

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
ESCUELA DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROECOLOGÍA
MENCIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL



**FUENTES Y NIVELES DE ABONOS ORGÁNICOS EN LA
MITIGACIÓN DEL METAL PESADO CADMIO EN EL SUELO Y EN
LOS PLANTONES DE CACAO (*Theobroma cacao* L.)**

Tesis

Para optar el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROECOLOGIA
MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL**

PRESENTADO POR:

KATHERIN RUBÍ ORÉ OCHOA

Tingo María – Perú

2022



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
UNIDAD DE POSGRADO



DIRECCIÓN

"AÑO DEL FORTALECIMIENTO DE LA SOBERANÍA NACIONAL"

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS
Nro. 014-2022-UPG-FRNR-UNAS

En la ciudad universitaria, siendo las 04:00 p.m. del martes 06 de setiembre de 2022, reunidos virtualmente vía Microsoft Teams, se instaló el Jurado Calificador a fin de proceder a la sustentación de la tesis titulada:

"EFECTO DE FUENTES Y NIVELES DE ABONO ORGÁNICOS EN LA MITIGACIÓN DEL METAL PESADO CADMIO EN EL SUELO Y EN LOS PLANTONES DE CACAO (Theobroma cacao L.)"

A cargo del candidato al Grado de Maestro en Ciencias en Agroecología, mención: Gestión Ambiental **KATHERÍN RUBÍ ORE OCHOA**.

Luego de la exposición y absueltas las preguntas de rigor, el Jurado Calificador procedió a emitir su fallo declarando **APROBADO...** con el calificativo de **MUY BUENO.....**

Acto seguido, a horas **5:25...** p.m. el presidente dio por culminada la sustentación; procediéndose a la suscripción de la presente acta por parte de los miembros del jurado, quienes dejan constancia de su firma en señal de conformidad.

.....
Dr. LUCIO MANRIQUE DE LARA SUAREZ
Presidente del Jurado

.....
Ing. MS.c. FRANKLIN DIONISIO MONTALVO
Miembro del Jurado

.....
Ing. MS.c. DAVID PRUDENCIO QUISPE JANAMPA
Miembro del Jurado

.....
Dr. JOSE WILFREDO ZAVALA SOLORZANO
Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
REPOSITORIO INSTITUCIONAL DIGITAL
(RIDUNAS)

Correo: repositorio@unas.edu.pe



“Año de la unidad, la paz y el desarrollo”

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 006 - 2023 - CS-RIDUNAS

El Coordinador de la Oficina de Repositorio Institucional Digital de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El trabajo de investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Facultad:


Escuela de Posgrado UNAS

Tipo de documento:

Tesis	X	Trabajo de investigación	
-------	---	--------------------------	--

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
FUENTES Y NIVELES DE ABONOS ORGÁNICOS EN LA MITIGACIÓN DEL METAL PESADO CADMIO EN EL SUELO Y EN LOS PLANTONES DE CACAO (<i>Theobroma cacao</i> L.)	KATHERIN RUBÍ ORÉ OCHOA	17% Diecisiete

Tingo María, 17 de enero de 2023


Mg. Ing. García Villegas, Christian
Coordinador del Repositorio Institucional
Digital (RIDUNAS)

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN AGROECOLOGÍA
MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL



**FUENTES Y NIVELES DE ABONOS ORGÁNICOS EN LA MITIGACIÓN DEL
METAL PESADO CADMIO EN EL SUELO Y EN LOS PLANTONES DE CACAO**
(Theobroma cacao L.)

Autor	: Katherin Rubí Oré Ochoa
Asesor	: Dr. José Wilfredo Zavala Solórzano
Programa de investigación	: Gestión Ambiental
Línea de investigación	: Gestión de la contaminación
Eje temático	: Implementación de planes integrados de la gestión de contaminación
Lugar de ejecución	: Vivero de la Facultad de Recursos Naturales Renovables – UNAS
Duración	: Inicio : 20 de julio del 2019 Término : 20 de febrero del 2020
Financiamiento	FEDU : S/.0.00 Propio : S/.9.781,20 Otros : S/.0.00

Tingo María – Perú.

2022



VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN OFICINA DE INVESTIGACIÓN

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

REGISTRO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO,
INVESTIGACIÓN DOCENTE Y TESISISTA

I. DATOS GENERALES DE POSGRADO

Universidad : Universidad Nacional Agraria de la Selva
Maestría : Ciencias en Agroecología
Mención : Gestión Ambiental
Título de Tesis : FUENTES Y NIVELES DE ABONOS ORGÁNICOS
EN LA MITIGACIÓN DEL METAL PESADO
CADMIO EN EL SUELO Y EN LOS PLANTONES
DE CACAO (*Theobroma cacao* L.)
Autor : Katherin Rubí Oré Ochoa
Asesor : Dr. José Wilfredo Zavala Solórzano
Programa de Investigación : Gestión Ambiental
Línea (s) de Investigación : Gestión de la contaminación
Eje temático de investigación : Implementación de planes integrados de la gestión de
contaminación
Lugar de Ejecución : Vivero de la Facultad de Recursos Naturales
Renovables – UNAS
Duración : Fecha de Inicio: Junio 2019
Término : Febrero 2020
Financiamiento : Propio: S/. 9 781,20

.....

Ing. Katherin Rubí Oré Ochoa

Tesista

.....

Dr. José Wilfredo Zavala Solórzano

Asesor

DEDICATORIA

A Dios, por iluminar y guiar mis pasos por el camino del bien.

A mis padres Ernesto Oré Medina y Janis Ochoa Cuya; por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por su inmenso amor y abnegado sacrificio que me ha permitido ser una persona de bien.

.

A mi esposo Gunter por su comprensión y ayuda en el desarrollo de mi tesis.

A mis queridos hijos Gunter Santiago y Oriana Valentina; que son la razón más grande de superación que tengo día a día.

A mi hermana Alexa Oré Ochoa por su cariño y apoyo.

AGRADECIMIENTOS

Durante mi formación profesional, personal y desarrollo de la presente investigación, varias personas colaboraron directa e indirectamente, a quienes deseo expresar mi más profundo reconocimiento:

A mi alma mater la Universidad Nacional Agraria de la Selva, que sus aulas llevaron a la culminación de mi carrera profesional

A los docentes de la Escuela de Posgrado, en especial de la maestría en Agroecología, mención Gestión Ambiental quienes contribuyeron en mi formación académica y me ayudaron en asesorías y dudas presentadas en la elaboración de mi tesis.

A mi aseso Dr. José Wilfredo Zavala Solórzano por la orientación y conocimientos para fortalecer el trabajo de investigación.

Al Dr. Lucio Manrique de Lara Suarez, Ing. M.Sc. David Quispe Janampa e Ing. M.Sc. Flanklin Dionisio Montalvo, miembros de jurado, por revisar y ayudar académicamente durante la investigación.

En general quiero dar mis más expresivas gracias a todos que de alguna u otra manera me apoyaron y compartieron momentos muy gratos en mi formación académica

ÍNDICE GENERAL

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivo general	2
1.2. Objetivos específicos.....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Marco teórico	3
2.1.1. Materia orgánica	3
2.1.2. El compost	4
2.1.3. Estiércol de vacuno	4
2.1.4. Humus de lombriz.....	4
2.1.5. Gallinaza	5
2.1.6. Metales pesados	6
2.1.7. Contaminación del suelo por Cd.....	6
2.1.8. Mitigación	10
2.2. Estado del arte	10
2.2.1. Local	10
2.2.2. Nacional	12
2.2.3. Internacional.....	13
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	15
3.1. Ubicación del experimento.....	15
3.1.1. Ubicación política y geográfica	15
3.1.2. Condiciones climáticas	15
3.2. Materiales y equipos.....	15
3.2.1. Material genético.....	15
3.2.2. Materiales y herramientas	15
3.2.3. Para la incubación del suelo.....	15
3.2.4. Para el llenado de bolsas	15
3.2.5. Equipos	16
3.3. Metodología.....	16
3.3.1. Acondicionamiento del lugar de ejecución.....	16
3.3.2. Obtención del sustrato.....	16
3.3.3. Inoculación con cadmio al sustrato inicial.....	16

3.3.4. Preparación de sustrato, embolsado y acomodo de bolsas.....	16
3.3.5. Obtención y siembra de semillas de cacao.....	17
3.3.6. Registro de Observaciones.....	17
3.3.7. Selección de plantas de los tratamientos y testigo para la evaluación de absorción del Cd	17
3.3.8. Análisis final de Cd en el sustrato.....	17
3.3.9. Análisis final de absorción de Cd por los órganos de los plantones de cacao 17	
3.3.10. Parámetros registrados	18
3.3.11. Interpretación de los resultados	19
3.4. Componentes y tratamientos del experimento	19
3.5. Diseño del experimento.....	20
3.6. Croquis de la parcela y unidad experimental	21
3.6.1. Características de la parcela.....	21
3.6.2. Características de la parcela.....	21
3.6.3. Total de plantas del experimento	22
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	23
4.1. Efecto de las fuentes y niveles de abonos orgánicos en la disminución del metal pesado Cd en la biodisponibilidad del suelo	23
4.2. Efecto de las fuentes y niveles de abonos orgánicos en las características morfométricas de los plantones de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.)	25
4.2.1. Altura	27
4.3. Efecto de las fuentes y niveles de abonos orgánicos presentes en los plantones de cacao.	32
4.3.1. Cadmio en la raíz	32
4.3.2. Cadmio en el tallo	36
4.3.3. Cadmio en las hojas	38
V. CONCLUSIONES.....	44
VI. RECOMENDACIONES	45
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	46
ANEXOS	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Tratamientos considerados para el experimento.....	20
2. Esquema del análisis de varianza.....	21
3. Cadmio total y disponible en las muestras de suelo.....	24
4. Diámetro (mm) por efecto de las fuentes orgánicas y testigo.....	25
5. Comparación de medias del diámetro (mm) influenciados por fuentes orgánicas.....	25
6. Comparación del diámetro por dosis de fuentes orgánicas.....	26
7. Análisis de varianza de la altura (cm).....	27
8. Análisis de varianza de los efectos simples de fuentes orgánicas y dosis en la variable altura.....	28
9. Comparación de medias del efecto de las fuentes orgánicas en las dosis.....	29
10. Comparación de medias del efecto de las dosis en las fuentes orgánicas.....	30
11. Análisis de varianza para el cadmio en la raíz.....	32
12. Análisis de varianza de los efectos simples de fuentes orgánicas y dosis en la variable cadmio en la raíz.....	33
13. Comparación de medias del efecto de las fuentes orgánicas en las dosis.....	37
14. Comparación de medias del efecto de las dosis en las fuentes orgánicas.....	35
15. Análisis de varianza para el cadmio en el tallo.....	36
16. Prueba de comparación de medias del factorial vs testigo.....	37
17. Prueba de comparación de medias para las fuentes orgánicas para la variable cadmio en el tallo.....	37
18. Prueba de comparación de medias para las dosis de la variable de cadmio en el tallo.....	38
19. Análisis de varianza para el cadmio en las hojas.....	38
20. Prueba de comparación de medias del factorial vs testigo.....	38
21. Análisis de varianza de los efectos simples de fuentes orgánicas y dosis en la variable cadmio en las hojas.....	39
22. Comparación de medias del efecto de las fuentes orgánicas en las dosis.....	40

23. Comparación de medias del efecto de las dosis en las fuentes orgánicas	41
24. Promedios de incremento de diámetro (mm)	52
25. Promedios de incremento de altura (cm)	52
26. Promedio de cadmio total en la raíz de plantas <i>T. cacao</i>	53
27. Promedio de cadmio total en las hojas de plantas <i>T. cacao</i>	53
28. Promedio de cadmio total en el tallo de plantas <i>T. cacao</i>	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Distribución de los tratamientos en la parcela experimental.	21
2. Esquema de una unidad experimental.	22
3. Fuentes orgánicas en dosis de la variable altura	29
4. Dosis en fuentes orgánicas en la variable altura	31
5. Fuentes orgánicas en dosis de la variable cadmio en la raíz	34
6. Dosis en fuentes orgánicas en la variable altura	39
7. Fuentes orgánicas en dosis de la variable cadmio en las hojas	40
8. Dosis en fuentes orgánicas en la variable cadmio en las hojas	42
9. Contaminación del sustrato con cadmio	55
10. Llenado de bolsas con el sustrato.	55
11. Instalación de bolsas en el vivero.	56
12. Siembra de semillas de cacao <i>Theobroma cacao</i> L.	56
13. Crecimiento inicial de las semillas de cacao <i>Theobroma cacao</i> L.	57
14. Desarrollo de las variables biométricas del cacao.	57
15. Elección de los plantones para la determinación de cadmio.	58
16. Muestra para la determinación de cadmio.	58
17. Determinación de cadmio en el suelo.	59

RESUMEN

Con la finalidad de evaluar las fuentes y niveles de abonos orgánicos en la mitigación del metal pesado cadmio en el suelo y en los plántones de cacao (*Theobroma cacao* L.). Se evaluó el incremento de la altura y diámetro de las plantas, presencia de cadmio total y disponible del suelo y cadmio total en tejidos (hojas, tallo y raíz).

Los resultados muestran que el cadmio disponible y total en el suelo fue menor para T7 (20% humus + 80% sustrato) con un cadmio disponible de 0.98 ppm y un cadmio total de 4.13 ppm, reduciendo el cadmio porque habría sido absorbido por humus; Con respecto al incremento de diámetro (mm) no se encontraron diferencias estadísticas entre las fuentes orgánicas, mientras que en la variable altura la composta fue mejor utilizando dosis al 20% y 30% con valores de 7.28 cm y 7.32 cm respectivamente, al evaluar el cadmio total en las partes vegetativas de las plantas: para la raíz la fuente con mayores valores de cadmio fue la composta con dosis al 20 y 30% con valores de 1.88 ppm y 1.77 ppm respectivamente, mientras que la dosis en cada fuente orgánica que presentó alto contenido de cadmio fue del 20% utilizando compost, estiércol, gallinaza y humus con valores de 1.88 ppm, 1.27 ppm, 1.05 ppm y 1.75 ppm. Para la parte del tallo no se registraron diferencias estadísticas entre las fuentes orgánicas, pero numéricamente el estiércol presentó una mayor acumulación de cadmio con 3,29 ppm, de igual forma en el caso de las dosis no influyeron en la concentración de cadmio. Mientras que en las hojas, las fuentes que presentaron mayor concentración de cadmio fue la composta para todas las dosis de 20%, 30% y 40% con valores de 3.05, 3.03 y 2.27 ppm, y para los efectos simples de dosis en fuentes, la dosis con mayor presencia de cadmio fue del 20% en las tres fuentes orgánicas con valores de 3.05, 1.72 y 1.03 ppm.

Palabras claves: abonos orgánicos, mitigación, cadmio, *Theobroma cacao*

ABSTRACT

With the purpose of evaluating the sources and levels of organic fertilizer in the mitigation of the heavy metal, cadmium, in the soil, and in cacao seedlings (*Theobroma cacao* L.), the increase in the height and diameter of the seedlings, the total cadmium present, its availability in the soil, and the total cadmium in the tissue (leaves, stalk, and roots) were evaluated.

The results showed that the available cadmium, and the total in the soil were the least for T7 (20% humus + 80% substrate), with an available cadmium of 0.98 ppm and a total cadmium of 4.13 ppm, reducing the cadmium because it would have been absorbed by the humus. With respect to the increase in the diameter (mm), no statistical differences were found between the organic sources, while for the height variable, the compost was better when used at doses of 20% and 30%, with values of 7.28 cm and 7.32 cm, respectively. For the evaluation of the total cadmium in the vegetative parts of the plants: for the roots, the source with the greatest values of cadmium was the compost with a dose of 20 and 30%, with values of 1.99 ppm and 1.77 ppm, respectively; while the dose for each organic source which presented high cadmium contents was that with a use of 20% compost, manure, chicken manure, and humus, with values of 1.88 ppm, 1.27 ppm, 1.05 ppm, and 1.75 ppm. For the stalk, no statistical differences were recorded between the organic sources, but numerically, the manure presented a greater accumulation of cadmium with 3.29 ppm; in the same fashion, in the case of the doses, they did not influence the cadmium concentration. Meanwhile, for the leaves, the sources which presented the greatest cadmium concentration were the compost for all of the doses of 20%, 30%, and 40%, with values of 3.05, 3.03, and 2.27 ppm; and for the simple effects of the dose on the sources, the dose with the greatest presence of cadmium was that of 20% for the three organic sources, with values of 3.05, 1.72, and 1.03 ppm.

Keywords: Organic fertilizer, Mitigation, Cadmium, *Theobroma cacao*

I. INTRODUCCIÓN

El aumento de las actividades humanas en los últimos tiempos está induciendo cambios biogeoquímicos de gran importancia en el ecosistema. Dichos cambios vienen hacer uno de los más relevantes componentes del cambio global, centrándose la atención de la comunidad científica. Siendo los principales factores responsables de estas alteraciones biogeoquímicas la contaminación del suelo, el aire o el agua, relacionándose en las últimas décadas con importantes problemas ambientales, como es así la pérdida de biodiversidad y forestal.

En gran parte los suelos de la cuenca media del Huallaga se encuentran presionadas por el cambio de uso, con características, fuertemente ácidos, baja fertilidad, deficiencia de fósforo y están sujetos a la aplicación de fertilizantes fosfatados en la parte agrícola, conteniendo algunos de ellos cierta cantidad de cadmio (Cd) generando problemas ambientales tanto en el suelo como en el agua.

El Cd viene hacer un metal pesado no indispensable para las plantas siendo este metal pesado muy tóxico, y debido a las diferentes actividades antrópicas tales como uso de fertilizantes fosfatados, la concentración en el suelo se incrementa progresivamente, (García et al., 2012).

La presencia y biodisponibilidad del Cd en los suelos, así como la acumulación del metal pesado en algunos órganos del plantón como las raíces, tallos y hojas, hacen que se ponga en riesgo la exportación del cacao de nuestros agricultores del valle del alto Huallaga. Además, debido a que se cuenta con diferentes fuentes de materia orgánica y no se cuenta con estudios específicos, por lo cual se genera la siguiente interrogante ¿Existirá efecto al aplicar fuentes y niveles de abonos orgánicos en la mitigación del metal pesado Cd en el suelo y en los plantones de cacao (*Theobroma cacao* L.)? De igual manera se plantea la hipótesis:

La aplicación de fuentes y niveles de abonos orgánicos favorecen la mitigación del metal pesado Cd en el suelo y en los plantones de cacao (*Theobroma cacao* L.).

El proyecto de investigación tiene como finalidad generar información sobre la fuente y nivel de abono orgánico recomendable para la mitigación del metal pesado Cd en plantones de cacao.

Con los resultados obtenidos se podrá fortalecer propuestas de manejo para disminuir la absorción de Cd en los cacaotales con la finalidad de recomendar que enmienda utilizar ya que en la presente investigación se utilizó enmiendas de costo económico al alcance del bolsillo de los agricultores.

1.1. Objetivo general

Evaluar las fuentes y niveles de abonos orgánicos en la mitigación del metal pesado Cd en el suelo y en los plántones de cacao (*Theobroma cacao* L.)

1.2. Objetivos específicos

- Evaluar las fuentes y niveles de abonos orgánicos en la disminución del metal pesado Cd en la biodisponibilidad del suelo.
- Evaluar las fuentes y niveles de abonos orgánicos en las características morfométricas de los plántones de cacao (*Theobroma cacao* L.)
- Evaluar las fuentes y niveles de abonos orgánicos presentes en los plántones de cacao.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Marco teórico

2.1.1. Materia orgánica

La materia orgánica en su composición presenta lignina, celulosa, hemicelulosa, almidón, que se encuentran en los residuos vegetales y proteínas que se encuentran en los residuos animales, los cuales son atacados por microorganismos, quienes generan su descomposición para generar otros microorganismos. Durante esta transformación se produce biomasa, agua, calor, y materia orgánica mayor descompuesto. Sin embargo, no se estaría hablando de compostaje en el suelo, sabemos que este proceso puede ocurrir a través de condiciones anaeróbicas o aeróbicas, para lo cual no se presentaría la fase característica de calentamiento (Food and Agriculture Organization [FAO], 2013).

La materia orgánica se puede aplicar al suelo de las siguientes maneras: si hablamos de estiércol en el mismo campo pueden ser fresca, y seca, en el caso del mulch o de las coberturas muertas (paja o barbecho), procesada o en forma de compost, vermicompost, purines o estabilizados (por ejemplo, de estiércol o guano de gallinaza, pavo y aves), cuando alcanza el grado máximo de descomposición, todas aquellas sustancias que quedan en el suelo, empezarán a formar los complejos de carbono, que son muy estables y se degradan lentamente. Este nuevo material es el humus (FAO, 2013).

Sabemos que la composición de la materia orgánica y la fase mineral del suelo, así como el pH, tienen un efecto significativo en la adsorción del Cd; suelos con un elevado contenido de M.O. u óxidos de hierro adsorben más Cd que los suelos que contienen grandes cantidades de arcillas tipo 2:1, sin embargo, presenten alta capacidad de intercambio catiónico (CIC) (Lofts et al., 2005).

Por otra parte, la fracción orgánica más firme, a la vez más resistente a la mineralización, universalmente puede retener los metales pesados, y especialmente el Cd, en formas no disponibles. Sin embargo, la materia orgánica del suelo (MOS) puede presentar efectos contrarios sobre la adsorción del elemento, la fracción soluble logra acomplejarlo, facilitando la movilidad del elemento en el suelo y una vez mineralizado esto permitirá mayor disponibilidad para las plantas (Clemente y Bernal, 2006).

2.1.2. El compost

INN (2004) indica que, el compostaje es un proceso en el cual se descomponen los residuos orgánicos biodegradables a través de una oxidación bioquímica, en una condición controlada, produciendo CO₂ y H₂O, energía calórica y materia orgánica estable.

Asimismo, este producto final se puede utilizar como acondicionador de suelos, o bien, como componente principal para la producción de sustratos especializados para la agricultura. No obstante, su uso sin la madurez adecuada ocasionaría efectos negativos en las plantas, esto debido a la presencia de metabolitos intermediarios fitotóxicos (ZUCCONI et al., 1985), en especial, cuando se emplea como componente básico de sustratos especializados en los viveros. Los efectos fitotóxicos de la materia orgánica inmadura se deben a una variedad de factores, como el contenido de amonio, de ácidos volátiles orgánicos, de metales pesados y de sales (Varnero et al., 2007).

2.1.3. Estiércol de vacuno

El estiércol de vacuno sin tratar forma un importante almacén de contaminantes, ya que es una de las primordiales fuentes de contaminación del suelo y mantos freáticos. Olivares *et al.* (2012) trabajaron en la aplicación de composta y lombricomposta generados a partir de estiércol de ganado vacuno lechero luego de un período de almacenamiento, durante la asimilación de nutrientes a través del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.). Como objetivo segundo cuantificaron los cambios en las propiedades fisicoquímicas del suelo para reducir el empleo de fertilizantes químicos y optimizar las propiedades del suelo. De las cuales se trabajaron con 6 tratamientos: fertilización con lombricomposta, composta, urea, urea + lombricomposta, urea + composta y el testigo. Se evaluó el contenido de macro y micronutrientes tanto en el tejido foliar de lechuga como en el suelo, incluyendo la determinación de MO, pH y Da. Los resultados evidenciaron que el contenido de nutrientes de N foliar de las plantas de lechuga tratadas con composta y lombricomposta, fueron similares respecto a la aportación equivalente del fertilizante nitrogenado inorgánico. Se pudo observar diferencias en los contenidos de Ca, Mg, Zn y Mn foliar en las distintas técnicas de fertilización. Se logró determinar que las superiores condiciones de MO y concentración de macronutrientes se obtuvieron en los suelos con fertilización utilizando la lombricomposta y composta.

2.1.4. Humus de lombriz

Roca (2003) menciona que, el humus de lombriz viene hacer el resultado del proceso de transformación de la materia orgánica que termina en el suelo. Definirlo de manera simple no es fácil porque la humificación, el proceso que permite su obtención, es muy complejo pero lo fundamental es conocer que es importante para la actividad biológica de la

tierra. El humus de lombriz es un material oscuro y granuloso tiene la capacidad de absorber muy bien el calor solar, retener el agua, facilitar el intercambio de gases en las raíces y almacenar y proporcionar a las plantas los nutrientes necesarios para un crecimiento saludable. El humus no es un producto fertilizante o un abono sino un elemento unificador y dinamizador de las sustancias que las plantas aprovechan del suelo para crecer. El humus se genera en las capas superficiales de la tierra a partir de la hojarasca, ramitas secas de los árboles y arbustos, así como de los excrementos animales y también del compost.

El humus viene hacer un abono orgánico con mayor comercializado en el mercado y su composición va depender del sustrato del que se alimenten las lombrices, utilizándose residuos orgánicos que sean de origen vegetal o animal (Schuldt, 2006). Este abono orgánico contribuye los nutrimentos necesarios para que las diferentes plantas puedan realizar su crecimiento y desarrollo (Eyheraguibel et al., 2008); asimismo, contiene compuestos orgánicos que mejoran la disponibilidad de nutrimentos y firmeza al lavado y fijación (Somarriba y Guzmán, 2004); y también es un medio óptimo para la proliferación de hongos y bacterias benéficas, contribuyendo a reducir el riesgo de desarrollar enfermedades en las plantas.

El humus tiene altas concentraciones de elementos solubles orgánicos, entre los más importantes son: los ácidos húmicos, fúlvicos y úlmicos, y su uso en estado líquido va estimular el proceso de mineralización y humificación de los residuos vegetales en el campo del suelo (Somarriba y Guzmán, 2004).

Se sabe que el humus de lombriz en disolvente, también conocido como té de humus, contiene gran cantidad de minerales tales como: nitrógeno, potasio, fósforo y oligoelementos que simbolizan el 1% de toda su composición. Asimismo, los macro y oligoelementos se encuentran en el humus de lombriz en un estado de equilibrio, lo que evita posibles interferencias en la absorción de los nutrientes a causa de un exceso de alguno de ellos (Schuldt, 2006).

2.1.5. Gallinaza

El excremento de gallinas (*Gallus domesticus*) de granja contiene mayores nutrimentos que cualquier otro estiércol para las plantas, sin embargo, requiere un adecuado manejo para evitar la pérdida del nitrógeno. Varias razones explican la baja utilización de gallinaza, esto sucede por poca información de su gran valor como abono orgánico y de todos los cuidados que se necesita para producirlos (AGRICULTURA DE LAS AMÉRICAS, 1965). Sin embargo, en la actualidad, tiene mayor importancia en su uso por la gran demanda de este abono orgánico que sirve para mejorar su desarrollo y crecimiento para las plantas.

Orozco y Thienhaus (1997) investigaron sobre el efecto del abono orgánico de la gallinaza sobre el crecimiento y desarrollo del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el estadio juvenil. Realizándose el ensayo en tres fincas con plantaciones de 20 meses de edad, Región de Nicaragua. En el periodo de investigación que fueron catorce meses se ejecutaron cuatro aplicaciones del fertilizante, cotejando tres niveles (454 g, 908 g y 1,362 g/árbol/ aplicación) un testigo de fertilización mineral (tres aplicaciones de 100 g/árbol de la fórmula comercial 15-15-15, más una aplicación de 100 g/árbol de urea al 46 %) y un testigo sin aplicación. Además, se utilizó un diseño de bloques completos. Teniendo como respuesta que la aplicación de 1.362 g de gallinaza fue el que tuvo estadísticamente un efecto superior en la producción inicial del cacao y en el incremento de diámetro del tallo. La aplicación de 454 g y 908 g de gallinaza resultó estadísticamente igual a la fertilización mineral. En cuanto a la altura de planta no hubo diferencias estadísticas entre cada tratamiento. Finalmente, el tratamiento de fertilización presentó menor efecto sobre el crecimiento y producción del cultivo de cacao.

2.1.6. Metales pesados

Galan y Romero (2008) mencionan que, en la actualidad, se pueden encontrar 59 elementos que pueden ser considerados como “metales pesados” de los 70 elementos metálicos que hay en la tabla periódica, con peso atómico mayor que el del hierro (55,85 g/mol).

El efecto tóxico de los metales pesados se encuentra especialmente en suelos ácidos, el cual perturba el crecimiento y formación de raíces laterales y secundarias en una planta (Tadeo y Gómez-Cadenas, 2008).

La toxicidad de los metales va a depender de la reactividad y movilidad con otros componentes del ecosistema. La evaluación se realiza mediante la extracción secuencial de Tessier (Tessier, 1980) que permite obtener fracciones del metal, el cual predice su movilidad y reactividad (Rao *et al.*, 2008) y así, se da la determinación del factor de movilidad a partir de las fracciones del metal (Kabala y Singh, 2001).

2.1.7. Contaminación del suelo por Cd

2.1.7.1. Aspectos físicos del Cd

El metal pesado Cd por obtener una densidad de 8.25 [gcm⁻³], forma parte de los metales pesados con una densidad superior a 6 [gcm⁻³], otra denominación es elemento traza, es decir, elemento presente en la corteza terrestre en un valor inferior al 1%, continuamente se muestra en pequeñas cantidades asociado a minerales de zinc (Gonzales,2010).

Herrera (2010) manifiesta que el Cd bien hacer un elemento que pertenece en la Tabla Periódica al Grupo II-B, puesto entre el cinc y el Mercurio, teniendo características muy similares a éstos. Presenta un número atómico de 48 y por su configuración electrónica terminal $4d^{10} 5s^2$, su ion monoatómico más firme es el Cd^{2+} . En la naturaleza se le encuentra agrupado al Zn, Cu y Pb. Presenta gran afinidad por el azufre, de allí que su compuesto natural más común es el CdS. Otros compuestos comunes son: CdO, $CdCl_2$, $Cd(OH)_2$. Se le usa importantemente en la fabricación de pinturas y baterías, en el recubrimiento de superficies metálicas para protegerlas de la oxidación, como componente de aleaciones para soldaduras de bajo punto de fusión y en la industria química en procesos catalíticos. En el análisis cualitativo se le puede determinar a través de la precipitación como sulfuro con otros elementos del Grupo II y se le separa del cinc valiéndose de su insolubilidad para los diferentes hidróxidos de metales alcalinos.

2.1.7.2. Origen de la contaminación del suelo por Cd

La incorporación del Cd en el ambiente a través de varios medios naturales y antropológicas, donde las bajas cantidades o concentraciones de Cd se encuentra en la corteza terrestre ($<1 [mg\ kg^{-1}]$), mientras, en la parte superficial del suelo éstas concentraciones de Cd varia de valores inferiores de a 1 a 3 $[mg\ kg^{-1}]$, por otra parte en suelos contaminados el Cd es menor a 1 $[mg\ kg^{-1}]$.

Un factor influyente en el ingreso del cadmio en el suelo de cultivos agrícolas es por medio de la fertilización fosfática, donde este tipo de fertilización tiene como materia prima fundamental a las rocas fosfóricas, y estos a la vez esta compuestos de metales pesados, y la cantidad o concentración depende del sitio o geografía, sin embargo, se han reportado valores superiores en la corteza terrestre, los fertilizantes industriales contienen una gran proporción de metales donde estos son suministrados en el suelo con el fosforo (Herrera, 2010).

2.1.7.3. Disponibilidad de Cd en el suelo

El cadmio generalmente se acumula en la capa superior del suelo y, por lo tanto, puede ser absorbido por las raíces de las plantas. Las sustancias húmicas tienen una alta afinidad con los cationes de metales pesados e interactúan con ellos en el agua, a través del intercambio iónico. La asociación de cationes metálicos se produce en gran medida a través de la complejidad entre ellos y los grupos $-COOH$ de los ácidos húmicos y fúlvicos. Por lo general, los ácidos húmicos dan lugar a complejos que son insolubles en agua, mientras que los complejos que contienen ácidos fúlvicos más pequeños son solubles (Gonzales, 2010).

Sánchez (2003) mencionan que existe una diversidad de metales de alto peso, incluyendo el Cd dentro de los componentes de la superficie del terreno, respecto a estos metales se consideran ciertos patrones que siguen: localizados en el suelo, dentro de una solución, o sin movimiento por adsorción y pp. La importancia del funcionamiento de estos elementos y sus concentraciones de Cd dentro del suelo es de vital para conocer el nivel de contaminación, el nivel de toxicidad que perjudican a los seres vivos. El nivel de metal que se asimila se toma como la sumatoria de las fracciones solubles en la etapa líquida y se retiene en la etapa sólida que se transfiere a una solución que absorben las raíces. Con relación a lo anterior, estos pueden ser concentrados por las plantas y luego incluirse a la cadena alimenticia, también puede trasladarse a la superficie por disipación, pueden desplazarse hacia aguas de la superficie o aguas subterráneas.

2.1.7.4. Factores del suelo que afectan la disponibilidad y acumulación del Cd.

Gonzales (2010) menciona que, el Cd en diversas dosis pueden incrementar debido a las actividades antrópicas y diversas etapas que suceden en el suelo: la erosión de la madre roca, la disolución, la solubilidad, la acción de absorber de las plantas y no movilización de organismos edáficos, el intercambio en los sitios de cambio de arcillas y materia orgánica, la formación de quelatos con diferentes fracciones de la materia orgánica del suelo y la lixiviación de los iones móviles, entre otros; existen propiedades que influyen en la reacción, transformación y la movilidad de metales en la superficie.

a) pH, ya que, en suelos con características ácidas, es de gran importancia el nivel de Cd^{+2} , esto sucede ya que el ion se adsorbe de forma débil en las arcillas y otras partículas minerales. No obstante, con valores superiores a un pH de 7 el Cd^{+2} precipita como sulfuro, carbonato o fosfato. Por otro lado, existe un método eficaz de almacenar el ion Cd e impedir su absorción por las plantas, este resulta ser el tratamiento del suelo con cal para incrementar el pH.

b) Material orgánico, porque debido a los componentes del material orgánico que brinda un lugar para que los metales sean absorbidos, esto sería la principal fuente para el compartimiento de cationes en la parte superficial del suelo, incluyéndose los suelos usados en cultivos de agricultura, suelen presentar dosis mínimas de material orgánico. Los beneficios del material orgánico en la capacidad de intercambiar cationes son evidentes, sin embargo, este suele tener una variación debido al suelo y su composición. Además, el material orgánico tiene la capacidad de retención de metales debido a su intercambio de cationes y a su facultad quelatante. Por otro lado, con una alta presencia de material orgánico existe la

probabilidad de presencia de micorrizas, que beneficien en la asimilación de Cd. La micorriza arbuscular beneficia en la asimilación de fosfatos y adicionalmente en liberar cationes de Cd, con la finalidad de no ser absorbidos por la planta.

c) Cuando superior es la facultad de intercambiar un catión, superior será la característica de que se pueda fijar un metal en la superficie del terreno. La ventaja de adsorción de diversos metales se somete a la valencia y el radio catiónico, a gran tamaño y mínima valencia, mínimamente será la retención.

d) El tipo y cantidad de arcilla, ya que, los componentes granulométricos del suelo son fundamentales en retener metales, la característica de adsorción de las arcillas.

e) La interrelación de las capacidades edáficas influencia de forma evidente en el metal y su conducta.

f) La adición de sales aumenta la movilidad del metal pesado. Como primera instancia, se tiene a los cationes que se asocian con las sales, y reemplazan los metales en sitios de adsorción. En segunda instancia se tiene a los aniones de cloruro que forman conjuntos de sales que son solubles con los metales pesados (Cd, Zn y Hg).

Cd, Ni y también el Zn comprende una afinidad inferior en los ácidos orgánicos, siendo sometidos del pH; de esta forma son lixiviados de forma simple y fácil por la parte inferior del suelo (zona de raíz) en condición ácida. (EGIARTE et al., 2008).

Cd y el Zn muestran tasas superiores en el reciclaje de hojarasca (Starr *et al.*, 2003; Johnson *et al.*, 2003). En algunos casos las especies de las familias salicáceas (Populus y Salix) muestran tasas superiores de almacenamiento de Cd y Zn en sus hojas (Madejón *et al.*, 2004). En el caso de estas especies, el regreso de metales hacia la parte del suelo se debe a la descomposición de hojarasca que produce la acumulación y el incremento de las tasas biodisponibles de dichos componentes en la superficie del suelo (Vandecasteele *et al.*, 2008).

Cd es el elemento que muestra mínima afinidad en la manera de adsorber, debido a esto es más soluble y movable, que produce un efecto de toxicidad alto en el suelo, plantas, entre otros (Guzmán y Barreto, 2011). Existe una manera natural, el Cd se asocia con el mineral del fosforo y zinc, debido a esto se encuentra un fertilizador que puede convertir un metal bioacumulante desde una aplicación de fertilizantes de fosfatos o material orgánico que tienen origen de los residuos de la municipalidad (Bonomelli *et al.*, 2003).

Se detalla la conducta de adsorber el Cd en el suelo de diversas formas matemáticas, se reconoce como isotermas que se absorben con la finalidad de predicción de la capacidad y fuerza para retener el metal (Kabata y Arun, 2007; Limousin, 2007).

Al Cd se hace conocido como un metal pesado de tendencia superior para acumulación en la planta. Dicho elemento ocasiona un desequilibrio grave en la fase absorción de nutrientes y en el transporte de agua en la planta (Singh y Tewari, 2003). Lo positivo de acumular el Cd en la planta se considera posibles candidatos fitorremediador de los metales (Reyes *et al.*, 2016).

2.1.8. Mitigación

El término amplio mitigación se refiere a la "moderar o reducción" de algo que puede tener un impacto negativo en un área en particular. En el contexto del cambio climático, se define como cualquier acción que tenga como resultado la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero en un sector determinado. Hay dos formas principales de abordar esto, una es controlar las fuentes de emisión, que se puede aplicar a los edificios, el transporte, la industria, la agricultura, la gestión de residuos, el suministro de energía, etc., y la otra es aumentar las fuentes de emisión o ahorrar sumideros de carbono (IPCC, 2001)

2.2. Estado del arte

2.2.1. Local

Florida *et al.* (2018) en su estudio en Leoncio Prado, Huánuco, con la finalidad de determinar el pH del suelo y su influencia en el nivel de adsorción del Cd en cacao CCN-51. Para la metodología se seleccionó 20 parcelas de la Cooperativa Cacao Alto Huallaga, de las cuales se analizaron 20 muestras de suelos y de almendras. Para los resultados presentan el pH promedio del suelo con 5.68; el cd existente en el suelo con $0.32 \mu\text{g g}^{-1}$ y el contenido de cd en las almendras de cacao registró $0.98 \mu\text{g g}^{-1}$.

Guzmán (2019) en su estudio de plantones de cacao para la reducción de cadmio en el suelo en Tingo María, dicho estudio se realizó en dos suelos con la particularidad del elemento cadmio presente en él, como siguiente paso se adiciono cadmio en los plantones, a la misma vez materia orgánica para subsanar. Como dato inicial se tomó el cadmio del suelo y luego al final se evaluó el cadmio total y el Cd existente en las hojas. Para los resultados se obtuvo que a más concentración de cadmio incrementa la dosis disponible de cadmio, cadmio total y Cd presente en las hojas, para la reducción de Cd disponible y total del suelo se mostró la dosis de materia orgánica de 1.07% que presentaron un 0.69 y 1.42 ppm de cadmio a diferencia del tratamiento testigo; para el Cd presente en las hojas de cacao se mostró % a la

dosis de materia orgánica de 1.07% que presentó una reducción de 65.22% con respecto al testigo, por último la correlación Cd disponible-cadmio total (fue de 0.56 y 0.52 ppm).

Tolentino (2020) menciona en su investigación de concentraciones de Cd en plántones de cacao en Leoncio Prado, Huánuco, con la aplicación de humus y roca fosfórica, los datos de cadmio en el suelo, roca fosfórica y humus antes del ensayo fue de 0.85, 20.5757 y 0.62 ppm respectivamente. Para los resultados de dosis de Cd presente fue menor con concentraciones elevadas de material orgánico y mayor con niveles elevados de roca fosfórica; para las hojas de cacao se reduce la presencia de cadmio a un 1.5 ppm con el uso de materia orgánica de 15%; para la correlación de Cd presente en roca fosfórica- cadmio foliar fue positiva y negativa en materia orgánica-cadmio foliar.

Merino (2013) en su estudio de abonos de microorganismos en plántones de cacao en Leoncio Prado, Huánuco., objetivo para determinar la nutrición con abonos orgánicos (bocashi, gaicashi y compost) en los plántones de cacao, para metodología se aplicaron los abonos para cada unidad experimental, posteriormente se evaluó parámetros biométricos. Para la variable altura se obtuvo un 38.4 cm con la aplicación de Bocashi + MEC; para la variable diámetro se obtuvo un 7.4 cm con la aplicación Bocashi + MEC; para el número de hojas se obtuvo una media de 16.78 con la aplicación Bocashi + MEC; en conclusión, la aplicación de los abonos orgánicos supera los rangos de crecimiento en relación con el testigo, el Bocashi + MEC muestra un resultado positivo e incrementa en los parámetros biométricos. Por otro lado, con respecto al cadmio, este no influye negativamente en el desarrollo o crecimiento de la planta.

Zavala (2019) en su estudio de compost y humus orgánico en plántones de cacao en Leoncio Prado, Huánuco, para reducir el cadmio, para la metodología se realizó un muestreo para la obtención del sustrato de inicio y se calculó la presencia de cadmio, posteriormente se colectó el compost y humus para el uso de sustrato de los plántones; finalmente se evaluó la altura de plántones, los efectos del compost y humus con relación de los plántones y la reducción de cadmio. Para los resultados en hoja se obtuvo que reduce la presencia de cadmio a 29% el compost y 40.79% el humus, en tallo se reduce a 31% el compost y 25% el humus, sin embargo, en la raíz se presenta una mayor presencia de cadmio; para la reducción de cadmio se encontró la mejor dosis la aplicación de compost y humus a dosis menores del 40%; de la misma forma, para las variables biométricas se obtuvo un 45.09 cm de altura con el testigo adicional (sustrato o suelo sin inocular).

2.2.2. Nacional

Llatance *et al.* (2018) en su investigación ejecutado en el Departamento de Amazona, Perú, estudiando siete especies vegetales (*Pouteria caimito* (Ruiz & Pav.) Radlk., *Matisia cordata* Bonpl., *Malvaviscus* sp., *Vochysia* sp., *Carludovica palmata* Ruiz & Pav., *Attalea* sp. y *Theobroma cacao* L.) que absorben Cd total de forma natural. La metodología consta de la colección de muestras de suelo para corroborar la existencia de metales, seguido se reconoce las especies con la finalidad de seleccionar plantas con presencia de enrollamiento foliar y clorosis. Posteriormente se cuantifico la cantidad de Cd total en hoja, tallo y raíz mediante espectrofotometría de absorción atómica. Finalmente, la especie *Carludovica palmata*, registro una concentración superior de Cadmio total, primordialmente en la raíz (0.34 mg.kg^{-1}), por lo que se concluye como una especie fitorremediadora.

Huamaní *et al.* (2012) determinaron la existencia de Cd y Pb en el suelo y hoja del cacao en parcelas de 7 años de la región de Huánuco y Ucayali. Para la metodología se colectó y analizó en el laboratorio muestras tomadas en las parcelas orgánicas. Se llevó a cabo un análisis de correlación de Pearson con el contenido de Pb y Dc que existen en el suelo con variable foliar (fosforo, manganeso, calcio, zinc, cadmio y plomo) y del suelo (arcilla, arena y potasio). Dentro de los suelos, exclusivamente en el caso de K se presenta una deficiencia; por otro lado, el tejido foliar tiene deficiencia de nitrógeno, fosforo, potasio, manganeso y zinc; se encuentran valores promedio de Cd y Pb que se encuentran en suelos son 0.53 y 3.02 ppm y en las hojas de cacao de 0.21 y 0.58 ppm respectivamente.

Rosales *et al.* (2021) en su investigación de Cd y Pb en plantaciones de cacao de Satipo - Junín, esto consta de un reconocimiento de la zona, posteriormente se realizó una recolección de muestras a 30 cm de profundidad, luego se llevaron a procesar esas muestras para un análisis químico, finalmente se realizó la digestión de las muestras de suelo. Para el resultado se presentaron para el caso del suelo, una media de Cd con un valor de 1.25 mg/kg tal valor está dentro de los límites de estándares permisibles cuyo valor es 1.4 mg/kg; por otro lado, en el Pb se encontró un valor de 19.44 mg/kg con un rango de aceptación dentro de los límites permisibles.

Correa (2018) en su investigación sobre la absorción de cadmio en cacao. En San Martín. La metodología empleada fue de 5 parcelas donde se evaluaron variables de altura, diámetro, materia seca, y presencia de cadmio (aérea y raíces). Para los resultados en el efecto de las enmiendas cálcicas se obtuvo a la dolomita como enmienda con una superior absorción debido a sus propiedades químicas; para las enmiendas orgánicas en la evaluación de parámetros biométricos se presentó al guano de isla con un rango superior con una altura de

29.96 cm, diámetro de tallo de 6.69 cm, materia seca aérea de 25.76 g y materia seca radicular de 13.30 g; con relación a la variable de absorción de cadmio en la parte aérea y en las raíces se presentó a las enmiendas orgánicas (gallinaza y compost de cáscara de huevo) con un mayor impacto en relación a esta variable.

Chupillón (2017) en su investigación sobre Cd y Pb en cacao en plantaciones comerciales en 6 genotipos de cacao en la región de San Martín, se evaluó la absorción de Cd y Pb en fase de vivero, posteriormente la evaluación de parámetros biométricos y análisis de laboratorio. Para los resultados en la variable altura (110 días) se mostró al genotipo de cacao común con 34.8 cm siendo superior a los demás; para la variable de diámetro (110 días) se mostró el genotipo POUND-12 con 8.1 cm siendo superior a los demás; para la variable número de hojas (110 días) se mostró al genotipo de CCN-51 con 20 hojas, siendo superior a los demás; en conclusión la absorción de Cd y Pb no presenta alteraciones en el desarrollo de parámetros biométricos; para la absorción de cadmio se tiene como promedio 8.2 $\mu\text{g planta}^{-1}$ y para el Pb como promedio 33.7 $\mu\text{g planta}^{-1}$, del mismo modo la absorción de Cd y Pb fue superior en las raíces con 2.9 $\mu\text{g planta}^{-1}$ y 16.7 $\mu\text{g planta}^{-1}$ respectivamente. Por otro lado, el genotipo que mostró una capacidad inferior de absorción de cadmio fue IMC-67 con 8 $\mu\text{g planta}^{-1}$ de una dosis inicial de 25 mg l^{-1} de cadmio por planta.

2.2.3. Internacional

Domínguez (2009) en su estudio de un área ubicado en el Corredor Verde del Guadamar (Sevilla) donde hubo presencia de elementos mineros se vio el tema de los elementos traza (ET), dicho estudio registro a la especie álamo blanco (*Populus alba*) con presencia de concentración foliar de cadmio y zinc donde se alcanzó los 3 y 410 mg kg^{-1} , respectivamente; lo que indica que supera los niveles permisibles de concentración por planta superior, además el elemento Cd podría tener consecuencias letales en los seres herbívoros. Por otro lado, al mismo tiempo se realizó una evaluación de heces de vacuno donde se registró la existencia de elementos que no son esenciales (Pb, As, Tl y Cd) sin embargo para los elementos esenciales de ganado (Cu y Zn). Posteriormente, la evaluación del pH presentó alta influencia en la existencia de los elementos Cd, cobre, plomo y zinc, mientras el material orgánico, la textura o la facultad de intercambiar cationes presentan una mínima influencia. Elemento Cd resultó como el elemento más móvil, por otra parte, bajo características de campo fue movilizado de las raíces a las hojas superiores. En conclusión, se determinó la característica de retención de cadmio de forma superior en las raíces finas, desde plantas sujetas a diferentes niveles de cadmio.

Zubillaga (2012) investigo sobre las plantas fitorremediadoras en los suelos con presencia de metales en Coruña, España. Posteriormente en los resultados se presenta que al introducir la enmienda calcárea en un suelo con presencia de metales se produjo una disminución en la existencia de Cd y Zn, dando como consecuencia una remediación de sitios contaminados. Por otro lado, el aumento de la conexión Cadmio y Plomo en la parte aérea/raíz con la introducción de compost, potencializaría el efecto fitorremediador de Festuca, ya que se absorbió el metal en mayor proporción. En conclusión, al aplicar el compost con o sin presencia de la planta, se disminuye la translocación de los elementos Zn, Cu y Cd total, en tal sentido estos elementos se ven limitados para lixiviaciones que van hacia los horizontes inferiores; por otro lado, esta consecuencia no se evidencia en la porción extraída con DTPA.

Bravo et al. (2014) estudiaron el efecto de retener y el factor de movilidad del Cadmio en la superficie del terreno que son usados en bosques en el Departamento de del Cauca (Colombia), cultivo de *Solanum tuberosum* y *Pennisetum clandestinum* presentando características de la propiedad física y química, existiendo acidez superior, existencia de alófanos, contenido elevado de carbono orgánico, capacidad superior de intercambio de cationes, y densidad mínima. En los resultados de la determinación donde influenciaron la retención y el factor móvil del Cadmio, las calidades del material orgánico (M.O) es estudiado por índices de humificación que se obtienen por caracterizar diversas porciones. Entre los valores hallados están el potasio y nitrógeno, respectivamente, de 131.98 y 1.18 en suelos de bosque, 340.93 y 1.19 en cultivo, y 170.36 y 1.19 en pasturas. Se encuentra M.O. en calidad se tiene un resultado con significancia en estas fases, así, una buena calidad redundante en mínima movilidad de Cd.

Sánchez et al. (2011) investigaron sobre el Cadmio y su presencia pseudo-total en los estados de Venezuela, en el rango 0.02 a 0.08 mg/kg en terrenos agrícolas de diversos cultivos, mientras que Miranda et al. (2008) mencionaron valores mínimos entre 0.68 a 1.73 mg/kg en suelos cultivados con hortalizas. A esto se le añade las conclusiones de Liao y Selim (2009) determinaron que la etapa de adsorción de Cd se vincula primordialmente con la presencia de Ca y la CICE.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del experimento

Esta investigación se desarrolló dentro del Vivero de la Facultad de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS), que se encuentra a una distancia de 1.5 km desde la ciudad de Tingo María en la margen izquierda considerando la carretera central desde Tingo María hacia Huánuco, entre los meses de noviembre 2019 a abril 2020.

3.1.1. Ubicación política y geográfica

Ubicado en el distrito de Rupa Rupa, provincia de Leoncio Prado de la región Huánuco. Considerando la ubicación geográfica el vivero se encuentra ubicado a 390285 al Este, 8970897 al Norte y a una altitud de 660 msnm.

3.1.2. Condiciones climáticas

El clima característico que se encuentra en la zona es tropical, en el año 2017 se observó las medias aritméticas respecto a la temperatura que oscilaban alrededor de 25.54 °C, con precipitación anual de 3714 mm y humedad relativa de 83% (SENAMHI, 2018).

3.2. Materiales y equipos

3.2.1. Material genético

- Semillas de cacao.

3.2.2. Materiales y herramientas

- Libreta de campo.
- Pala tipo cuchara.
- Zaranda.
- Carretilla.
- Plumón con tinta indeleble.
- Regla

3.2.3. Para la incubación del suelo

- Sulfato de cadmio pentahidratado
- Agua destilada
- Bidones de 20 L

3.2.4. Para el llenado de bolsas

- Sustrato contaminado con 10 ppm de Cd.
- Abonos orgánicos (compost, estiércol de vacuno, humus de lombriz y gallinaza).

- Bolsas de polietileno color negro.

3.2.5. Equipos

- Cámara fotográfica.
- Computador portátil (Laptop).
- Receptor GPS.
- Vernier
- Estufa
- Balanza gramera

3.3. Metodología

3.3.1. Acondicionamiento del lugar de ejecución

El vivero donde se ejecutó el experimento tiene camas de cría de concreto y en el tinglado se utilizó malla Rashell color negro con un ingreso de luz del 50%. En ello se realizó la limpieza de las camas de cría, para instalar el proyecto de investigación.

3.3.2. Obtención del sustrato

El sustrato que se usó en el proyecto de investigación fue el sustrato que se utiliza en el vivero forestal, se tomó 1kg de muestra para realizar el análisis fisicoquímico, cantidad de cadmio total y disponible en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

3.3.3. Inoculación con cadmio al sustrato inicial

Para incubar 10 ppm de sulfato de cadmio al sustrato inicial se realizó los cálculos para saber cuántos gramos de Sulfato de cadmio utilizar para la solución patrón, después de los cálculos se obtuvo 2.282 gr de $3\text{CdSO}_4+8\text{H}_2\text{O}$ que se disolvió en 1litro de agua destilada para tener nuestra solución patrón.

Para saber cuántos ml usar de solución patrón para contaminar el sustrato de cada tratamiento se realizó a partir del % de humedad a capacidad de campo del suelo (42.87), a partir de este dato se calculó el requerimiento de agua destilada para diluir en ella el cadmio. Luego se removió bien el sustrato en la solución dejándolo incubar por 30 días.

3.3.4. Preparación de sustrato, embolsado y acomodo de bolsas

La mezcla de los sustratos fue de acuerdo a los tratamientos considerados en el experimento, se utilizó una pala tipo cuchara para homogenizar la mezcla, luego se realizó el llenado manual del sustrato en las bolsas de polietileno, previo a esta mezcla se analizó el sustrato en el laboratorio de suelos para verificar que el sustrato este contaminado a 10 ppm de Cd (se incubo el Cd por 30 días). Para el transporte de las bolsas a las camas de cría se utilizó una carretilla y en el acomodo se prosiguió el croquis de la parcela experimental en donde el

total de bolsas fue de 780 para los 13 tratamientos (interacción de las fuente orgánicas y dosis (porcentajes de las fuentes) que incluye en la evaluación.

3.3.5. Obtención y siembra de semillas de cacao

Para la obtención de semillas se ubicó una parcela de cacao, donde se cosechó las mazorcas maduras de cacao, se descoco y se quitó el mucílago con aserrín, luego se desinfectó con Homai (Benzimidazol + Ditiocarbamato) para evitar el ataque de hongos.

En un periodo de 24 horas antes de la siembra se realizó un pre-germinado en donde el indicador es la salida de la radícula, inmediatamente se realizó la siembra colocando la semilla con la radícula hacia abajo, cubriendo la semilla hasta las 2/3 partes de su dimensión de la misma.

3.3.6. Registro de Observaciones

a) Altura de la planta

Se evaluó la altura de la planta una vez al mes desde la instalación en vivero por 4 meses, con el uso de una regla de 30 cm desde la base hasta el ápice terminal.

b) Diámetro del tallo

Se evaluó el diámetro de la planta una vez al mes desde la instalación en vivero por 4 meses, con el uso de un vernier electrónico.

3.3.7. Selección de plantas de los tratamientos y testigo para la evaluación de absorción del Cd

Cada unidad experimental estuvo comprendida de 20 plantones de cacao, de las cuales 6 plantones de cacao fueron sacrificados para la evaluación de Cd en tejidos de la planta y Cd total y disponible en el suelo, con la finalidad de evitar la influencia entre tratamientos.

3.3.8. Análisis final de Cd en el sustrato

Para determinar el contenido final de Cd en el sustrato utilizado, se procedió a extraer seis bolsas por tratamiento, las mismas que fueron llevadas al laboratorio para el análisis de contenidos de Cd, se realizaron comparaciones con el análisis inicial para determinar el diferencial de acumulación o reducción de contenido de Cd en el suelo.

3.3.9. Análisis final de absorción de Cd por los órganos de los plantones de cacao

Para determinar absorción de Cd final, se procedió a sacar los plantones de seis bolsas por tratamiento, de allí se sacó una muestra representativa por tratamiento y del testigo, se separó el sistema radicular del tallo y hojas por cada repetición y tratamiento, las

mismas que se enviaron al laboratorio para ser analizadas por espectrofotometría de absorción atómica para determinar el Cd disponible en los órganos de los plántones de cacao.

El procedimiento a seguir (Tantalean, 2017) para el análisis del Cd disponible en tejido vegetal fue el siguiente:

- Se pesó 2 g de muestra molida y se colocó en un crisol identificado previamente.
- Se Colocó dentro de la estufa a 105 °C por un periodo de 24 horas.
- Se extrajo la muestra de la estufa y se pesó.
- Se colocó los crisoles en la mufla a una temperatura de 450 °C por un periodo de 8 horas.
- Se apagó y dejó que enfríe antes de remover los crisoles.
- Se humedeció las muestras calcinadas con agua destilada.
- Se agregó lentamente 2 mL de HCl concentrado.
- Se colocó los crisoles en plancha eléctrica, se calentó lentamente hasta que el HCl se seque.
- Se agregó 2 mL de agua destilada y 2 mL de HCl concentrado.
- Se calentó lentamente hasta que el líquido agregado seque.
- Se agregó 2 mL de HCl concentrado y calentar lentamente a fin de permitir la disolución.
- Se transfirió la cantidad del crisol ayudándose con agua caliente y se filtró en una fiola de 100 mL
- Se realizó la lectura en el espectrofotómetro de Absorción Atómica.

3.3.10. Parámetros registrados

- Resultado de análisis inicial de contenido de cadmio en el suelo o sustrato que se utilizó.
- Resultado de análisis inicial de absorción y acumulación de Cd en las fuentes de abonos orgánicos.
- Resultado de análisis final de contenido de Cd en el suelo por cada tratamiento más el testigo.
- Se evaluó el Cd en raíces, de igual manera el Cd en hojas y el Cd en el tallo, de seis plantas por tratamiento.
- La altura de la planta se midió desde la base de la planta hasta la última hoja con una regla graduada.

- El diámetro del tallo se midió con la ayuda del vernier mecánico midiendo a 5 cm de altura del tallo.

3.3.11. Interpretación de los resultados

La biodisponibilidad del cadmio en el suelo y la absorción de Cd por los diferentes órganos del plantón de cacao, se determinaron a través de:

- Evaluación del contenido de Cd por efecto de la aplicación de las fuentes de abonos orgánicos en el suelo

El contenido del Cd en el suelo se obtuvo del diferencial entre el análisis inicial y el análisis final del suelo, el cual nos indicó si el compost, estiércol de vacuno, humus de lombriz o gallinaza a diferente concentración o proporción redujo la biodisponibilidad del Cd en el suelo.

- Evaluación de la absorción de Cd por los diferentes órganos del plantón del cacao

La concentración de Cd en diferentes órganos del plantón del cacao se determinó por el diferencial entre el análisis de absorción inicial y el análisis de absorción final de la raíz, tallo y hojas del plantón del cacao, el cual indicó si el compost, estiércol de vacuno, humus de lombriz o gallinaza redujo la biodisponibilidad para la absorción del Cd en los diferentes órganos del plantón del cacao.

3.4. Componentes y tratamientos del experimento

Los componentes considerados en el presente experimento estuvieron determinados por las cuatro fuentes de abonos orgánicos y tres niveles de dichos abonos. Y a la vez se consideró un testigo.

Las fuentes de abonos orgánicos serán los siguientes:

- a1 = Compost
- a2 = Estiércol de vacuno.
- a3 = Humus de lombriz
- a4 = Gallinaza.

En caso de los niveles de abonos estuvieron distribuidos en proporciones con el sustrato normal utilizado en el vivero (Abono + Sustrato), obteniéndose las siguientes proporciones a probar:

- b1 = 20% + 80%
- b2 = 30% + 70%
- b3 = 40% + 60%

Con las uniones de los componentes del experimento, lo cual estuvieron conformados por 12 tratamientos más un testigo que no presentó fuente de abono orgánico (**Tabla 1**).

Tabla 1. Tratamientos considerados para el experimento.

N°	Clave	Descripción
1	$T_1 = a_1b_1$	20% de compost + 80% de sustrato
2	$T_2 = a_1b_2$	30% de compost + 70% de sustrato
3	$T_3 = a_1b_3$	40% de compost + 60% de sustrato
4	$T_4 = a_2b_1$	20% de estiércol de vacuno + 80% de sustrato
5	$T_5 = a_2b_2$	30% de estiércol de vacuno + 70% de sustrato
6	$T_6 = a_2b_3$	40% de estiércol de vacuno + 60% de sustrato
7	$T_7 = a_3b_1$	20% de Humus + 80% de sustrato
8	$T_8 = a_3b_2$	30% de Humus + 70% de sustrato
9	$T_9 = a_3b_3$	40% de Humus + 60% de sustrato
10	$T_{10} = a_4b_1$	20% de Gallinaza + 80% de sustrato
11	$T_{11} = a_4b_2$	30% de Gallinaza + 70% de sustrato
12	$T_{12} = a_4b_3$	40% de Gallinaza + 60% de sustrato
13	T_0	Testigo (sustrato empleado tradicionalmente en vivero)

3.5. Diseño del experimento

Por considerarse la ejecución del experimento en un vivero, el diseño adecuado fue el diseño completo al azar (DCA), con arreglo bifactorial 4 A (fuentes orgánicas: Compost, estiércol, humus, gallinaza) 3 B (dosis de fuentes orgánicas: 20%, 30%, 40%) y un testigo adicional, con tres repeticiones.

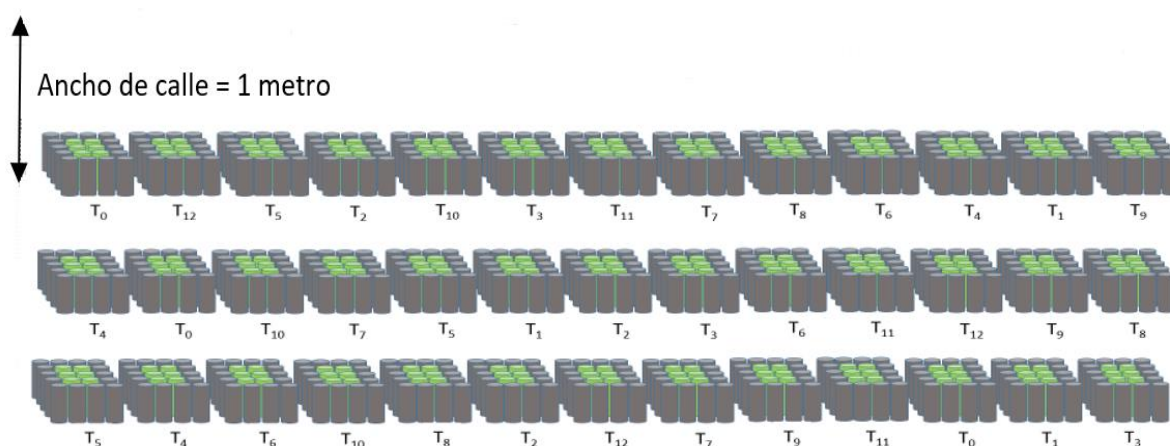
Fueron estudiadas las variables (Y) de cada uno de los plantones de cacao sometidos a sus respectivos tratamientos evaluadas en el análisis de varianza (Tabla 2) y en caso de encontrar significancia estadística se utilizó una prueba de comparación de medias denominada “Tukey” con un $\alpha = 0.05$ concerniente al nivel de significancia o tolerancia. Para generar el ANVA se usó contrastes ortogonales para comparar el factorial versus testigo.

Tabla 2. Esquema del análisis de varianza.

Fuente de variación	GL	SC	CM
A	a-1=3	SCA	SCA/glA
B	b-1=2	SCB	SCA/glB
AXB	(a-1)(b-1)=6	SCAxB	SCAxB/glAxB SCAxB vs
AXB VS TESTIGO	2-1= 1	SCAxB vs Testigo	Testigo/gl
Error	abr-1=23	SCee	SCee/glee
Total	35		

3.6. Croquis de la parcela y unidad experimental

El croquis de la unidad experimental estuvo constituido por tres camas de cría de concreto, en ello se acomodó las bolsas con sustrato distribuidos aleatoriamente (Figura 1).

**Figura 1.** Distribución de los tratamientos en la parcela experimental.

3.6.1. Características de la parcela

Número de camas de cría	:	3 camas
Largo de las camas de cría	:	10 m
Ancho de las camas de cría	:	01 m

3.6.2. Características de la parcela

Total de unidades experimentales	:	39
Unidades experimentales por camas	:	13
Largo de la parcela	:	10 m
Ancho de la parcela	:	06 m

3.6.3. Total de plantas del experimento

Plantones por unidad experimental	:	12
Plantones evaluados por parcela	:	06
Plantones por cama de cría	:	78
Plantones en el experimento	:	780

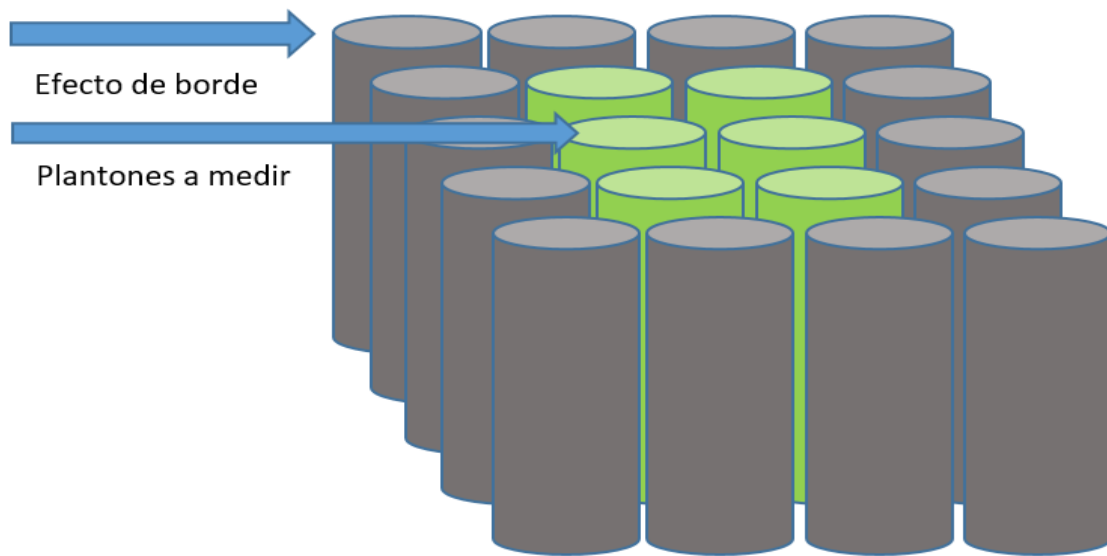


Figura 2. Esquema de una unidad experimental.

El estudio presento el método inductivo como proceso para la obtención de sus conclusiones, debido a que se sustentó en lo específico a lo general (Bernal, 2010); Además, considerando el tipo de investigación, pertenece al tipo longitudinal ya que se usó para el análisis de cambios que existen en el tiempo de determinadas variables (evaluación antes y después). Mediante este estudio se recolectaron datos a través del tiempo en puntos o periodos específicos para hacer inferencias respecto al cambio, sus determinantes y consecuencias.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Efecto de las fuentes y niveles de abonos orgánicos en la disminución del metal pesado Cd en la biodisponibilidad del suelo

Para la investigación se obtuvo como mejor resultado el T₇ (20% de humus + 80% de sustrato) con cadmio disponible de 0.98 ppm y cadmio total de 4.13 ppm, le sigue el T₂ (30% de compost + 70% de sustrato) con cadmio disponible de 1.02 ppm y cadmio total de 3.69 ppm; entre los tratamientos con resultado elevado de cadmio se tiene al testigo T₀ (sustrato contaminado con 10 ppm sin MO) con cadmio disponible de 2.97 ppm y cadmio total de 7.37 ppm, seguido del T₁₂ (40% de Gallinaza + 60% de sustrato) con cadmio disponible de 1.95 ppm y cadmio total de 5.27 ppm (**Tabla 3**).

En tal sentido se tiene como mejor resultado al tratamiento T₇ (20% de humus + 80% de sustrato) con cadmio disponible de 0.98 ppm y cadmio total de 4.13 ppm, estos datos fueron superiores a lo reportado por Guzmán (2019) en su estudio de plántones de cacao para evaluar el efecto de abono orgánico en la reducción de cadmio en los suelos de Tingo María, como resultado obtuvo en la reducción de cadmio disponible y total del suelo la dosis de materia orgánica al 1.07% que presentó un 0.69 y 1.42 ppm de cadmio, a diferencia de los resultados de nuestra investigación estos rangos de cadmio son superiores, por ende, se entiende que al adicionar compost al 20% al sustrato influye en la disminución de cadmio en el suelo comparado si se adiciona materia orgánica al 1.07%; asimismo, Zavala (2019) en su estudio de compost y humus orgánico en la absorción de cadmio en plántones de cacao, tuvo como resultados para la reducción de cadmio como mejor dosis la aplicación de compost y humus a dosis menores al 40%, adicionando a esto, Tolentino (2020) menciona en su estudio de concentración de cadmio en plántones de cacao con la aplicación de humus y roca fosfórica, en sus resultados de concentración de cadmio presente en el suelo como menor valor con concentraciones de materia orgánica al 15% y mayor valor con niveles elevados de roca fosfórica; dado estos autores podemos afirmar que los distintos tipos de enmiendas orgánicas influyen en la reducción de cadmio entre ellas se encuentran las dosis de compost + humus menores de 40% y dosis de materia orgánica al 15% con resultados positivos en la disminución.

Tabla 3. Cadmio total y disponible en las muestras de suelo

N°	Clave	Descripción	Cd disponible	Cd total
1	T ₁ = a ₁ b ₁	20% de compost + 80% de sustrato	1.21	4.04
2	T ₂ = a ₁ b ₂	30% de compost + 70% de sustrato	1.02	3.69
3	T ₃ = a ₁ b ₃	40% de compost + 60% de sustrato	1.28	4.31
4	T ₄ = a ₂ b ₁	20% de estiércol de vacuno + 80% de sustrato	1.57	4.63
5	T ₅ = a ₂ b ₂	30% de estiércol de vacuno + 70% de sustrato	1.85	4.94
6	T ₆ = a ₂ b ₃	40% de estiércol de vacuno + 60% de sustrato	1.75	5.06
7	T ₇ = a ₃ b ₁	20% de Humus + 80% de sustrato	0.98	4.13
8	T ₈ = a ₃ b ₂	30% de Humus + 70% de sustrato	1.26	4.94
9	T ₉ = a ₃ b ₃	40% de Humus + 60% de sustrato	1.03	4.11
10	T ₁₀ = a ₄ b ₁	20% de Gallinaza + 80% de sustrato	1.69	5.15
11	T ₁₁ = a ₄ b ₂	30% de Gallinaza + 70% de sustrato	1.81	5.11
12	T ₁₂ = a ₄ b ₃	40% de Gallinaza + 60% de sustrato	1.95	5.27
13	T ₀	Testigo (sustrato empleado tradicionalmente en vivero)	2.97	7.37

4.2. Efecto de las fuentes y niveles de abonos orgánicos en las características morfométricas de los plántones de cacao (*Theobroma cacao L.*)

En la **Tabla 4** se muestra para el diámetro de los plántones por efecto de las fuentes orgánicas y dosis de las fuentes orgánicas que no existe diferencias significativas para el factor A y B, de la misma forma para la interacción AXB y Factorial VS testigo, esto quiere decir que no existen diferencias significativas para ninguna fuente de variación.

Tabla 4. Diámetro (mm) por efecto de las fuentes orgánicas y testigo

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P valor
A	3	0,33	0,11	0,79	0,510 ^{ns}
B	2	0,25	0,13	0,93	0,410 ^{ns}
AXB	6	0,46	0,08	0,57	0,750 ^{ns}
Factorial VS testigo	1	0,11	0,11	0,76	0,390 ^{ns}
Error	23	3,26	0,14		
Total	35	4,46			

Ns: no significativo; GL: grado de libertad; SC: Suma de cuadrados, CM: cuadrado medio

De la misma forma para la **Tabla 5** se muestra que no existe diferencias significativas al observar que se presenta un solo grupo “a”, asimismo se tiene que la fuente orgánica de Humus de lombriz con una media de 1,53 mm de diámetro es numéricamente superior a los demás, por otro lado, se tiene a la fuente orgánica de Estiércol de vacuno con una media de 1,18 mm que resulta ser inferior a los demás.

Tabla 5. Comparación de medias del diámetro (mm) influenciados por fuentes orgánicas

Fuentes	Media	N	Sig
Humus	1,53	9	a
Gallinaza	1,29	9	a
Compost	1,27	9	a
Estiércol	1,18	9	a

Letras iguales: igualdad estadística; letras diferentes: diferencias estadísticas.

De la misma forma para la **Tabla 6** se muestra que no existe diferencias significativas al observar que se presenta un solo grupo “a”, asimismo se tiene que la dosis de fuente orgánica al 20% con una media de 1,43 mm de diámetro es numéricamente superior a

los demás, por otro lado, se tiene a la dosis de fuente orgánica al 40% con una media de 1.24 mm que resulta ser inferior a los demás.

Tabla 6. Comparación del diámetro por dosis de fuentes orgánicas

Dosis	Media	N	Sig
20%	1,43	12	a
30%	1,28	12	a
40%	1,24	12	a

Letras iguales: igualdad estadística; letras diferentes: diferencias estadísticas

En tal sentido para las variable diámetro se tiene que la fuente orgánica de Humus con una media de 1.53 mm es numéricamente superior a los demás (**Tabla 5**), del mismo modo la dosis de fuente orgánica al 20% con una media de 1,43 mm (**Tabla 6**), asimismo Correa (2018) en su investigación sobre la absorción de cadmio en cacao con la finalidad de evaluar el efecto de reparadores cálcicos, reparadores orgánicos en la asimilación de cadmio en plántones de cacao, para los resultados en el efecto de las enmiendas orgánicas en la evaluación de parámetros biométricos presentó al guano de isla con un rango superior en diámetro de tallo de 6,65 mm y gallinaza con una media de 6,20 mm, como se muestran en los datos del autor, el obtuvo diámetros superiores en comparación a los de nuestra investigación dado que estas diferencias podrían estar influenciadas por el tipo de fuente orgánica en combinación con la dosis de esta, sus datos superiores se muestra con la fuente orgánica de guano de isla y gallinaza, de la misma forma Merino (2013) en su estudio de abonos de microorganismos en plántones de cacao, con la finalidad de determinar el efecto nutricional de los abonos orgánicos (bocashi, gaicashi y compost) en los plántones de cacao, como resultado para la variable diámetro se obtuvo un 7.4 mm con la aplicación Bocashi + MEC, en conclusión, con respecto al cadmio, este no influye negativamente en el desarrollo o crecimiento de la planta, en comparación con nuestros resultados se tiene que el diámetro es influenciado por el tipo de fuente orgánica, dado que para nuestra investigación el Humus de lombriz como fuente orgánica es inferior al Bocashi + MEC el usado por el autor, asimismo Guzmán (2019) en su estudio de plántones de cacao para evaluar el efecto de abono orgánico en la reducción de cadmio en los suelo de Tingo María, para sus resultados obtuvo que la dosis de materia orgánica al 1,07% muestra un desarrollo biométrico superior, podemos concluir que la adición de fuentes de materia orgánica pueden influenciar positivamente en el desarrollo de las variables altura y diámetro.

4.2.1. Altura

En la **Tabla 7** se muestra para la altura de los plantones por efecto de las fuentes orgánicas y dosis de las fuentes orgánicas que existe diferencias altamente significativas para el factor A, asimismo, para la interacción AXB se encuentran diferencias significativas, por otro lado, para el factor B y factorial VS testigo no existe diferencias significativas para dichas fuentes de variación.

Tabla 7. Análisis de varianza de la altura (cm)

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P valor
A	3	72,76	24,25	14,52	0,0000**
B	2	10,35	5,18	3,10	0,0642 ^{ns}
AXB	6	17,64	2,94	3,36	0,0159*
factorial VS testigo	1	5,61	5,61	3,47	0,0754 ^{ns}
Error	23	37,23	1,67		
Total	35	133,15			

** : Altamente significativo; * significativo; ns: no significativo; GL: grado de libertad; SC: Suma de cuadrados, CM: cuadrado medio

Para los efectos simples de las fuentes en dosis (**Tabla 8**) se muestra la fuente al 20% con un P-valor (0,0216) donde se observa diferencias significativas, para la fuente al 30% con un P-valor (0,2017) donde no presenta diferencias significativas, y por último para la fuente al 40% con un P-valor (0,0053) donde presenta diferencias altamente significativas; por otro lado, para los efectos simples de dosis en fuentes se tiene la dosis en compost con un P-valor (0,8453) donde no presenta diferencias significativas, dosis en estiércol con un P-valor (0,0071) presenta diferencias altamente significativas, dosis en gallinaza con un P-valor (0,0008) presenta diferencias altamente significativas y por último, dosis en humus con un P-valor (0,3632) no presenta diferencias significativas.

Tabla 8. Análisis de varianza de los efectos simples de fuentes orgánicas y dosis en la variable altura

Fuentes de variación	Altura (cm)		
	GL	CM	P-valor
Efectos simples de las fuentes en dosis			
Fuentes al 20%	3	0,78	0,0216*
Fuentes al 30%	3	5,97	0,2017ns
Fuentes al 40%	3	17,66	0,0053**
Efectos simples de las dosis en las fuentes			
Dosis en Compost	2	0,86	0,8453 ^{ns}
Dosis en estiércol de vacuno	2	2,32	0,0071**
Dosis en gallinaza	2	8,45	0,0008**
Dosis en humus de lombriz	2	1,13	0,3632 ^{ns}

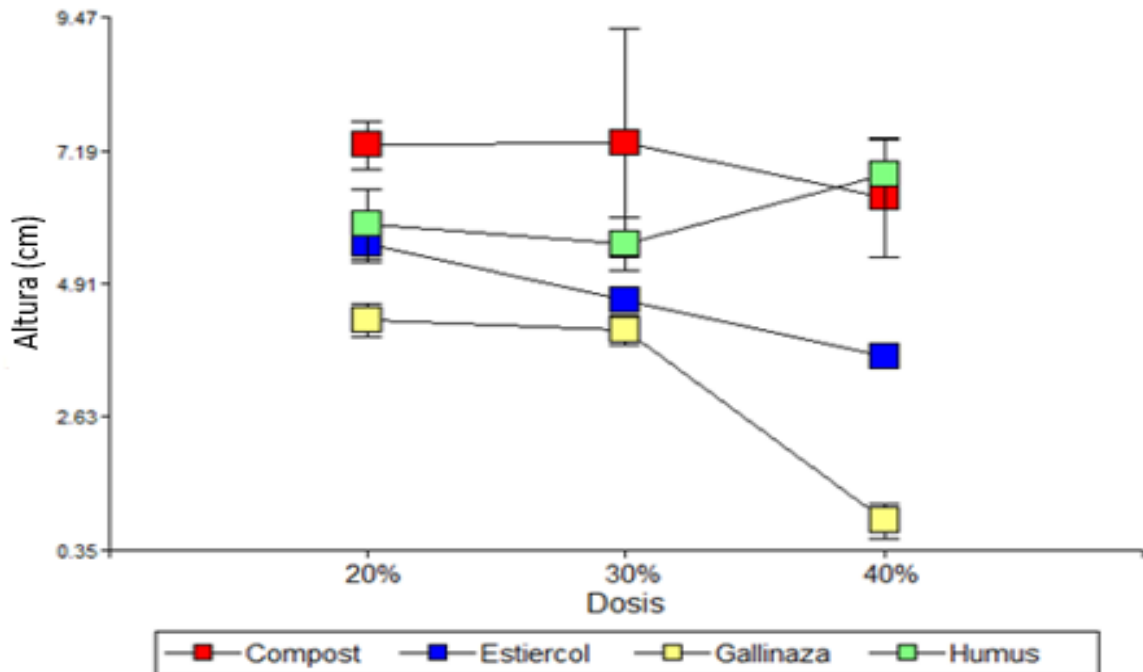
** : Altamente significativo; * significativo; ns: no significativo

Para la comparación de medias del efecto de las fuentes orgánicas en las dosis (**Tabla 9**) se tiene para el nivel al 20% presenta diferencias estadísticas, donde la fuente orgánica compost con un promedio de 7,28 cm fue superior, para el nivel al 30% no se encontró diferencias estadísticas, sin embargo, el compost presenta un promedio de 7,32 cm, por último, para el nivel al 40% presenta diferencias significativas donde el compost con un promedio de 6,78 cm es superior y a la vez similar estadísticamente al humus con una media de 6,37 cm.

Tabla 9. Comparación de medias del efecto de las fuentes orgánicas en las dosis

Clave	Promedio	Sig
Compost al 20%	7,28	A
Humus al 20%	5,93	Ab
Estiércol al 20%	5,60	B
Gallinaza al 20%	4,29	B
Compost al 30%	7,32	A
Humus al 30%	5,59	A
Estiércol al 30%	4,63	A
Gallinaza al 30%	4,11	A
Compost al 40%	6,37	A
Humus al 40%	6,78	A
Estiércol al 40%	3,65	Ab
Gallinaza al 40%	0,85	B

Letras iguales: igualdad estadística; letras diferentes: diferencias estadísticas

**Figura 3.** Fuentes orgánicas en dosis para la variable altura

Para la comparación de medias del efecto de las dosis en las fuentes orgánicas (**Tabla 10**) se tiene para el compost al 20% que no presenta diferencias estadísticas

con un promedio de 7,28 cm numéricamente superior, para el estiércol al 20% presenta diferencias significativas con un promedio de 5,60 cm, para la gallinaza al 20% presenta diferencias estadísticas con un promedio de 4,29 cm, para el humus al 40% no presenta diferencias significativas con un promedio de 6,78 cm siendo superior numéricamente.

Tabla 10. Comparación de medias del efecto de las dosis en las fuentes orgánicas

Clave	Promedio	Sig
20 en compost	7,28	A
30 en compost	7,32	A
40 en compost	6,37	A
20 en estiércol	5,60	A
30 en estiércol	4,63	Ab
40 en estiércol	3,65	B
20 en gallinaza	4,29	A
30 en gallinaza	4,11	A
40 en gallinaza	0,85	B
20 en humus	5,93	A
30 en humus	5,59	A
40 en humus	6,78	A

Letras iguales: igualdad estadística; letras diferentes: diferencias estadísticas

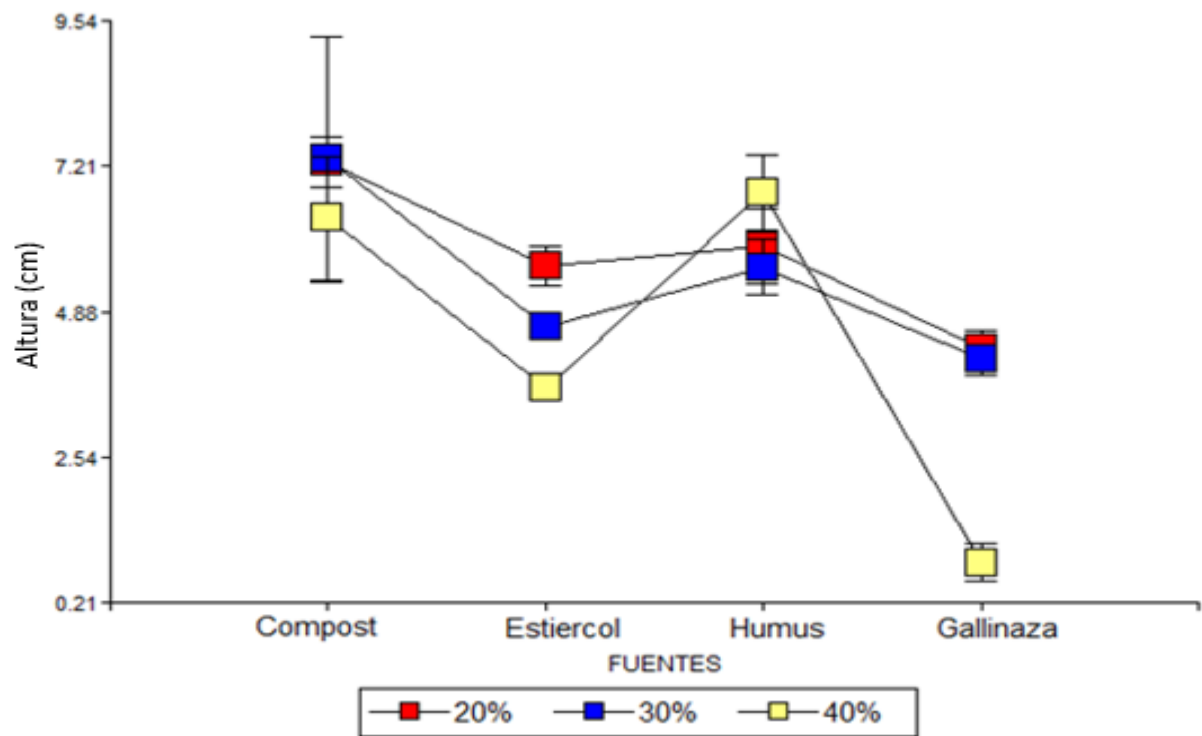


Figura 4. Dosis en fuentes orgánicas para la variable altura

En tal sentido, se tiene para el compost al 20% y 30% con un promedio de 7.28 y 7.32cm respectivamente, por otro lado, le sigue el humus al 40% con 6,78 cm dichos datos con rangos superiores en altura, asimismo Correa (2018) en su investigación sobre la absorción de cadmio en cacao con la finalidad de evaluar el efecto de reparadores cálcicos, reparadores orgánicos en la asimilación de cadmio en plántones de cacao, para los resultados en el efecto de las enmiendas orgánicas en la evaluación de parámetros biométricos presentó al guano de isla con un rango superior, con una altura de 29,96 cm, de la misma forma Merino (2013) en su estudio de abonos de microorganismos en plántones de cacao, con la finalidad de determinar el efecto nutricional de los abonos orgánicos (bocashi, gaicashi y compost) en los plántones de cacao, para los resultados en la variable altura obtuvo un 38.4 cm con la aplicación de Bocashi + MEC, del mismo modo Zavala (2019) en su estudio de compost y humus orgánico en la absorción de cadmio en plántones de cacao, para los resultados para las variables biométricas obtuvo con la aplicación de Humus una media de 29,21 cm de altura.; por otro lado, Chupillón (2017) en su investigación sobre la absorción de cadmio y plomo en cacao en plantaciones comerciales de cacao, posteriormente la evaluación de parámetros biométricos y análisis de laboratorio, para sus resultados en la variable altura (110 días) mostró un 34,8 cm siendo superior a los demás; en conclusión la absorción de cadmio no presenta alteraciones en

el desarrollo de parámetros biométricos, en dichos autores se encuentran diferencias en la variable altura, debido a que el desarrollo de la planta es influenciado por el tipo de abono orgánico y las dosis en la que se utilice, podemos concluir que para la altura en los plantones de cacao el abono con mejor resultado es el Bocashi + MEC con un promedio de 38,4 cm.

4.3. Efecto de las fuentes y niveles de abonos orgánicos presentes en los plantones de cacao.

4.3.1. Cadmio en la raíz

En la **Tabla 11** se muestra para el cadmio en la raíz de los plantones por efecto de las fuentes orgánicas y dosis de las fuentes orgánicas que existe diferencias altamente significativas para el factor A, factor B e interacción AXB, por otro lado, para interacción factorial VS testigo no existe diferencias significativas para dicha fuente de variación.

Tabla 11. Análisis de varianza para el cadmio en la raíz

Fv	GL	SC	CM	F	P valor
A	3	3,52	1,17	58,50	0,0000**
B	2	0,8	0,4	20,00	0,0000**
AXB	6	0,66	0,11	5,50	0,0009**
Factorial VS testigo	1	0,01	0,01	0,64	0,4316 ^{ns}
Error	26	0,4	0,02		
Total	38				

** : Altamente significativo; * significativo; ns: no significativo; GL: grado de libertad; SC: Suma de cuadrados, CM: cuadrado medio

Para los efectos simples de las fuentes en dosis (**Tabla 12**) se muestra la fuente al 20% con un P-valor (0.0023) donde presenta diferencias altamente significativas, para la fuente al 30% con un P-valor (0.0001) donde presenta diferencias altamente significativas, y por último para la fuente al 40% con un P-valor (0.0001) presenta diferencias altamente significativas; por otro lado, para los efectos simples de dosis en fuentes se tiene la dosis en compost con un P-valor (0.0053) donde presenta diferencias altamente significativas, dosis en estiércol con un P-valor (0.0014) donde presenta diferencias altamente significativas, dosis en gallinaza con un P-valor (0.0016) donde presenta diferencias altamente significativa y por último, dosis en humus con un P-valor (0.0313) donde presenta diferencias significativas.

Tabla 12. Análisis de varianza de los efectos simples de fuentes orgánicas y dosis en la variable cadmio en la raíz

Fuentes de variación	Cadmio en la raíz		
	GL	CM	P-valor
Efectos simples de las fuentes en dosis			
Fuentes al 20%	3	0,46	0,0023**
Fuentes al 30%	3	0,33	0,0001**
Fuentes al 40%	3	0,61	0,0001**
Efectos simples de las dosis en las fuentes			
Dosis en Compost	2	0,20	0,0053**
Dosis en estiércol	2	0,14	0,0014**
Dosis en gallinaza	2	0,16	0,0016**
Dosis en humus	2	0,23	0,0313*

** : Altamente significativo; * significativo; ns: no significativo

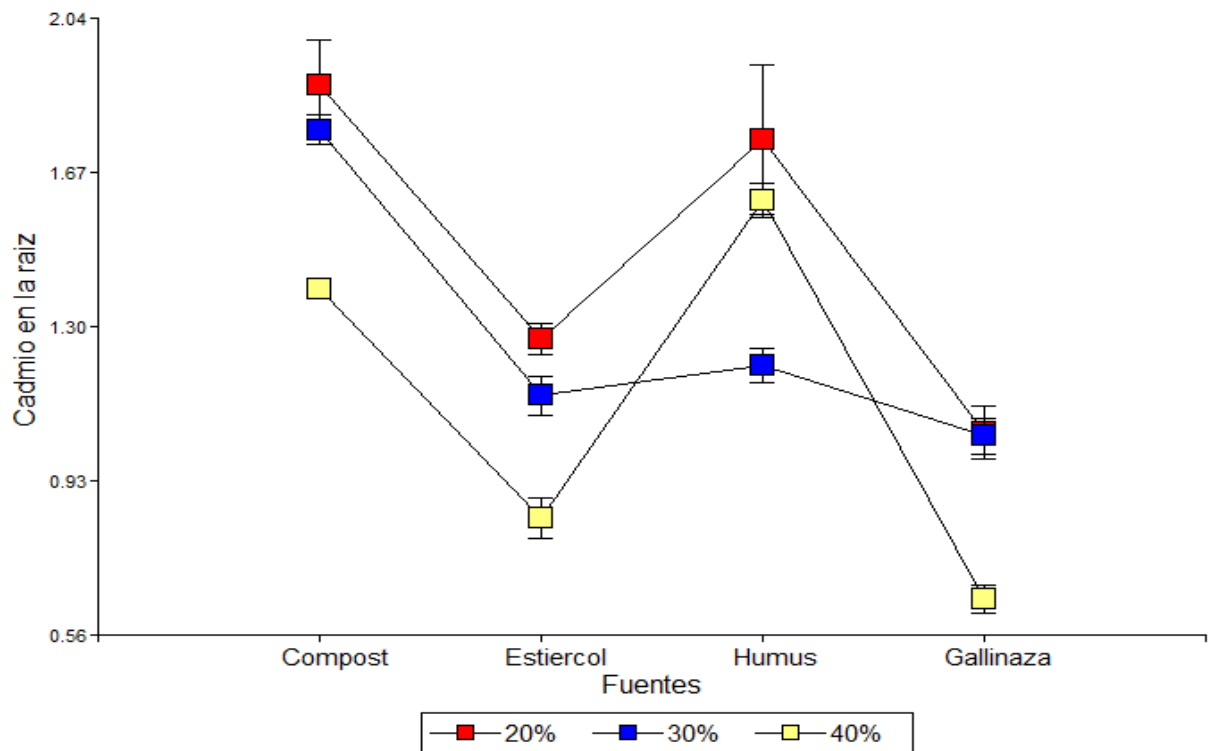
Para la comparación de medias del efecto de las fuentes orgánicas en las dosis (**Tabla 13**) se tiene para el nivel al 20% que presenta diferencias estadísticas, donde la fuente orgánica compost con un promedio de 1,28 ppm es superior, para el nivel al 30% se encuentran diferencias estadísticas con un promedio de 1,77 ppm y por último, para el nivel al 40% presentan diferencias significativas donde el humus con un promedio de 1,60 ppm es superior.

Tabla 13. Comparación de medias del efecto de las fuentes orgánicas en las dosis

Clave	Promedio	Sig
Compost al 20%	1,88	a
Humus al 20%	1,75	ab
Estiércol al 20%	1,27	bc
Gallinaza al 20%	1,05	c
Compost al 30%	1,77	a
Humus al 30%	1,21	b
Estiércol al 30%	1,14	b
Gallinaza al 30%	1,04	b
Compost al 40%	1,39	b
Humus al 40%	1,60	a
Estiércol al 40%	0,84	c
Gallinaza al 40%	0,65	d

Letras iguales: igualdad estadística; letras diferentes: diferencias estadísticas

En tal sentido, para la presencia de cadmio en la raíz se tiene como mejor resultado a la fuente orgánica al 40% de gallinaza con un promedio de 0,65 ppm.

**Figura 5.** Fuentes orgánicas en dosis de la variable cadmio en la raíz

Para la comparación de medias del efecto de las dosis en las fuentes orgánicas (**Tabla 14**) se tiene para el compost al 20% que presenta diferencias estadísticas con un promedio de 1,88 ppm, para el estiércol al 20% presenta diferencias significativas con un promedio de 1,27 ppm, para la gallinaza al 20% presenta diferencias estadísticas con un promedio de 1,05 ppm, para el humus al 20% presenta diferencias significativas con un promedio de 1,75 ppm.

Tabla 14. Comparación de medias del efecto de las dosis en las fuentes orgánicas

Clave	Promedio	Sig
20 en compost	1,88	a
30 en compost	1,77	a
40 en compost	1,39	b
20 en estiércol	1,27	a
30 en estiércol	1,14	a
40 en estiércol	0,84	b
20 en gallinaza	1,05	a
30 en gallinaza	1,04	a
40 en gallinaza	0,65	b
20 en humus	1,75	a
30 en humus	1,60	ab
40 en humus	1,21	b

Letras iguales: igualdad estadística; letras diferentes: diferencias estadísticas

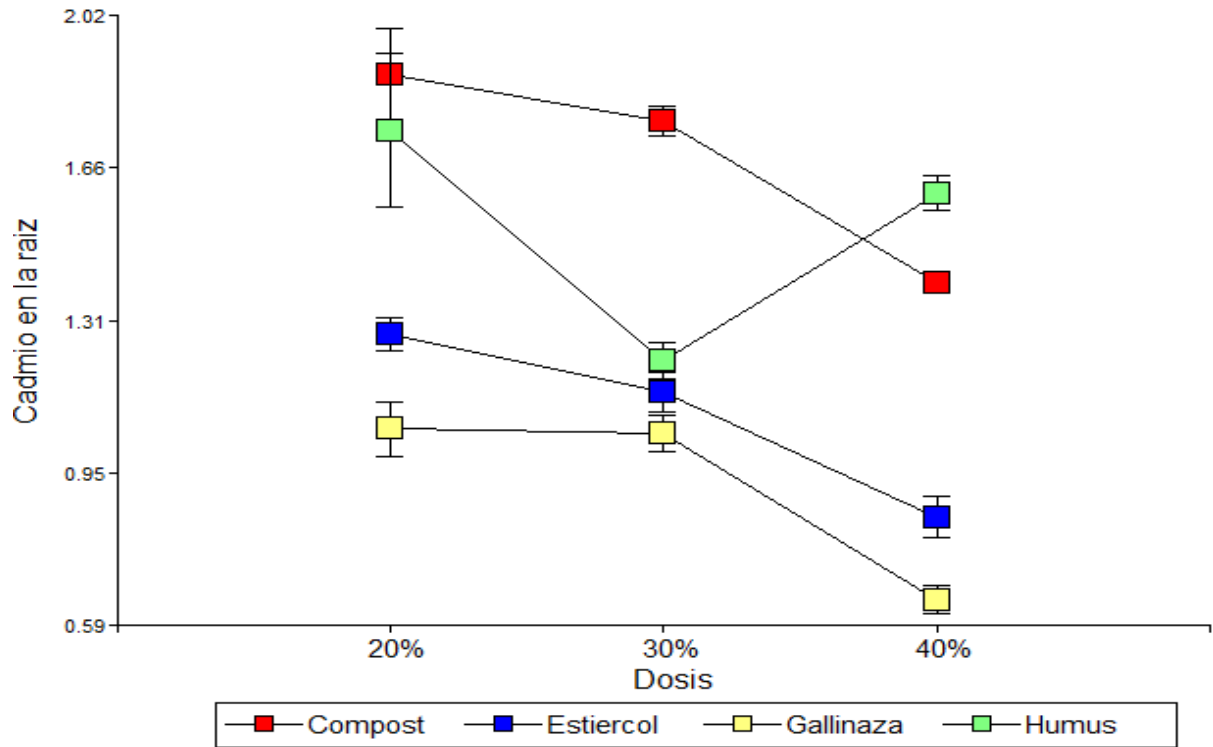


Figura 6. Dosis en fuentes orgánicas en la variable raíz

4.3.2. Cadmio en el tallo

En la Tabla 15 se muestra para el cadmio en el tallo de los plantones por efecto de las fuentes orgánicas y dosis de las fuentes orgánicas que no existe diferencias significativas para el factor A, factor B e interacción AXB, por otro lado, factorial VS testigo existen diferencias significativas para dicha fuente de variación.

Tabla 15. Análisis de varianza para el cadmio en el tallo

Fv	GL	SC	CM	F	P valor
A	3	4,47	1,49	1,96	0,1447 ^{ns}
B	2	0,07	0,03	0,04	0,9614 ^{ns}
AXB	6	5,93	0,99	1,30	0,2910 ^{ns}
Factorial VS Testigo	1	5,44	5,44	7,16	0,0127*
Error	26	19,76	0,76		
Total	38				

** : Altamente significativo; * significativo; ns: no significativo; GL: grado de libertad; SC: Suma de cuadrados, CM: cuadrado medio

En la **Tabla 16** para la comparación de medias del factorial completa vs el testigo, se muestra que el factorial completo con una media de 2,76 ppm de cadmio es superior al testigo con una media de 1,36 ppm de cadmio.

Tabla 16. Prueba de comparación de medias del factorial vs testigo

Tratamiento	Media	Sig.
Factorial	2,76	a
Testigo	1,36	b

*Letras iguales: igualdad estadística; letras diferentes: diferencias estadísticas

Para la comparación de medias para las fuentes orgánicas en la variable cadmio en el tallo (Tabla 17) no presentan diferencias significativas, sin embargo, se tiene al estiércol con una media de 3,29 ppm que resulta superior a los demás, por otro lado, se tiene al humus con una media de 2,35 ppm que resulto inferior.

Tabla 17. Prueba de comparación de medias para las fuentes orgánicas para la variable cadmio en el tallo

Fuentes orgánicas	Media	Sig.
Estiércol	3,29	a
Compost	2,84	a
Gallinaza	2,55	a
Humus	2,35	a

Letras iguales: igualdad estadística; letras diferentes: diferencias estadísticas

Para la comparación de medias para las dosis de la variable cadmio en el tallo (**Tabla 18**) no presentan diferencias significativas, sin embargo, se tiene la dosis al 40% con una media de 2,81 ppm que resulta superior a los demás, por otro lado, se tiene dosis al 20% con una media de 2,71 ppm que resulto inferior.

Tabla 18. Prueba de comparación de medias para las dosis de la variable de cadmio en el tallo

Dosis	Media	Sig.
40%	2,81	a
30%	2,76	a
20%	2,71	a

*Letras iguales: igualdad estadística; letras diferentes: diferencias estadísticas

4.3.3. Cadmio en las hojas

En la **Tabla 19** se muestra para el cadmio en las hojas de los plantones por efecto de las fuentes orgánicas y dosis de las fuentes orgánicas que existe diferencias altamente significativas para el factor A, factor B, interacción AXB e factorial VS testigo.

Tabla 19. Análisis de varianza para el cadmio en las hojas

Fv	GL	SC	CM	F	P valor
A	3	19,12	6,37	637,00	0,0000**
B	2	1,52	0,76	76,00	0,0000**
AXB	6	1,85	0,31	31,00	0,0000**
factorial VS testigo	1	4,49	4,49	474,5	0,0001**
Error	26	0,25	0,01		
Total	38				

** : Altamente significativo; * significativo; ns: no significativo; GL: grado de libertad; SC: Suma de cuadrados, CM: cuadrado medio

En la **Tabla 20** para la comparación de medias del factorial completo vs el testigo, se muestra que el testigo con una media de 2,99 ppm de cadmio es superior al factorial completo con una media de 1,71 ppm de cadmio.

Tabla 20. Prueba de comparación de medias del factorial vs testigo

Tratamiento	Media	Sig.
Testigo	2,99	a
Factorial	1,71	b

*Letras iguales: igualdad estadística; letras diferentes: diferencias estadísticas

Para los efectos simples de las fuentes en dosis (**Tabla 21**) se muestra la fuente al 20% con un P-valor (0.0001) donde presenta diferencias altamente significativas, para la fuente al 30% con un P-valor (0.0001) donde presenta diferencias altamente significativas, y por último para la fuente al 40% con un P-valor (0.0001) donde presenta diferencias altamente significativas; por otro lado, para los efectos simples de dosis en fuentes se tiene la dosis en compost con un P-valor (0.0002) presenta diferencias altamente significativas, dosis en estiércol con un P-valor (0.0001) presenta diferencias altamente significativas, dosis en gallinaza con un P-valor (0.0031) presenta diferencias altamente significativa y por último, dosis en humus con un P-valor (0.0007) presenta diferencias altamente significativas.

Tabla 21. Análisis de varianza de los efectos simples de fuentes orgánicas y dosis en la variable cadmio en las hojas

Fuentes de variación	Altura (cm)		
	GL	CM	P-valor
Efectos simples de las fuentes en dosis			
Fuentes al 20%	3	2,3	0,0001**
Fuentes al 30%	3	2,49	0,0001**
Fuentes al 40%	3	2,22	0,0001**
Efectos simples de las dosis en las fuentes			
Dosis en Compost	2	0,59	0,0002**
Dosis en estiércol	2	0,57	0,0001**
Dosis en gallinaza	2	0,15	0,0031**
Dosis en humus	2	0,37	0,0007**

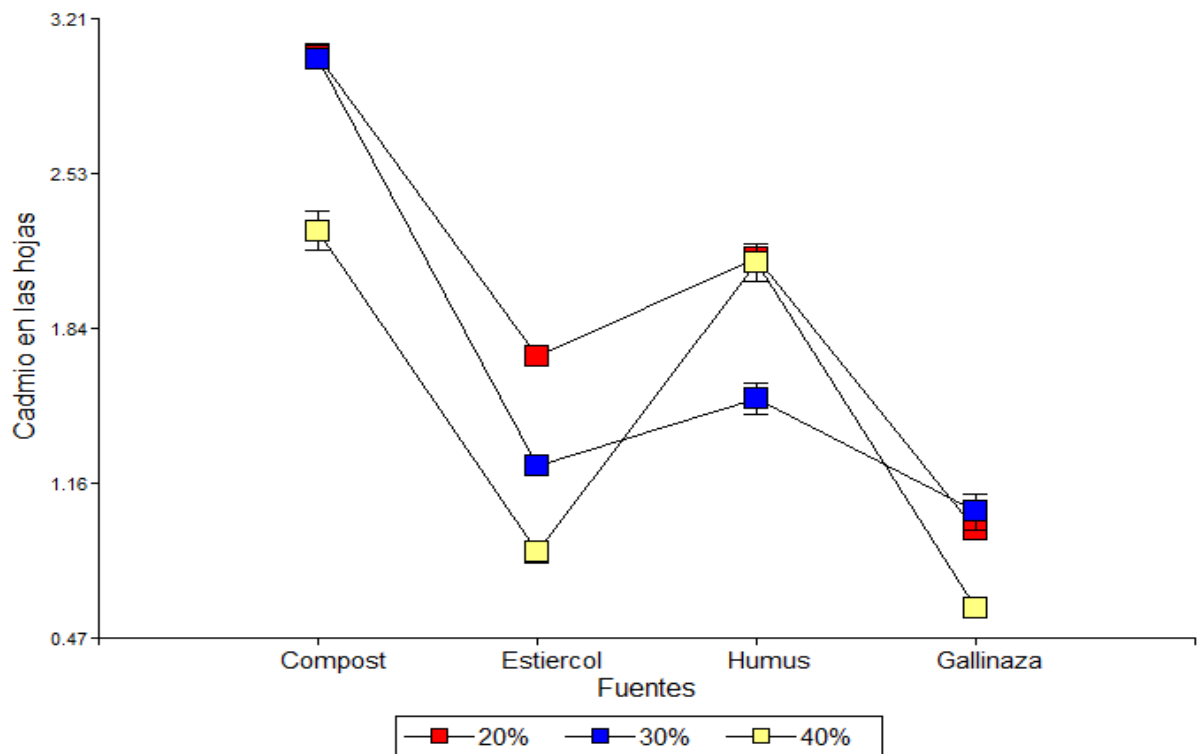
** : Altamente significativo; * significativo; ns: no significativo

Para la comparación de medias del efecto de las fuentes orgánicas en las dosis (**Tabla 22**) se tiene para el nivel al 20% que presenta diferencias estadísticas, la fuente orgánica compost con un promedio de 3,05 ppm, para el nivel al 30% se encuentran diferencias estadísticas con un promedio de 3,03 ppm y por último, para el nivel al 40% presentan diferencias significativas donde el humus con un promedio de 2,27 ppm es superior.

Tabla 22. Comparación de medias del efecto de las fuentes orgánicas en las dosis

Clave	Promedio	Sig
Compost en 20%	3,05	a
Humus en 20%	2,15	b
Estiércol en 20%	1,72	c
Gallinaza en 20%	0,95	d
Compost en 30%	3,03	a
Humus en 30%	1,53	b
Estiércol en 30%	1,23	c
Gallinaza en 30%	1,03	c
Compost en 40%	2,27	a
Humus en 40%	2,13	a
Estiércol en 40%	0,85	b
Gallinaza en 40%	0,60	b

*Letras iguales: igualdad estadística; letras diferentes: diferencias estadísticas

**Figura 7.** Fuentes orgánicas en dosis de la variable cadmio en las hojas

Para la comparación de medias del efecto de las dosis en las fuentes orgánicas (**Tabla 23**) se tiene para el compost al 20% que presenta diferencias estadísticas con

un promedio de 3,05 ppm, para el estiércol al 20% presenta diferencias significativas con un promedio de 1,72 ppm, para la gallinaza al 20% presenta diferencias estadísticas con un promedio de 1,03 ppm, para el humus al 20% presentan diferencias significativas con un promedio de 2,15 ppm.

Tabla 23. Comparación de medias del efecto de las dosis en las fuentes orgánicas

Clave	Promedio	Sig
20 en compost	3,05	a
30 en compost	3,03	a
40 en compost	2,27	b
20 en estiércol	1,72	a
30 en estiércol	1,23	b
40 en estiércol	0,85	c
20 en gallinaza	1,03	a
30 en gallinaza	0,95	a
40 en gallinaza	0,60	b
20 en humus	2,15	a
30 en humus	2,13	a
40 en humus	1,53	b

*Letras iguales: igualdad estadística; letras diferentes: diferencias estadísticas

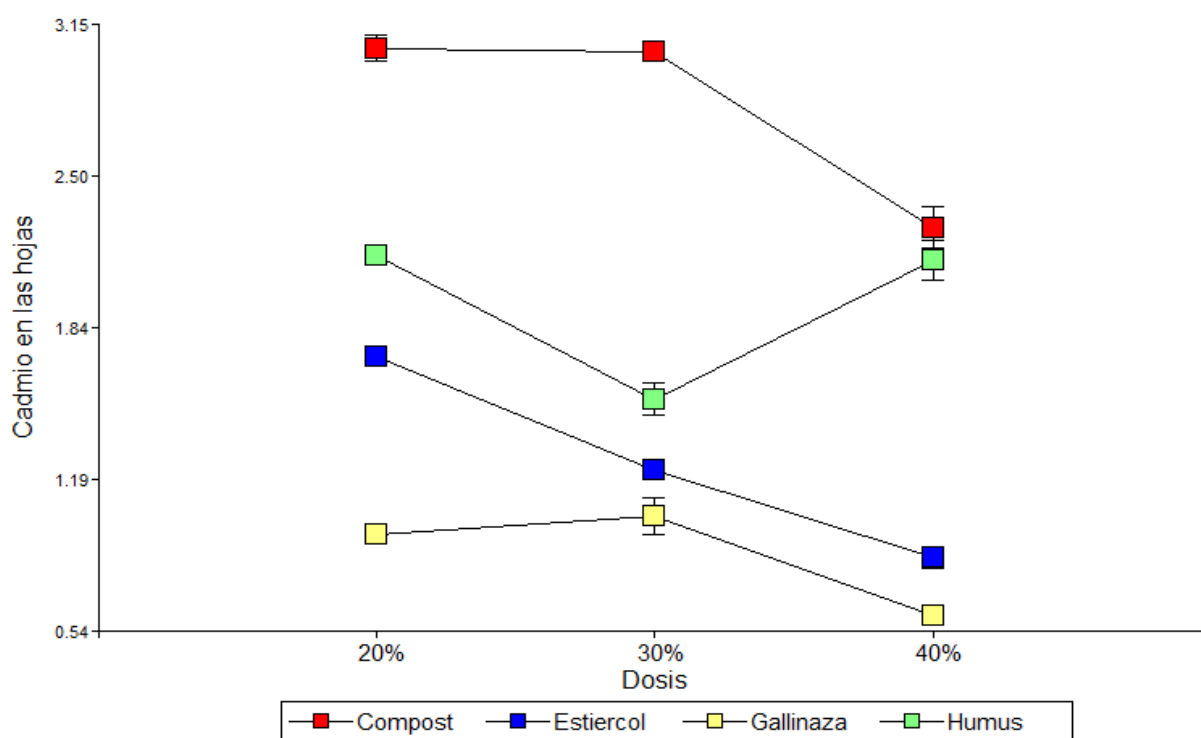


Figura 8. Dosis en fuentes orgánicas en la variable cadmio en las hojas

En resumen, de acuerdo con la investigación realizada se obtuvo los siguientes resultados, para la presencia de cadmio en la raíz se tiene como mejor resultado a la fuente orgánica al 40% de gallinaza con un promedio de 0,65 ppm, para el cadmio en el tallo la fuente orgánica de humus con una dosis al 20% con un promedio de 2,35 y 2,71 ppm respectivamente, para el cadmio en las hojas la fuente orgánicas gallinaza al 40% con un promedio de 0.60 ppm, de la misma forma, Zavala (2019) en su estudio de compost y humus orgánico en la absorción de cadmio en plántones de cacao, para la metodología se realizó un muestreo para la obtención del sustrato de inicio y se calculó la presencia de cadmio, para sus resultados de cadmio en las hojas al 70% de materia orgánica humus una media de 0,75 ppm, para el cadmio en el tallo se al 70% de materia orgánica compost con una media de 0,87 ppm, para el cadmio en la raíz al 70% de humus con una media de 0,40 ppm, de acuerdo con el autor se obtuvo resultados similares en el cadmio en raíz y hojas, con diferencias en los valores del cadmio en el tallo, debido a la diferencia de fuente orgánica y a la dosis, asimismo, Guzmán (2019) en su estudio de plántones de cacao para evaluar el efecto de abono orgánico en la reducción de cadmio en el suelo en Tingo María, para sus resultados en cadmio presentó en las hojas de cacao 0,56 ppm con la dosis de materia orgánica de 1,07%, de la misma forma, Tolentino (2020) menciona en su estudio de concentración de cadmio en plántones de cacao con la aplicación de humus y roca fosfórica, para sus resultados en las hojas de cacao se reduce

la presencia de cadmio a un 1,5 ppm con la aplicación de materia orgánica al 15%, para estos autores se tiene como fuente la materia orgánica al 1,07% y 15% dando un 0,56 ppm y 1,5 ppm respectivamente, donde se puede evidenciar que la materia orgánica influye en relación a la dosis que es aplicada.

Por otro lado, Zubillaga (2012) investigo sobre las plantas fitorremediadoras en los suelos con presencia de metales. Posteriormente en sus resultados presento que al introducir la enmienda orgánica como el compost potencializó el efecto fitorremediador ya que absorbe el metal en mayor proporción. En conclusión, al aplicar el compost a la planta, se disminuye la translocación de los elementos Zn, Cu y Cd total, en tal sentido estos elementos se ven limitados para una posible lixiviación hacia los horizontes inferiores.

V. CONCLUSIONES

1. El cadmio disponible y total en el suelo, fue menor al utilizar el T₇ (20% de humus + 80% de sustrato) con un cadmio disponible de 0.98 ppm y un cadmio total de 4.13 ppm, siguiendo el T₂ (30% de compost de vacuno + 70% de sustrato) con un cadmio disponible de 1.02 ppm y un cadmio total de 3.69 ppm.
2. Respecto al incremento del diámetro no se encontró diferencias estadísticas, pero numéricamente la fuente con mejor resultado fue el humus con una media de 1,53 mm, mientras que la dosis óptima fue al 20% con un diámetro de 1,43 mm. Mientras que la altura fue mejor en la fuente compost utilizando dosis al 20% y 30% con valores de 7,28 cm y 7,32 cm respectivamente, por otro lado al ver efecto de las dosis en las fuentes orgánicas es mejor el 20% utilizando estiércol y gallinaza con valores de 5,60 cm y 4,29 cm respectivamente.
3. Respecto al cadmio en las partes vegetativas de las plantas: para la raíz, la fuente que mayores valores de cadmio arrojó fue el compost con dosis al 20 y 30% con valores de 1.88 ppm y 1.77 ppm respectivamente, mientras que la dosis en cada fuente orgánica que presentó alto contenido de cadmio fue al 20% utilizando compost, estiércol y gallinaza con valores de 1.88 ppm, 1.27 ppm y 1.05 ppm.

Para el tallo no se registraron diferencias estadísticas entre las fuentes orgánicas, pero numéricamente el estiércol presentó mayor valor de cadmio con 3.29 ppm, de igual manera en el caso de las dosis no influyeron en la concentración de cadmio.

Mientras en las hojas, las fuentes que presentaron mayor concentración de cadmio fue el compost para todas las dosis al 20%, 30% y 40% con valores de 3.05, 3.03 y 2.27 ppm y para los efectos simples de dosis en fuentes, la dosis que mayor presencia de cadmio fue al 20% en las tres fuentes orgánicas con valores de 3.05, 1.72 y 1.03 ppm.

VI. RECOMENDACIONES

1. Realizar trabajos de investigación con suelos de parcelas de cacao que tengan alto contenido de cadmio y a esas muestras mitigar el cadmio con fuentes orgánicas, para poder brindar un dato más exacto al agricultor.
2. Realizar estudios con otras fuentes orgánicas, que posiblemente tengan mejores efectos en la reducción de cadmio.
3. Aplicar estas fuentes orgánicas en parcelas de *T. cacao* con grandes extensiones.
4. Evaluar estos abonos orgánicos en campo definitivo para ver el comportamiento en la reducción de cadmio en grandes extensiones.
5. Incentivar a los agricultores a utilizar fuentes orgánicas, en vez de productos químicos que pueden ser perjudicial tanto para el ecosistema y el ser humano.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Agricultura de las Américas. (1965). La gallinaza es valiosa como fertilizante. 1014 Wyandotte Street, Kansas City, Missouri. E.U.A. University of Florida Texas A. & M. University. 1(1):1-20.
- AGRONOTICIAS. (2019). Minagri inició el primer censo de stock de cacao. Perú, Agronoticias. s.p. [En línea]: Agronoticias, (<https://agronoticias.pe/ciencia-e-innovacion/agricola/minagri-inicio-el-primer-censo-de-stock-de-cacao/>), noticias, 04 Jul. 2019).
- Aniceto, L. (2019). Huánuco: el Mazorquero del cacao infestó 6 000 hectáreas en Leoncio Prado. Perú, Agronoticias. s.p. [En línea]: Agronoticias, (<https://agronoticias.pe/ciencia-e-innovacion/agricola/huanuco-el-mazorquero-del-cacao-infesto-6-000-hectareas-en-leoncio-prado/>), noticias, 04 Jul. 2019).
- Babejova, N., Dlapa, P., Pis, B. (2001). The influence of soil organic matter content on soil surface charge and cadmium mobility in soil. Impact of human activity on groundwater dynamics. Proceedings of a symposium held during the Sixth IAHS Scientific Assembly at Maastricht, Holanda. July 2001. IAHS Publ. no. 269.
- Bernal, C.A. (2010). Metodología de la investigación. Administración, economía, humanidades y ciencias sociales. 3 ed. Colombia: Universidad de La Sabana.
- Bonomelli, C., Bonilla, C., Valenzuela, A. (2003). Efecto de la fertilización fosforada sobre el contenido de cadmio en cuatro suelos de Chile. *Pesq. Aqrop. Bras.* 38(10):1179-1186.
- Bravo, I.S., Arboleda, C.A., Martín, F.J. (2014). Efecto de la calidad de la materia orgánica asociada con el uso y manejo de suelos en la retención de cadmio, en sistemas altoandinos de Colombia. *Acta Agronómica.* 63(2):164-174.
- 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 UNSM. <https://tesis.unsm.edu.pe/handle/11458/2473>.
- Clemente, R., Bernal, B. (2006). Fractionation of heavy metals and distribution of organic carbon in two contaminated soils amended with humic acids. *Chemosphere.* 64(8):1264-1273.
- Correa, J. (2018). Efecto de enmiendas cálcicas y orgánicas en la absorción de cadmio en plantones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Región San Martín. [tesis de pregrado,

- Universidad Nacional de San Martín]. Repositorio Institucional UNSM. <https://tesis.unsm.edu.pe/handle/11458/3237>.
- Domínguez, M.T. (2009). Elementos traza en el sistema planta-suelo: implicaciones para la ecología de especies leñosas y la restauración de zonas degradadas. Tesis Doctoral. Sevilla, España. Universidad de Sevilla. 140 p.
- Egiarte, G., Pinto, M., Ruíz-Romera, E., Camps Arbestain, M. (2008). Monitoring heavy metal concentrations in leachates from a forest soil subjected to repeated applications of sewage sludge. *Environmental Pollution*. 156:840-848.
- Eyheraguibel, B., Silvestre, J., Morard, P. (2008). Effects of humic substances derived from organic waste enhancement on the growth and mineral nutrition of maize. *Bioresource Technology*. 99:4206-4212.
- Florida, N., Claudio, S., Gomez, R. (2018) el pH y la absorción de cadmio en almendras de cacao orgánico (*Theobroma cacao* L.) en Leoncio Prado, Huanuco, Perú. *Rev. Folia Amazonia*. 27(1): 1-8
- Galan, E. y Romero, A. (2008). Contaminación de suelos por metales pesados. *Revista de la sociedad española de mineralogía*. macla. nº 10 48-60
- García, E., García, E., Juárez, L., Juárez, L., Montiel, J. y Gomez, M. (2012). La respuesta de haba (*Vicia faba*, L.) cultivada en un suelo contaminado con diferentes concentraciones de cadmio. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 28 (2) 119-126.
- Gonzales, A. (2010). Determinación y validación de cadmio total e intercambiable en algunos suelos cacaoteros del departamento de Santander. Tesis Ingeniero Químico. Colombia. Universidad Industrial de Santander. 172 p.
- Guzmán, M., Barreto, L. (2011). Efecto de la materia orgánica del suelo en la retención de contaminantes. *Rev.Epsilon*. 16:31-45.
- Guzman, J. (2019). Efecto de la materia orgánica en la reducción del cadmio en el suelo y en plantones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en vivero. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional UNAS. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1574>
- Herrera, T. (2010). La contaminación con cadmio en suelos agrícolas. [En línea]: Academia, (http://www.academia.edu/7195023/LA_CONTAMINACION_CON_CADMIO_EN_SUELOS_AGRICOLAS S Cadmiun contamination in agricultural soils, Docuemntos, 06 Abr. 2019).

- Huamaní, H.A., Huauya, M.A., Mansilla, L.G., Florida, N., Neira, G.M. (2012). Presencia de metales pesados en cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) orgánico. *Acta Agron.* 61(4):339-344.
- Instituto Nacional de Normalización. (INN). (2004). Norma Chilena de Compost 2880- 2004 (NCh 2880-2004), Compost - Clasificación y Requisitos. 23 p.
- Johnson, D., Macdonald, D., Hendershot, W., Hale, B. (2003). Metals in Northern forest ecosystems: role of vegetation in sequestration and cycling, and implications for ecological risk assesment. *Human and Ecological Risk Assesment.* 9:749-766.
- Kabala, C., Singh, B. (2001). Fractionation and mobility of copper, lead and zinc in soil profiles in the vicinity of a copper smelter. *J. Envir.l Quality.* 30:485-492.
- Kabata, P., Arun, B. (2007). Trace elements from soils to humans. Springer. University of Helsinky. Environmental Science. Department of Bilogical and Environmental Sciences.
- Liao, L., Selim, H. (2009). Competitive sorption of nikel and cadmium in different soils. *Soil Sci.* 174(10):549-555.
- Limousin, G., Gaudet, J.P., Charlet, L., Szenknect, S., Barthès, V., Krimissa, M. (2007). Sorption isotherms: A review on physical bases, modeling and measurement. *Appl. Geochem.* 22(2):249-275.
- Llatance, W., Gonza, C.J, Guzmán, W., Pariente, E. (2018). Bioacumulación de cadmio en el cacao (*Theobroma cacao*) en la Comunidad Nativa de Pakun, Perú. *Revista Forestal del Perú.* 33(1):63-75.
- Lofts, S., Spurgeon, D., Svendsen, C. (2005). Fractions affected and probabilistic risk assesment of Cu, Zn, Cd, and Pb in soils using the free ion approach. *Environ. Sci. Technol.* 39(21):8533-8540.
- Madejón, P., Marañón, T., Murillo, J.M., Robinson, B. (2004). White poplar (*Populus alba*) as a biomonitor of trace elements in contaminated riparian forest. *Environmental Pollution.* 132:145-155.
- Merino, E. (2013). Efecto de la aplicación de abonos procesados con microorganismos eficientes en la producción de plantones de cacao (*Theobroma cacao* L.) clon CNN-51. [tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional UNAS. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/161>
- Miranda, D., Carransa, C., Rojas, C., Jerez, C., Fisher, G., Zurita, J. (2008). Acumulación de metales pesados en suelo y plantas de cuatro cultivos hortícolas regados con agua del río Bogotá. *Rev. Col. Cien.Hort.* 2(2):180-191.

- Olivares, M.A., Hernández, A., Vences, C., Jáquez, J.L., Ojeda, D. (2012). Lombricomposta y composta de estiércol de ganado vacuno lechero como fertilizantes y mejoradores de suelo. *Universidad y Ciencia Trópico Húmedo*. 28(1):27-37.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2013) Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina. Santiago de Chile. 112 p.
- Oroya, M. (2016). Cadmio: enemigo público de cacaoteros del Perú [En línea]: Academia, (https://www.academia.edu/12177969/cadmio_enemigo_p%C3%BAblico_de_cacaoteros_del_Per%C3%BA), documentos, 25 abr. 2019).
- Orozco, M., Thienhaus, S (1997). Efecto de la gallinaza en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en desarrollo. *Agronomía Mesoamericana*. 8(1): 81-92.
- Prieto, J., González, C., Román, A. y Prieto, F (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Trop. Subtrop. Agroecosys*. 10, 29-44.
- Rao, C., Sahuquillo, A., López-Sánchez, J. (2008). A review of the different methods applied in environmental geochemistry for single and sequential extraction of trace elements in soils and related materials. *Water Air Soil Pollut*. 189:291-333.
- Reyes, Y.C., Vergara, I., Torres, O.E., Díaz, M., González, E.E. (2016). Contaminación por metales pesados: implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*. 16(2):66-77.
- Roca, L. (2003). *Perspectiva ambiental 29. Compostaje*. Trad. por Verónica Serrano. 1 ed. Barcelona, España. Edición Associació de Mestres Rosa Sensat. 34 p.
- Rosales, J., Centeno, L., Cajacuri, J., Luis, J., Chávez, C. (2021). Identificación de cadmio y plomo en los cultivos de cacao ubicados en la zona de Satipo-Junín. *Revista TECNIA*. 31 (2), 83-89.
- Sánchez, N., Subero, N., Rivero, C. (2011). Determinación de la adsorción de cadmio mediante isothermas de adsorción en suelos agrícolas Venezolanos. *Acta Agronómica*. 60(2):190-197.
- Schuldt, M. (2006). *Manual de lombricultura teoría y práctica*. Madrid, Mundiprensa. 188 p.
- Senamhi (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú). (2018). *Boletín hidroclimático regional (meses enero – diciembre); Dirección Zonal 10*. Huánuco, Perú, SENAMHI. s.p.
- Singh, P.K., Tewari, R.K. (2003). Cadmium toxicity induced changes in plant water relations and oxidative metabolism of *Brassica juncea* L. plants. *Journal of Environmental Biology*. 24(1):107-112.

- Starr, M., Lindroos, A.-J., Ukonmaanaho, L., Tarvainen, T., Tanskanen, H. (2003). Weathering release of heavy metals from soil in comparison to deposition, litterfall and leaching fluxes in a remote, boreal coniferous forest. *Applied Geochemistry*. 18:607-613.
- Somarriba, R.R., Guzmán, G.G. (2004). Análisis de la influencia de la cachaza de azúcar y estiércol de bovino como sustrato de lombriz roja californiana para producción de humus. Trabajo de diploma. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua. 55 p.
- Tadeo, F., Gómez-Cadenas, A. (2008). Fisiología de las plantas y el estrés.. En: Azcón-Bieto, J. y M. Talón (eds.). *Fundamentos de fisiología vegetal*. Madrid, España, McGraw-Hill Interamericana. p. 577-597.
- Tantalean, E. (2017). Distribución del contenido de cadmio en los diferentes órganos del cacao CCN-51 en suelo aluvial y residual. Tesis Ing. Agrónomo. Tingo María. Universidad Nacional Agraria de la Selva. 82 p.
- Tessier, A., Campbell, P., Bisson, M. (1980). Secuencial Extraction Procedure for especiation of particulate trace metals. En: *Analytical Chemistry*. p. 450-844.
- Tolentino, S. (2020). Efecto de la materia orgánica y roca fosfórica en concentración de cadmio en el suelo y plantones de cacao. [tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional UNAS. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1819>.
- Vandecasteele, B., Samyn, J., De Vos, B., Muys, B. (2008). Effect of tree species choice and mineral capping in a woodland phytostabilisation system: A case-study for calcareous dredged sediment landfills with an oxidised topsoil. *Ecological Engineering*. 32:263-273.
- Varnero, M.T., Rojas, C., Orellana, R. (2007). Índices de fitotoxicidad en residuos orgánicos durante el compostaje. *R.C.Suelo Nutr. Veg.* 7(1):28-37.
- Zubillaga, M.S. (2012). Remediación de suelos forrajeros contaminados con metales pesados: impacto de la aplicación de residuos orgánicos y fitoextracción. Tesis Doctoral. Coruña, España. Universidad da Coruña. 159 p.
- Zucconi, F., Monaco, A., Forte, M., De Bertoli, M. (1985). Phytotoxins during the stabilization of organic matter. En: Gasser, J.K.R (Ed.), *Composting of Agricultural and Other Wastes*. Elsevier, London, U.K. pp. 73-80.
- Zavala, S. (2019). Efecto del compost y humus de recursos solidos orgánicos en la reducción del cadmio en el suelo y en diferentes órganos de plantones *Theobroma cacao* L. “CACAO” en vivero. [tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva/no publicado]

ANEXOS

Tabla 24. Promedios de incremento de diámetro (mm)

Fuentes	Dosis	Repeticiones		
		I	II	III
Compost	20%	1.71	1.03	1.55
Compost	30%	0.13	0.88	1.91
Compost	40%	1.43	1.28	1.50
Estiércol	20%	1.63	1.26	1.00
Estiércol	30%	1.32	1.36	0.98
Estiércol	40%	1.65	1.43	0.00
Humus	20%	1.44	1.72	1.17
Humus	30%	1.53	1.37	1.45
Humus	40%	1.65	1.14	2.29
Gallinaza	20%	1.91	1.47	1.29
Gallinaza	30%	1.43	1.43	1.53
Gallinaza	40%	1.41	1.15	0.00
Testigo		1.15	1.18	0.00

Tabla 25. Promedios de incremento de altura (cm)

Fuentes	Dosis	Repeticiones		
		I	II	III
Compost	20%	8.03	7.14	6.66
Compost	30%	6.07	4.73	11.15
Compost	40%	8.35	5.22	5.54
Estiércol	20%	5.09	6.18	5.53
Estiércol	30%	4.81	4.40	4.68
Estiércol	40%	3.81	3.49	0.00
Humus	20%	5.84	4.93	7.02
Humus	30%	6.47	5.30	5.00
Humus	40%	7.80	6.84	5.70
Gallinaza	20%	4.16	4.84	3.88
Gallinaza	30%	4.18	4.50	3.65
Gallinaza	40%	0.55	1.15	0.00
Testigo		3.45	3.50	0.00

Tabla 26. Promedio de cadmio total en la raíz de plantas *T. cacao*

Fuentes	Dosis	Repeticiones		
		I	II	III
Compost	20%	1.79	1.75	2.100
Compost	30%	1.83	1.78	1.710
Compost	40%	1.43	1.37	1.380
estiércol	20%	1.35	1.24	1.230
estiércol	30%	1.08	1.10	1.230
estiércol	40%	0.87	0.75	0.910
Humus	20%	1.65	1.50	2.100
Humus	30%	1.19	1.15	1.290
Humus	40%	1.53	1.61	1.670
Gallinaza	20%	1.05	0.94	1.160
Gallinaza	30%	1.02	0.98	1.120
Gallinaza	40%	0.65	0.59	0.710
Testigo		1.37	1.24	1.470

Tabla 27. Promedio de cadmio total en las hojas de plantas *T. cacao*

Fuentes	Dosis	Repeticiones		
		I	II	III
Compost	20%	3.01	2.97	3.160
Compost	30%	3.02	2.99	3.090
Compost	40%	2.30	2.11	2.410
Estiércol	20%	1.73	1.78	1.650
Estiércol	30%	1.19	1.24	1.260
Estiércol	40%	0.78	0.94	0.830
Humus	20%	2.12	2.17	2.17
Humus	30%	1.49	1.44	1.67
Humus	40%	2.15	2.27	1.98
Gallinaza	20%	0.99	0.95	0.91
Gallinaza	30%	1.09	1.13	0.87
Gallinaza	40%	0.68	0.54	0.59
Testigo		2.88	2.98	3.100

Tabla 28. Promedio de cadmio total en el tallo de plantas *T. cacao*

Fuentes	Dosis	Repeticiones		
		I	II	III
Compost	20%	3.73	3.67	3.62
Compost	30%	3.89	3.81	3.76
Compost	40%	3.30	3.21	3.31
Estiércol	20%	2.92	2.88	2.91
Estiércol	30%	2.79	1.85	2.86
Estiércol	40%	1.51	1.47	1.57
Humus	20%	3.36	3.48	3.41
Humus	30%	2.14	2.18	2.11
Humus	40%	3.59	3.61	3.55
Gallinaza	20%	1.59	1.31	1.48
Gallinaza	30%	1.63	1.74	1.56
Gallinaza	40%	1.12	0.95	1.03
Testigo		3.42	3.54	3.51



Figura 9. Contaminación del sustrato con cadmio



Figura 10. Llenado de bolsas con el tratamiento a evaluar



Figura 11. Acomodo de bolsas en las camas de cría del vivero



Figura 12. Siembra de semillas de cacao *Theobroma cacao* L.



Figura 13. Crecimiento inicial de las semillas de cacao *Theobroma cacao* L.



Figura 14. Desarrollo de las variables biométricas del cacao.



Figura 15. Elección de los plántones para la determinación de cadmio.



Figura 16. Muestra para la determinación de cadmio.



Figura 17. Determinación de cadmio en el suelo.