Dato importante es que la disponibilidad de cadmio respectó al total en algunos valores es más del 50 %. Según Insuasty (2007), manifiesta que el cadmio incorporado al suelo, analizado a los dos años el 95 % permease en el suelo a 25 cm de profundidad.

4.3. Cadmio en plántones de cacao.

4.3.1. Análisis de cadmio en raíz.

El análisis de varianza, respecto al contenido de cadmio en raíz de plántones de cacao por efecto de niveles de cadmio en dos tipos de suelos, se observa que no hay diferencias estadísticas en cuanto a la interacción de factores (Suelo x Cadmio), ya que el valor de significancia es mayor al planteado ($\alpha=0.05$); pero si se observa diferencias estadísticas en los factores principales, es decir que, el valor de significancia es menor al planteado

($\alpha=0.05$), lo que indica, al menos un factor en estudio es diferente estadísticamente (Tabla 15). El coeficiente de variación (C.V.) fue 21,05 % considerando alta variación en la toma de datos, según Pimentel (1985), citado por Gordón y Camargo (2015) señala que el C.V. considerado altos cuando van de 20 a 30 %. Además, se determina un coeficiente de variación (R^2) de 0.81, según Di Rienzo et al. (2008) refieren que el coeficiente de determinación indica la dependencia del efecto de los resultados por efecto de los factores, teniendo en cuenta lo manifestado podemos decir que, el contenido de cadmio en la raíz de plantones de cacao evaluados a los 120 días depende de 81 % y 19 % por otros factores.

Tabla 15. Análisis de variancia ($\alpha=0.05$) para cadmio en raíz de plantones de cacao.

Análisis de varianza	G.L.	C.M.	F cal	p-valor
Suelo (A)	1	31.31	40.26	<0.00
Cadmio (B)	5	15.86	20.40	<0.00
Suelo (A) x Cadmio (B)	5	1.21	1.56	0.19
Error experimental	36	0.78		
Total	47			
C.V.	21.05			
R^2	0.81			

Al determinarse diferencias estadísticas, de los factores principales se procedió a realizar la prueba de comparación múltiple, a través DGC ($\alpha=0.05$), la finalidad es profundizar las diferencias existentes, respecto al contenido de cadmio en raíz de plantones de cacao, evaluados a los 120 días después de la instalación. En el Tabla 16, se observa diferencias estadísticas entre los tipos de suelo en estudio, determinado mayor contenido de cadmio en suelo residual, el mayor contenido de cadmio en raíz está en función al contenido de cadmio disponible del suelo, es decir mayor contenido de cadmio disponible en el suelo mayor contenido de cadmio en raíz.

Tabla 16. Cadmio en raíz de plantones de cacao en dos tipos de suelo (media \pm error estándar).

Tipos de suelo	Cadmio en raíz	Sig.
Residual	5.00 \pm 0.18	a
Aluvial	3.38 \pm 0.18	b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes

Respecto a los niveles de cadmio incorporados al suelo, se observa que no hay diferencias estadísticas, a excepción del nivel donde no se aplicó cadmio al suelo (0

ppm) (Tabla 17). Los resultados nos indican que los plántones de cacao no concentran cadmio en sus raíces, más bien, el cadmio estaría siendo traslocado al tallo y hojas. Según González (2010), describe que el cadmio, es absorbido por las raíces de las plantas, pero no le concentra en ellas, así lo confirma Inés (2011), quien señala, que el cadmio, es considerado elemento fácil de translocar a la parte superior de las plantas. Los resultados indican que el cadmio sería un elemento móvil y no se concentra en las raíces de plántones de cacao, además esta concentración de cadmio en las raíces estaría en función a la especie vegetal. Por su parte Rodríguez (2007) manifiesta que la mayor parte de cadmio se encuentra en la vacuola de la célula de las raíces, lo que no sucede en plántones de cacao, según los resultados obtenidos.

Tabla 17. Cadmio en raíz de plántones de cacao por efecto de seis niveles de cadmio adicionados al suelo (media \pm error estándar).

Niveles de cadmio	Cadmio en raíz	Sig.
10 ppm	5.50 \pm 0.31	a
8 ppm	5.03 \pm 0.31	a
6 ppm	4.71 \pm 0.31	a
4 ppm	4.32 \pm 0.31	a
2 ppm	4.08 \pm 0.31	a
0 ppm	1.51 \pm 0.31	b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes

4.3.2. Análisis de cadmio en tallo

El análisis de varianza, respecto al contenido de cadmio en tallo de plántones de cacao por efecto de seis niveles de cadmio adicionados al suelo, en dos tipos de suelos, se observa que no hay diferencias estadísticas en cuanto a la interacción de factores (Suelo x Cadmio), ya que el valor de significancia es mayor al planteado ($\alpha=0.05$); pero si se observa diferencias estadísticas en los factores principales, es decir, el valor de significancia es menor al planteado ($\alpha=0.05$), lo que indica, al menos un factor en estudio es diferente estadísticamente (Tabla 18). El coeficiente de variación (C.V.) fue 15.78 % considerando variación medio durante la tona de datos, ya que Pimentel (1985), citado por Gordón y Camargo (2015) señala que el C.V. considerado medio cuando van de 10 a 20 %. Además, se determina un coeficiente de determinación (R^2) de 0.86, según Di Rienzo et al. (2008) refieren que el coeficiente de determinación indica la dependencia del efecto de los resultados, por efecto de los factores, teniendo en cuenta lo manifestado podemos decir que, el contenido de cadmio en tallo de plántones de cacao evaluados a los 120 días depende de 86 % y 14 % por otros factores.

Tabla 18. Análisis de variancia ($\alpha=0,05$) para cadmio en tallo de plantones de cacao.

Análisis de varianza	G.L	C.M.	F cal	p-valor
Suelo (A)	1	77.95	50.16	<0.00
Cadmio (B)	5	50.83	32.71	<0.00
Suelo (A) x Cadmio (B)	5	0.99	0.64	0.67
Error experimental	36	1.55		
Total	47			
C.V.	15.78			
R ²	0.86			

Al observar diferencias estadísticas en los factores principales se procedió a realizar la prueba de comparación múltiple, a través DGC ($\alpha=0.05$), la finalidad es ahondar las diferencias existentes, respecto al contenido de cadmio en tallo de plantones de cacao, evaluados a los 120 días después de la instalación. En el Tabla 19, se observa diferencias estadísticas entre los tipos de suelo, determinado mayor contenido de cadmio en suelo residual. el mayor contenido de cadmio, al igual que el contenido de camio en raíz, también en tallo, se presentó mayor contenido de cadmio, el contenido de cadmio en tallo está en función al contenido de cadmio disponible del suelo, así lo indica Pernía et al. (2008), quien señala que la concentración de cadmio en las plantas dependerá de la disponibilidad de cadmio en el suelo, además, Mendoza et al. (2011) manifiesta que El movimiento original de cadmio hacia la tira está controlado por tres procesos: desmineralización de células madre; Transferencia e impresión de metales en xilema; Hernández et al. (2019), el transporte y remoción de cadmio de la corteza es otro proceso importante en este transporte de iones. La razón del alto contenido de cadmio en el tallo determinó estos mecanismos observados en el cacao.

Tabla 19. Cadmio en tallo de plantones de cacao en dos tipos de suelo (media \pm error estándar).

Tipos de suelo	Cadmio en tallo	Sig.
Residual	9.18 \pm 0.25	a
Aluvial	6.63 \pm 0.25	b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes

En el Tabla 20, se observa diferencias estadísticas en los niveles de cadmio incorporados al suelo, siendo los niveles de 10 y 8 ppm de cadmio estadísticamente iguales y diferentes a los niveles de 6, 4 y 2 ppm de cadmio, que además estos niveles son estadísticamente iguales y diferentes del nivel 0 ppm de cadmio, donde se determinó menor

contenido de cadmio en tallo de plántones de cacao. El resultado indica que existe un efecto positivo del contenido de cadmio en las plantas de cacao, lo que significa un alto contenido de cadmio en el suelo y una mayor absorción por parte de la planta. Se sabe que el cadmio penetra fácilmente en las partes del árbol como Inés (2011), lo que indica el hecho de que el cadmio es un factor fácil de transferir a la parte superior del árbol. Rodríguez-Serrano et al. (2008) que las proteínas responsables de la entrada de cadmio en las células vegetales incluyen el transportador de calcio LCT1 y la proteína IRT1. Por otro lado, Bernia et al. (2008) nos dice que el cadmio también puede ingresar a las plantas transportando otros metales como Ca^{2+} , Fe^{2+} y Zn^{2+} . Con materiales de referencia y datos de nuestro trabajo, se confirma la penetración de este mineral en la planta y su concentración calculada por el contenido.

Tabla 20. Cadmio en tallo de plántones de cacao por efecto de seis niveles de cadmio adicionados al suelo (media \pm error estándar).

Niveles de cadmio	Cadmio en tallo	Sig.
10 ppm	10.12 \pm 0.44	a
8 ppm	9.54 \pm 0.44	a
6 ppm	8.76 \pm 0.44	b
4 ppm	8.21 \pm 0.44	b
2 ppm	7.70 \pm 0.44	b
0 ppm	3.08 \pm 0.44	c

Medias con una letra común no son significativamente diferentes

4.3.3. Análisis de cadmio en hoja

El análisis de varianza para cadmio en hoja de plántones de cacao por efecto de niveles de cadmio adicionados al suelo, en dos tipos de suelos, se observa que no hay diferencias estadísticas en cuanto a la interacción de factores (Suelo x Cadmio), ya que el valor de significancia es mayor al planteado ($\alpha=0.05$); pero si se observa diferencias estadísticas en los factores principales, es decir, el valor de significancia es menor al planteado ($\alpha=0.05$), indica, al menos un factor en estudio es diferente estadísticamente (Tabla 21). El coeficiente de variación (C.V.) fue 13.06 % considerando variación medio durante la tona de datos, ya que Pimentel (1985), citado por Gordón y Camargo (2015) señala que el C.V. es considerado medio cuando van de 10 a 20 %. Además, se determina un coeficiente de determinación (R^2) de 0.89, según Di Rienzo et al. (2008) refieren que el coeficiente de determinación, indica la dependencia de los resultados por efecto de los factores, teniendo en cuenta lo manifestado podemos decir que,

el contenido de cadmio en hoja de plántones de cacao evaluados a los 120 días depende de 89 % y 11 % por otros factores.

Tabla 21. Análisis de variancia ($\alpha=0.05$) para cadmio en hoja de plántones de cacao.

Análisis de varianza	G.L.	C.M.	F cal	p-valor
Suelo (A)	1	62.08	42.80	<0.00
Cadmio (B)	5	71.64	49.39	<0.00
Suelo (A) x Cadmio (B)	5	0.74	0.51	0.77
Error experimental	36	1.45		
Total	47			
C.V.	13.06			
R ²	0.89			

Al mostrar diferencias estadísticas, en factores principales se procedió a realizar la prueba de comparación múltiple, a través DGC ($\alpha=0,05$), la finalidad es profundizar las diferencias existentes, respecto al contenido de cadmio en hoja de plántones de cacao, evaluados a los 120 días después de la instalación. En el Tabla 22, se observa diferencias estadísticas entre los tipos de suelo, se determinó mayor contenido de cadmio en hoja, en los plántones de cacao sembrados en suelo residual. Los resultados nos muestran que el mayor contenido de cadmio en un suelo depende de las características,

Tabla 22. Cadmio en hoja de plántones de cacao en dos tipos de suelo (media \pm error estándar).

Tipo de suelo	Cadmio en hoja	Sig.
Residual	10.36 \pm 0.25	a
Aluvial	8.08 \pm 0.25	b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes

Según Sánchez (2016) Se ha demostrado que, a mayor contenido de cadmio en el suelo, mayor contenido de materia orgánica, textura más fina, mayor capacidad de intercambio de cadmio y menor saturación de aluminio. En suelos ácidos, el cadmio se intercambia fácilmente, lo que lo pone a disposición de las plantas. Asimismo, indica que la energía de enlace es mayor en la unión del cadmio con materia orgánica que con arcillas. Referencia que coincide con los resultados en nuestro estudio ya que el análisis inicial nos

muestra que el suelo residual presenta menor % de M.O., menor CIC y pH ácido, características en las cuales evidencia el mayor contenido de cadmio en plántones de cacao, se diferencia entre los tipos de suelo en estudio. Las diferencias estadísticas por efecto de los niveles de cadmio incorporados al suelo (Tabla 23), se observa a los niveles de 10 y 8 ppm de cadmio con mayor contenido de cadmio en hoja de plántones de cacao, además son estadísticamente iguales y diferentes a los niveles de 6, 4 y 2 ppm de cadmio, estos niveles también son estadísticamente iguales en contenido de cadmio en hoja y diferentes del nivel 0 ppm de cadmio, que además es el menor contenido de cadmio en hoja de plántones de cacao. Los resultados mostraron que, a mayor contenido de cadmio introducido en el suelo, mayor contenido de cadmio en la planta, y Abanto (2016) indicó que, a mayor contenido de cadmio, mayor absorción de este elemento por parte de las plantas. Los resultados mostraron un alto porcentaje de cadmio en la atmósfera de la planta de cacao (pata y hojas), por lo que Thomine et al. (2000) indicaron que los Nramps son una familia de transportadores ubicados en la membrana de la vacuola de la raíz, por lo que pueden tener una función en la movilización de minerales, pero no en la penetración de la raíz.

Tabla 23. Cadmio en hoja de plántones de cacao por efecto de seis niveles de cadmio adicionados al suelo (media \pm error estándar).

Niveles de cadmio	Cadmio en tallos	Sig.
10 ppm	12.44 \pm 0.43	a
8 ppm	11.24 \pm 0.43	a
6 ppm	9.98 \pm 0.43	b
4 ppm	9.20 \pm 0.43	b
2 ppm	8.66 \pm 0.43	b
0 ppm	3.80 \pm 0.43	c

Medias con una letra común no son significativamente diferentes

El contenido de cadmio en plántones de cacao en dos tipos de suelo (Figura 4), se determinó que las plantas de cacao sembradas en suelo residual presentan mayor contenido de cadmio con valores promedio de 5, 9.18 y 10.36 ppm y los plántones de cacao sembrado en suelo aluvial fue 3.38, 6.63 y 8.08 ppm; asimismo se observa que el mayor contenido de cadmio se presenta en hoja de plántones de cacao, seguido de tallos y raíz. Respecto a los niveles de cadmio incorporados al suelo, muestran que, a mayor nivel de cadmio incorporado al suelo, mayor contenido en plántones de cacao (Figura 5), se determinó que el cadmio es transportado a la parte aérea de la planta concentrándose en orden creciente tallos y hojas.

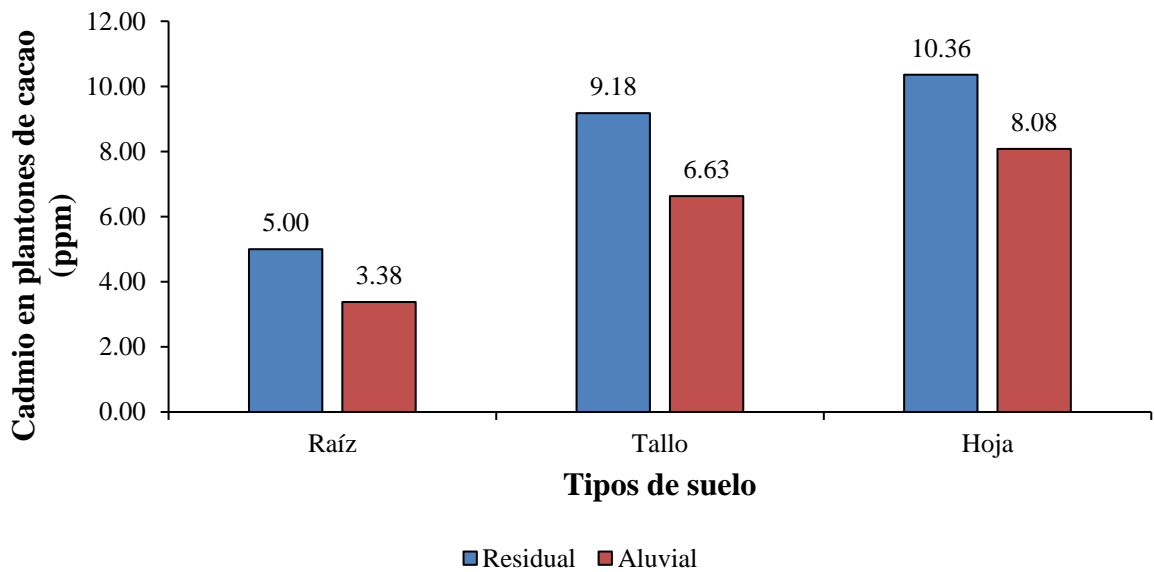


Figura 4. Cadmio en plántones de cacao en suelo aluvial y residual.

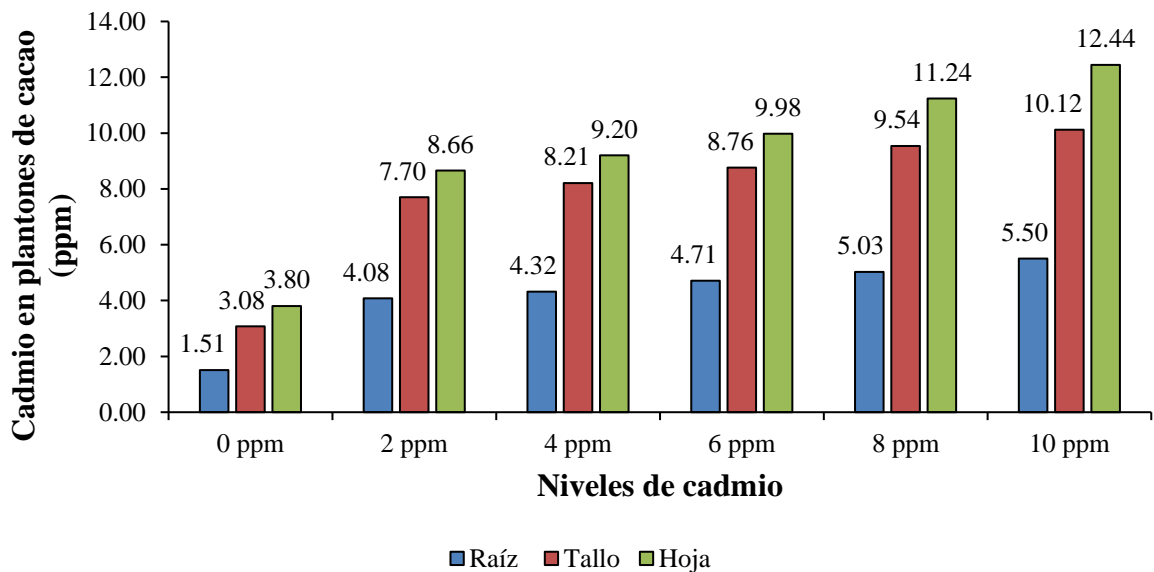


Figura 5. Cadmio en plántones de cacao por efecto de niveles de cadmio adicionados al suelo.

Según Miranda et al. (2008) afirmaron que algunos minerales no metálicos y no metálicos son absorbidos, transportados y acumulados en las plantas porque tienen propiedades electroquímicas similares a los nutrientes esenciales. El mayor contenido de cadmio se presentó en las losas del árbol de cacao y el más débil fue en las raíces, pero el mayor contenido de cadmio en la planta también se observó en el suelo remanente. Probablemente cada vez que el apodo de cadmio disponible aparece más alto en el suelo restante. Además, Inés (2011) enfatizó que el cadmio es un factor fácil en el árbol; Por otro lado, la capacidad de absorber y distribuir minerales en las

plantas varía entre especies, tenga en cuenta que el Linum acumulativo en Linum usitissim en orden: raíz> tallos> hojas>; El *Sativa marihuana* (cáñamo), por otro lado, el arreglo es: raíces> tallos> hojas. La referencia coincide con los resultados porque sigue la disposición de las raíces> cuerpo> deja dos tipos de tierra.

V. CONCLUSIONES

1. No se determinó diferencias estadísticas en la interacción de los factoriales, sin embargo, se determinó diferencias estadísticas en el factorial niveles de cadmio y se determinó mayor altura de plantas a dosis de 6 ppm de cadmio con valor promedio de 36.,48 cm. respecto al Diámetro de tallo se determinó diferencias estadísticas en la interacción de factoriales, mostrando mayor diámetro en la interacción (Suelo aluvial x 0 ppm de cadmio) con diámetro promedio de 8.62 mm y la interacción (Suelo residual x 8 ppm de cadmio) con diámetro promedio de 8.34 mm.
2. Respecto al cadmio total y disponible del suelo, no se determinó diferencias estadísticas en la interacción de factoriales, sin embargo, se determinó diferencias estadísticas en factoriales principales, determinando mayor contenido en suelo residual con valor promedio de 7.79 y 4.49 ppm, en factorial dosis de cadmio, se determinó mayor contenido en dosis de 10 ppm con valor de 12.35 y 5.53 ppm
3. Finalmente, cadmio en plantas de cacao, no se determinó diferencias estadísticas en la interacción de factoriales, sin embargo, se determinó diferencias estadísticas en factoriales principales, donde el mayor contenido de cadmio fue en la orden de raíces, tallo y hojas en suelo residual con valor promedio de 5.00, 9.18, 10.36 ppm, en factorial dosis de cadmio, se determinó mayor cadmio en dosis de 10 ppm con valor promedio de 5.50, 10.12, 12.44 ppm

VI. PROPUESTAS A FUTURO

1. Conforme a los resultados y las conclusiones obtenidas se considera que es necesario implementar nuevas investigaciones, donde se evalúe el desarrollo de plántones de cacao cada mes además un análisis de suelo. en cada evaluación.
2. Realizar réplicas del presente trabajo de investigación con énfasis en niveles más altas.
3. Realizar tomas fotográficas cada 15 días a las plantas para ver cambios físicos como color en las hojas a consecuencia de los niveles de cadmio.

VII. REFERENCIAS

- Abanto, M. (2016). *Fuentes fosfatadas en dos suelos en la concentración de cadmio foliar en maíz bajo condiciones de invernadero*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio institucional. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/>
- Acevedo, E., Carrasco, M., León, O., Silva, P., Castillo, G., Ahumada, I., Borie, G. y González, S. (2005). Informe de criterios de calidad de suelo agrícola. Servicio Agrícola y Ganadero-SAG, Chile. pp. 205. http://biblioteca-digital.sag.gob.cl/documentos/medio_ambiente/criterios_calidad_suelos_aguas_agricolas/inicio.htm
- Andrade, M., y Martínez, L. (2014). *Fertilidad del suelo y parámetros que la definen*. (3^a ed). Universidad de La Rioja. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=267902>
- Augstburger, F., Berger, J., Censkowsky, U., Heid, P. y Milz, J. (2000). *Agricultura Orgánica en el trópico y subtropical. Guía de 18 cultivos*. (1^a ed.). © Asociación Naturland. pp. 36. http://proecoazuero.org/wp-content/uploads/2013/07/A.C1014_Augstburger_2000_spa.pdf
- Azpilicueta, C., Pena, L., y Callego, S. (2010). Los metales y las plantas: Entre la nutrición y la toxicidad. *Ciencia hoy*, 20 (116), 12-16.
- Barragán, M. (2008). Estudio de diferentes metodologías para determinar la biodisponibilidad de cadmio y arsénico en suelos y su relación con la concentración en plantas. *Nova*, 6(9), 35–39. <https://doi.org/10.22490/24629448.394>
- Barrueta, S. (2013) *Guía de métodos de detección y análisis de Cadmio en cacao (Theobroma Cacao L)*. DEVIDA USAID Perú. https://issuu.com/riicchperu/docs/guia_de_metodos_de_deteccion_y_anal/47
- Benavides, M., Gallego, S. y Tomaro, M. (2005). Cadmium toxicity in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 17(1): 21-34.
- Chupillón, J. (2017). *Determinación de la absorción de cadmio y plomo en genotipos de cacao (Theobroma cacao L.), para el establecimiento de plantaciones comerciales*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Martín]. Repositorio institucional. <https://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/2473>
- Correa, J. A. (2018). *Efecto de enmiendas cálcicas y orgánicas en la absorción de cadmio en plántulas de cacao (Theobroma cacao L.) en la Región San Martín*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Martín]. Repositorio institucional. <https://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/3237>

- Di Rienzo, J., Balzarini, M., Robles, C., Casanoves, F., Gonzalez, L., y Tablada, E. (2008). *InfoStat, versión 2008. Manual del Usuario (Issue November 2015)*. FCA Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>
- Fortis, H., Leos, R., Preciado, P., Orana, I., Garcia, J., Garcia, J., y Orozco, J. (2009). Aplicación de abonos orgánicos en la producción de maíz forrajero con riego por goteo. *Terra Latinoamericana*, 27, 329-336.
- Gonzales, A. (2010). *Determinación y validación de cadmio total e intercambiable en algunos suelos cacaoteros del departamento de Santander*. [Tesis de pregrado, Universidad Industrial de Santander]. Repositorio institucional. <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/387/2/134703.pdf>
- González, E., Tornero, M., Sandoval, E., Pérez, A., y Gordillo, A (2011). Biodisponibilidad y fraccionamiento de metales pesados en suelos agrícolas enmendados con biosólidos de origen municipal. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 27(4), 290-301.
- González, C., Thompson, J., Martínez, Y., y Sánchez, N. (2010). Concentración de cadmio en partículas de diferentes tamaños de un suelo de la cuenca del lago de Valencia. *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, 25(2), 73-80.
- Gordón, R; y Camargo, I. (2015). Selección de estadísticos para la estimación de la precisión experimental en ensayos de maíz. *Agronomía Mesoamericana*, 26(1):55-63.
- Guerrero, J. (2012). *Guía técnica de análisis de suelo y fertilización de cacao*. San Martín Perú. Oficina académica de extensión y proyección social UNALM. https://www.agrobanco.com.pe/wp-content/uploads/2017/07/010-a-cacao_SUELOS_FERTILIZACION_C3%93N_.pdf
- Hernández, Y., Rodríguez, P., Peña, M., Meriño, Y., y Cartaya, O. (2019). Toxicity of Cadmium in plants and strategies to reduce its effects. Case study: The tomato. *Cultivos Tropicales*, 40, 3-10.
- Huaynates, J. (2013). *Efecto de la materia orgánica en la absorción de cadmio por el suelo, en la localidad de Supte*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/451>
- Inés, O. (2011). Acumulación de metales (cadmio, zinc, cobre, cromo, níquel y plomo) en especies del género *Pelargonium*: suministro desde el suelo, ubicación en la planta y toxicidad. [Tesis doctoral, Universidad de Buenos Aires]. Repositorio institucional. <http://ri.agro.uba.ar/files/download/tesis/doctorado/2011orronodanielaines.pdf>

- Insuasty, B., Burbano, O., y Menjivar, F. (2006). Dinámica del cadmio en suelos cultivados con trigo en Nariño, Colombia. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 23,1-2
- Insuasty, B., Burbano, O., y Menjivar, F. (2007). Dinámica del cadmio en suelos cultivados con papa en Nariño, Colombia. *Acta Agronómica*, 57(1), 51-54.
- International Plant Nutrition Institute. (2015). *Metales pesados en cacao, perspectiva y posible manejo*. The International Plant Names Index. <http://nla.ipni.net/article/NLA-3112>.
- Isaura, R. (2010). Capacidad de amortiguación de la contaminación por plomo y por cadmio en suelos de la comunidad de Madrid. *Universidad Complutense de Madrid. Departamento de Edafología*. <http://eprints.ucm.es/>.
- James, B. (2002). Chemical transformations of chromium in soils; Relevance to mobility. Bioavailability and Remediation. In The Chromium File, No. 8. *The International Chromium Development Association*. <http://www.icdachromium.com/pdf/publications/crfile8feb02.htm>
- Llugany, M., Tolrà, R., Poschrieder, C., y Barceló, J. (2007). Hiperacumulación de metales ¿Una ventaja para la planta y para el hombre?. *Ecosistemas*, 16(2), 4-9.
- Martínez, G., y Palacio, C. (2010). *Determinación de metales pesados cadmio y plomo en suelos y granos de cacao fresco y fermentado mediante espectroscopia de absorción atómica de llama*. [Tesis de pregrado, Universidad industrial de Santander.]. Repositorio institucional. <https://studylib.es/doc/5780604/determinaci%C3%B3n-de-metales-pesados-cadmio-y-plomo-en-suelos-y>
- Martínez, R. (2015). *Fraccionamiento de suelos contaminados con mercurio en el sur de la sierra Gorda de Querétaro, México*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio institucional. <http://132.248.9.195/ptd2014/diciembre/0723943/0723943.pdf>
- Melgarejo, V. (2015). Agricultores de cacao empiezan a dejar sus cultivos ante exigencias de la Unión Europea. *Diario gestión*. <https://gestion.pe/economia/>.
- Mendoza, D., Jobe, T., Hauser, F., y Schroeder, J. (2011). Long-distance Transport, Vacuolar Sequestration, Tolerance, and Transcriptional Responses Induced by Cadmium and Arsenic. *Curr Opin Plant Biol*, 14(5), 554-62. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21820943/>
- Miranda, D., Carranza, C., Rojas, C., Jerez, C., Fischer, G., y Zurita, J. (2008). Acumulación de metales pesados en suelo y plantas de cuatro cultivos hortícolas, regados con

- agua del Río Bogotá. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 2(2), 180–191. <https://doi.org/10.17584/rcch.2008v2i2.1186>
- Mite, F., Carrillo, M., y Durango, W. (2010). Avances del monitoreo de presencia de cadmio en almendras de cacao, suelos y aguas en Ecuador. *XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo*. Santo Domingo, Ecuador. <http://www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/6.-Francisco-Mite.-Cadmio.-INIAP.pdf>.
- Nava, R. y Méndez, A. (2011). *Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio)*. Laboratorio Neuropatología Experimental, Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía. <http://www.medigraphic.com/pdfs/arcneu/ane-2011/ane113f.pdf>.
- Organización Mundial de la Salud. (2019). *Programa Internacional de Seguridad de las Sustancias Químicas. Cadmio*. Organización Mundial de la Salud. https://www.who.int/ipcs/assessment/public_health/cadmium/es/.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2019). *Comisión del codex alimentarius*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <http://www.fao.org/>.
- Pellegrini, A. (2017). Fósforo en el suelo. *Macronutriente del suelo Fósforo. Material de cursada de la Cátedra de Edafología. Andrea Edith Pellegrini. FCAyF 2017*. <https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/>
- Peris, M. (2006). *Estudio de metales pesados en suelos bajo cultivos hortícolas de la Provincia de Castellón*. [Tesis doctoral, Universidad de Valencia]. Repositorio institucional. <https://www.tesisenred.net/handle/10803/9504;jsessionid=87BDE05F238EF02C7C9571954B998469#page=1>
- Pernía, B., De Sousa, A., Reyes, R. y Castrillo, M. (2008). Biomarcadores de contaminación por cadmio en las plantas. *Interciencia*, 33(2), 112-119.
- Piedrahíta, O. (2009). Acidez del suelo. *Magnesio Heliconia SA*. <http://www.nuprec.com/>.
- Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2010). *Análisis del flujo del comercio y revisión de prácticas de manejo ambientalmente racionales de productos conteniendo cadmio, plomo y mercurio en América Latina y el Caribe*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. <https://goo.gl/tP4j6c>
- Prieto, J., González, C., Román, A. y Prieto, F. (2009). *Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua*. Universidad Autónoma de Yucatán México. <http://www.redalyc.org/pdf/939/93911243003.pdf>.

- Rodríguez, M. (2007). *Mecanismos moleculares de respuesta al camio en plántones de Pisum sativum L.: función de las especies de oxígeno y nitrógeno reactivo*. [Tesis doctoral, Universidad de Granada]. Repositorio institucional. <https://hera.ugr.es/tesisugr/16628299.pdf>.
- Rodríguez-Serrano, M., Martínez-de la Casa, N., Romero-Puertas, M., del Río, L., y Sandalio, L. (2008). Toxicidad del Cadmio en Plantas. *Ecosistemas*, 17(3), 139-146.
- Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce De León, J. y Hill, M. (2004). *Propiedades físicas del suelo*. Facultad de Agronomía. Uruguay. <http://bibliofagro.pbworks.com>.
- Rueda, G., Rodríguez, J. y Madriñán, R. (2011). Metodologías para establecer valores de referencia de metales pesados en suelos agrícolas. *Acta Agronómica*, 60(3), 203-217
- Ruiz, J. (2011). Evaluación de tratamientos para disminuir cadmio en lechuga (*Lactuca sativa* L.) regada con agua del río Bogotá. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 5(2), 295–302. <https://doi.org/10.17584/rcch.2011v5i2.1270>
- Sadeghian, S. (2012). *Efecto de los cambios en las relaciones de calcio, magnesio y potasio intercambiables en suelos de la zona cafetera colombiana sobre la nutrición de café (Coffea arabica L.) en la etapa de almácigo*. [Tesis doctoral, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio institucional. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/8983>
- Sadeghian, S. (2016). *La acidez del suelo una limitante común para la producción de café*. <https://www.cenicafe.org/es/publications/AVT0466.pdf>.
- Sánchez, G. (2016). *Ecotoxicología del cadmio, riesgo para la salud de la utilización de suelos ricos en cadmio*. [Trabajo final de grado, Universidad Complutense]. Repositorio institucional. <http://147.96.70.122/Web/>.
- Sánchez, N. (2013). *Modelización de los procesos químicos relacionados con la dinámica del cadmio en dos suelos agrícolas de Venezuela*. [Tesis doctoral, Universidad de Carabobo]. Repositorio institucional. <http://mriuc.bc.uc.edu.ve/bitstream/handle/123456789/3857/nsanchez.pdf?sequence=1>
- Sánchez, N., Rivero, C. y Martínez, Y. (2011). Cadmio disponible en dos suelos de Venezuela: efecto del fosforo. *Revista ingeniería UC*, 18(2), 7-14. <http://servicio.bc.uc.edu.ve/ingenieria/revista/v18n2/art01.pdf>
- Subero, N. (2013). *Evaluación de las fracciones de fósforo y del contenido de cadmio en suelos ácidos fertilizados con fosfatos por largos periodos y su absorción por el arroz*.

[Tesis doctoral, Universidad Central de Venezuela]. Repositorio institucional.
<http://saber.ucv.ve/handle/10872/4550>

VIII. ANEXO

Tabla 24. Evaluaciones de altura de plántones de cacao

Suelo	Dosis Cd	30 días				60 días				90 días				120 días			
		R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4
Aluvial	0 Cd	19.50	22.20	22.30	19.80	21.50	24.30	24.30	25.10	25.50	28.40	28.30	32.40	33.50	36.50	36.30	43.70
Aluvial	2 Cd	21.00	18.70	19.40	16.90	21.00	20.00	23.00	18.00	23.00	23.30	28.60	21.10	29.00	30.60	38.20	28.20
Aluvial	4 Cd	17.20	20.80	21.00	22.00	17.50	23.10	22.20	22.70	19.80	27.40	25.40	25.40	26.10	35.70	32.60	32.10
Aluvial	6 Cd	19.50	20.00	20.30	17.40	20.80	21.50	22.50	19.50	24.10	25.00	26.70	23.60	31.40	32.50	34.90	31.70
Aluvial	8 Cd	20.40	20.80	19.50	19.70	21.30	22.40	21.50	21.70	24.20	26.00	25.50	25.70	31.10	33.60	33.50	33.70
Aluvial	10 Cd	21.00	20.20	19.20	16.30	23.20	21.50	20.50	17.70	27.40	24.80	23.80	21.10	35.60	32.10	31.10	28.50
Residual	0 Cd	22.70	22.40	22.40	23.80	24.00	23.00	23.60	25.40	27.30	25.60	26.80	29.00	34.60	32.20	34.00	36.60
Residual	2 Cd	23.50	21.80	21.70	20.40	24.20	23.80	24.50	21.40	26.90	27.80	29.30	24.40	33.60	35.80	38.10	31.40
Residual	4 Cd	21.20	23.30	20.80	21.30	21.80	24.20	23.00	22.80	24.40	27.10	27.20	26.30	31.00	34.00	35.40	33.80
Residual	6 Cd	20.50	21.00	22.50	22.40	25.50	28.20	23.00	24.00	32.50	37.40	25.50	27.60	43.50	50.60	32.00	35.20
Residual	8 Cd	19.30	20.30	24.60	22.00	20.50	21.20	25.10	23.20	23.70	24.10	27.60	26.40	30.90	31.00	34.10	33.60
Residual	10 Cd	20.00	20.20	20.60	20.60	20.80	20.30	21.20	20.80	23.60	22.40	23.80	23.00	30.40	28.50	30.40	29.20

Tabla 25. Evaluaciones de diámetro de plántones de cacao

Suelo	Dosis Cd	30 días				60 días				90 días				120 días			
		R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4
Aluvial	0 Cd	3.84	3.40	3.80	3.77	4.52	4.63	5.11	4.40	6.20	6.86	7.42	6.03	8.12	8.92	9.50	7.94
Aluvial	2 Cd	3.02	3.51	3.59	3.83	4.28	4.24	4.50	4.15	6.54	5.97	6.41	5.47	8.60	7.90	8.39	7.29
Aluvial	4 Cd	3.92	3.82	3.42	3.42	4.42	4.37	4.23	4.60	5.92	5.92	6.04	6.78	7.79	7.80	7.99	8.82
Aluvial	6 Cd	3.71	3.41	4.02	3.30	3.75	3.58	4.33	4.31	4.79	4.75	5.64	6.32	6.53	6.53	7.46	8.32
Aluvial	8 Cd	3.90	3.52	3.85	3.48	4.10	4.42	4.25	3.75	5.30	6.32	5.65	5.02	7.09	8.29	7.49	6.83
Aluvial	10 Cd	3.60	3.75	3.45	3.75	4.55	4.39	4.80	4.72	6.50	6.03	7.15	6.69	8.49	7.94	9.24	8.68
Residual	0 Cd	3.70	3.61	3.76	3.62	4.52	4.02	3.99	4.02	6.34	5.43	5.22	5.42	8.29	7.28	7.02	7.26
Residual	2 Cd	3.66	3.55	3.61	3.42	4.60	4.44	3.90	4.26	6.54	6.33	5.19	6.10	8.52	8.30	7.00	8.06
Residual	4 Cd	3.85	3.60	3.52	3.79	4.62	4.41	3.96	4.24	6.39	6.22	5.40	5.69	8.33	8.17	7.25	7.55
Residual	6 Cd	3.54	3.50	3.29	3.81	4.76	4.01	4.69	3.98	6.98	5.52	7.09	5.15	9.03	7.39	9.19	6.93
Residual	8 Cd	3.26	3.81	3.62	3.27	4.61	4.80	4.20	4.08	6.96	6.79	5.78	5.89	9.05	8.79	7.67	7.84
Residual	10 Cd	3.74	3.61	3.63	3.50	4.37	4.44	4.50	4.50	6.00	6.27	6.37	6.50	7.91	8.23	8.34	8.50

Tabla 26. Evaluaciones de cadmio total y disponible en suelo al final del experimento.

Suelo	Dosis Cd	cadmio disponible				cadmio total			
		R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4
Aluvial	0 Cd	0.43	0.41	0.49	0.54	1.27	1.35	1.44	1.63
Aluvial	2 Cd	3.08	2.58	3.30	3.78	3.38	3.29	3.49	3.63
Aluvial	4 Cd	3.04	2.92	3.10	3.34	5.41	5.57	5.52	5.65
Aluvial	6 Cd	3.16	2.98	3.13	3.38	7.51	7.58	7.58	7.65
Aluvial	8 Cd	3.28	3.54	3.66	3.81	9.60	9.71	9.71	9.68
Aluvial	10 Cd	3.78	4.26	4.62	4.76	11.64	11.70	11.78	11.70
Residual	0 Cd	0.52	0.59	0.67	0.73	2.50	2.56	3.00	2.96
Residual	2 Cd	3.70	4.18	4.78	5.15	4.18	4.63	4.67	5.01
Residual	4 Cd	4.38	4.00	5.06	5.80	6.33	6.71	6.75	6.76
Residual	6 Cd	4.73	4.02	5.37	5.96	8.72	8.64	8.80	9.07
Residual	8 Cd	4.78	4.56	4.76	7.20	10.63	10.72	10.81	11.51
Residual	10 Cd	5.06	5.68	6.65	9.44	12.50	12.71	12.85	13.89

Tabla 27. Evaluaciones de cadmio en plantones de cacao.

Suelo	Dosis Cd	Raíz				Tallo				Hojas			
		R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4
Aluvial	0 Cd	1.03	1.22	1.30	1.66	1.70	2.24	1.94	2.06	2.52	3.29	2.52	3.39
Aluvial	2 Cd	2.71	3.42	3.59	4.47	5.16	6.19	7.07	5.32	6.07	8.67	7.43	8.75
Aluvial	4 Cd	2.72	3.49	3.59	4.47	5.85	6.19	8.66	5.99	6.52	9.74	8.25	9.14
Aluvial	6 Cd	2.89	3.59	3.59	4.74	6.45	6.71	10.00	6.39	6.07	9.81	8.99	9.52
Aluvial	8 Cd	2.67	3.66	4.01	5.00	6.81	7.91	10.77	8.29	8.45	10.23	10.31	10.23
Aluvial	10 Cd	3.30	3.69	4.66	5.71	6.76	9.67	11.52	9.38	9.52	11.53	11.37	11.69
Residual	0 Cd	1.63	1.18	1.49	2.56	2.60	4.81	3.66	5.60	4.90	3.54	4.66	5.54
Residual	2 Cd	4.84	3.77	3.69	6.11	9.55	9.92	8.20	10.16	10.00	7.25	10.05	11.09
Residual	4 Cd	5.22	3.77	4.63	6.63	9.97	10.49	8.28	10.28	10.20	7.88	10.78	11.11
Residual	6 Cd	5.59	4.84	5.41	7.06	11.21	10.53	8.37	10.40	10.40	10.45	11.50	13.12
Residual	8 Cd	6.20	5.71	5.44	7.51	11.63	10.57	9.79	10.52	12.33	13.03	12.23	13.14
Residual	10 Cd	6.28	6.46	6.01	7.92	12.03	11.07	9.92	10.64	13.70	15.60	12.95	13.15



Figura 6. Incubación de cadmio



Figura 7. Selección de semillas antes de la instalación



Figura 8. Después de 45 días de incubación llenado de bolsas



Figura 9. Evaluación de altura de plantones.



Figura 10. Evaluación de diámetro de plantones



Figura 11. Gigantografía de la tesis