

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**ESCUELA DE POSGRADO**  
**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN AGROECOLOGÍA**



**EFFECTO DEL COMPOST Y HUMUS DE RESIDUOS SÓLIDOS  
ORGÁNICOS EN LA REDUCCIÓN DEL CADMIO EN EL SUELO Y  
EN DIFERENTES ÓRGANOS DE PLANTONES *Theobroma  
Cacao L.* “CACAO” EN VIVERO**

**TESIS**

**Para optar el grado de:**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROECOLOGÍA,  
MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL**

**SANDRA LORENA, ZAVALA GUERRERO**

**Tingo María - Perú**

**2019**



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**ESCUELA DE POSGRADO**  
**DIRECCIÓN**



*"Año de la lucha contra la corrupción e impunidad"*

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**  
**Nro. 006-2019-EPG-UNAS**

En la ciudad universitaria, siendo las 10:10 am, del día martes 19 de marzo del 2019, reunidos en la Sala de Sesiones del DACAM de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, se instaló el Jurado Calificador a fin de proceder a la sustentación de la tesis titulada:

**"EFECTOS DEL COMPOST Y HUMUS DE RESIDUOS SOLIDOS ORGANICOS EN LA REDUCCIÓN DEL CADMIO EN EL SUELO Y EN DIFERENTES ORGANOS DE PLANTONES *Theobroma cacao* L. "cacao" EN VIVERO"**

A cargo del candidato al Grado de Maestro en Ciencias en AGROECOLOGIA, mención Gestión Ambiental de, **Sandra Lorena ZAVALA GUERRERO**.

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 10:45 pm. 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.

Blgo M.Sc. JOSE KALIÓN GUERRA LU  
Presidente del Jurado

M.Sc. JOSE LUIS PAREDES SALAZAR  
Miembro del Jurado

M.Sc. JORGE ADRIAZÓLA DEL ÁGUILA  
Miembro del Jurado

Dr. JOSE WILFREDO ZAVALA SOLORZANO  
Asesor

## DEDICATORIA

A Dios, por permitirme lograr todas mis metas y guiarme siempre en su camino.

A mis padres José Wilfredo, Ana Cecilia y Jesús Gaudencia (Q.E.P.D); por el amor, esfuerzo, apoyo moral y espiritual.

A mi esposo Ivan; por su paciencia, comprensión y ayuda en el logro de mis objetivos para avanzar en cada peldaño de mi carrera.

A mis hijos Leonardo Jofré y Santiago Felipe; que son la razón más grande de superación que tengo día a día.

A mis hermanos: Melisa J., Mishelle C., Ana C. y Josué Willyerrec; por su cariño y apoyo.

A mi suegra Dorita Díaz González (Q.E.P.D) y a la Sra. Elia Meza Satalaya por su apoyo incondicional con mis niños.

## **AGRADECIMIENTO**

- A DIOS, por darme vida y salud para poder permitirme avanzar en mis metas profesionales.
- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva y los docentes de la Escuela de Pos Grado, por contribuir en mi fortalecimiento profesional.
- A mi padre el Dr. José Wilfredo Zavala Solórzano, asesor de la presente investigación, por su valioso apoyo y empuje con el proyecto de investigación, en la redacción académica y científica.
- A los jurados de tesis: Dr. José Kalión Guerra Lu, Ing. M.Sc. Jorge Adriazola, Del Águila, Ing. M.Sc. José Luis Paredes Salazar, por sus oportunas sugerencias.
- Al Ing. M.Sc. Elvis Ottos Díaz, por su asesoramiento y colaboración durante el análisis estadístico y redacción de la investigación.
- Al Ing. Marco Antonio Guzmán Cárdenas, por su asesoramiento y colaboración durante la redacción de la investigación.
- A todas las personas que de una u otra forma me brindaron su apoyo moral y muy en especial a mi tía Miriam Guerrero Cabrera y a mi prima Milagros Zavala Vicuña por su apoyo, colaboración y consejos.

## RESUMEN

El estudio realizado en vivero en las instalaciones de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, el objetivo fue evaluar el efecto del compost y humus obtenidos de la transformación de residuos sólidos orgánicos en la reducción de la concentración de cadmio disponible y total en suelo y cadmio total en órganos de plántones de cacao, con un diseño completo al azar con 15 repeticiones, con arreglo factorial. El suelo trabajado es un suelo aluvial, franco arenoso con 2.3 ppm de cadmio total, inoculándolo con sulfato de cadmio (45 días) para obtener 4.86 ppm, luego se procedió a llenar las bolsas a una proporción (20 / 30 / 40 / 50 / 60 y 70 %) de compost y humus, para sembrar una semilla pre germinada de *Theobroma cacao* L., variedad CCN 51. Al culminar la evaluación, se realizó la medición de altura de los plántones y el análisis físico-químico del suelo: pH, CIC, Materia orgánica (%), Cd disponible según GONZALES (1986), Cd total del suelo según EPA-3050B (USEPA 1996) y Cd en tejidos (hojas, tallo y raíz) según BAZÁN (1996).

Los resultados muestran que el compost y humus estadísticamente tienen igual efecto sobre la concentración del cadmio disponible en el suelo, reduciéndola, porque el cadmio habría sido adsorbido por la materia orgánica, y formaría complejos estables con los ácidos húmicos, fúlvicos, huminas, ácidos carboxílicos y metoxilicos, ratificándose esto con la menor absorción del cadmio total en hojas, tallo y raíz en un 29 % (compost) y 40.79 % (humus) en hoja, 31 % (compost) y 25 % (humus) en tallo, con mayor presencia de cadmio en raíz. La materia orgánica presentó una correlación inversa altamente significativa con el cadmio disponible y CIC, el pH no presentó correlación significativa. La aplicación en concentraciones altas de materia orgánica, afectaría el crecimiento del cacao negativamente, habiéndose obtenido mayor crecimiento de los plántones en los tratamientos sin inoculación de cadmio y sin materia orgánica.

## ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1 Suelo.....	4
2.1.1. Fase sólida del suelo .....	4
2.1.2. Fase líquida del suelo .....	7
2.1.3. Procesos que se dan ante un nuevo elemento en el suelo .....	8
2.1.3.1. Transporte .....	8
2.1.3.2. Retención .....	9
2.1.3.3. Transformación.....	10
2.2 Cadmio (Cd).....	10
2.2.1. Origen del Cadmio en el suelo .....	12
2.2.2. Disponibilidad del Cadmio en el suelo.....	12
2.2.3. Movilidad del Cadmio en el suelo.....	13
2.2.4. Salidas del Cadmio en el suelo .....	14
2.2.4.1. A través de extracción por parte de los cultivos .....	14
2.2.4.2. A través de lixiviación .....	14
2.2.5. Ingreso, transporte y acumulación de cadmio en las plantas. ...	15
2.3 Abonos orgánicos .....	17
2.3.1. Compost .....	17
2.3.2. Humus .....	19
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
3.1. Lugar de Estudio .....	22
3.1.1. Ubicación geográfica.....	22
3.1.2. Ubicación política .....	22
3.1.3. Aspectos ambientales .....	22

3.2. Equipos y materiales .....	25
3.2.1. Equipos .....	25
3.2.2. Materiales .....	25
3.2.2.1. Materiales de campo .....	25
3.2.2.2. Para el muestreo de suelo .....	26
3.2.2.3. Para la inoculación del suelo .....	26
3.2.2.4. Para la instalación y siembra de plántones .....	26
3.2.2.5. Para el análisis inicial de cadmio disponible en suelo .....	26
3.2.2.6. Para el análisis inicial de cadmio total en suelo .....	26
3.2.2.7. Para el análisis del cadmio total en tejido vegetal .....	27
3.3. Metodología .....	27
3.3.1. Muestreo y Obtención del sustrato inicial .....	27
3.3.2. Cálculo e Inoculación con cadmio al sustrato inicial .....	28
3.3.3. Recolección y análisis de compost municipal .....	29
3.3.4. Obtención del humus .....	30
3.3.5. Embolsado, Acomodo y Distribución .....	30
3.3.6. Obtención y siembra de semillas de cacao .....	31
3.3.7. Registro de Observaciones .....	31
3.3.8. Análisis fisicoquímico del suelo .....	32
3.3.9. Análisis de cadmio en el suelo .....	33
A. Determinación del cadmio total en el suelo método (USEPA 3050 B) .....	33
B. Cadmio disponible en suelo .....	33
3.3.10. Análisis de cadmio total en tejidos .....	34
3.4. Componentes en estudio .....	34
3.5. Diseño experimental .....	34
IV. RESULTADOS .....	38
4.1. Efecto del compost y humus de residuos sólidos orgánicos en la concentración del cadmio disponible y total .....	38
4.1.1. Cadmio disponible en el suelo por efecto del compost y humus de residuos sólidos orgánicos .....	39

4.1.2. Cadmio total en el suelo por efecto del compost y humus de residuos sólidos orgánicos .....	42
4.2. Efecto de la materia orgánica en la absorción de cadmio por las hojas, tallos y raíz del cacao .....	45
4.2.1. Cadmio en las hojas.....	46
4.2.2. Cadmio en Tallo.....	48
4.2.3. Cadmio en raíz.....	50
4.3.Efecto de la materia orgánica en el crecimiento de cacao en vivero	53
4.4. Efecto de las variables químicas (pH, M.O, CIC) en el cadmio disponible en el suelo.....	55
V. DISCUSIÓN.....	57
VI. CONCLUSIONES .....	67
VII. RECOMENDACIONES .....	68
VIII. ABSTRACT .....	69
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	70
ANEXOS.....	80



## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Parámetros físicos y químicos de compostaje. ....	19
2. Parámetros estándar de humus de lombriz. ....	21
3. Cálculos de la cantidad de sulfato de cadmio que se pesó para preparar una concentración de 1000 ppm de Cd. ....	28
4. Cálculo de la solución de cadmio para adicionar al suelo. ....	29
5. Distribución de cantidades de abono orgánico según tratamientos en estudio. ....	30
6. Parámetros para los análisis de suelos. ....	32
7. Tratamientos en estudio del trabajo de investigación. ....	35
8. Esquema del análisis de variancia (ANVA). ....	37
9. Cadmio total y disponible en las muestras de suelo después de extraer las plantas. ....	38
10 . Prueba de Duncan del cadmio disponible en el suelo (ppm), para el factor A (tipo de materia orgánica). ....	40
11. Prueba de Duncan del cadmio disponible en el suelo (ppm) en seis niveles (%) de materia orgánica. ....	40
12. Duncan del cadmio disponible en el suelo en la interacción de seis niveles (%) y tipo de materia orgánica (compost y humus). ....	41
13. Prueba de Duncan del cadmio total en el suelo (ppm), para el factor B (niveles de materia orgánica). ....	43
14. Prueba de Duncan del cadmio total en el suelo (ppm) para el T <sub>13</sub> testigo adicional (sustrato o suelo inoculado sin materia orgánica). ....	44
15. Concentración de cadmio en hojas, tallo y raíz de plantones de cacao. ....	45
16. Duncan del cadmio total en hojas. ....	46
17. Duncan del cadmio total en hojas de cacao según niveles de materia orgánica. ....	47

18. Duncan del cadmio total en hojas de cacao en la interacción A*B. ....	48
19. Duncan del cadmio total en tallo. ....	49
20. Duncan del cadmio total en tallo de cacao según niveles de materia orgánica. .....	49
21. Duncan del cadmio total en tallo de cacao en la interacción A * B. ....	50
22. Duncan del cadmio total en raíz. ....	51
23. Duncan del cadmio total en raíz de cacao según niveles de materia orgánica. .....	51
24. Duncan del cadmio total en raíz de cacao en la interacción A *B. ....	52
25. Duncan de altura de planta del factor A. ....	53
26. Duncan de la altura de planta en la interacción A* B. ....	54
27. Duncan de altura de planta a 180 días, del t <sub>14</sub> vs todos los demás ....	54
28. Coeficiente de correlación de Pearson del Cd disponible y total con las variables edafológicas M.O, CIC, pH del suelo. ....	55
29. Concentración de cadmio disponible en el suelo. ....	80
30. Anva del cadmio disponible en el suelo. ....	80
31. Concentración de cadmio total (ppm) en el suelo. ....	81
32. ANVA, de la concentración de cadmio total EPA 3050B en el suelo. ....	81
33. Concentración de cadmio total en hojas de cacao. ....	82
34. ANVA del cadmio total en hojas. ....	82
35. Concentración de cadmio total en tallo de cacao. ....	83
36. ANVA cadmio total en tallo. ....	83
37. Concentracion de cadmio total en raíz de cacao. ....	84
38. ANVA cadmio total raíz ....	84
39. Altura de planta al sexto mes de evaluación. ....	85
40. ANVA de altura de plantas. ....	85

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Flujo del cadmio en el medio (modificado de McLaughlin & Singh,1999). ....	11
2. Representación esquemática de los mecanismos de entrada, secuestro y translocación del cadmio en raíces (Clemens, 2006). ....	16
3. Correlación entre cadmio disponible en suelo y proporción materia orgánica (a), cadmio disponible en suelo por efecto del compost y humus (b). ....	42
4. Correlación entre cadmio total en suelo y la proporción de materia orgánica (a), cadmio total en el suelo por del efecto del compost y humus (b). ....	45
5. Correlación entre variables químicas y cadmio disponible en el suelo. ....	56
6. Vivero instalado con plántulas de cacao con 14 tratamientos. ....	86
7. Acomodo de bolsas en 5 repeticiones por tratamiento. ....	86
8. Brote del cotiledón de la plántula de cacao. ....	87
9. Presencia de enfermedades en los tratamientos. ....	87
10. Lobrices utilizadas para la elaboración del humus. ....	88
11. Remoción para obtención de humus. ....	88
12. Preparación de compost en la planta de compostaje de la Municipalidad Provincial de Leoncio Prado. ....	89
13. Pesaje del humus listo para utilizar en la investigación. ....	89
14. Secado de muestras de suelo. ....	90
15. Molido de las muestras de suelo. ....	90
16. Codificación de las muestras de suelo. ....	91
17. Secado de hojas, raíces y tallos. ....	91
18. Pesado de raíces. ....	92
19. Procedimiento de extracción para determinación de materia orgánica de humus y compost. ....	92
20. Procedimiento de tamizaje para determinación de materia orgánica. ....	93
21. Procedimiento para determinación de cadmio total y disponible. ....	93

## I. INTRODUCCIÓN

Las propiedades químicas del suelo tienen un papel muy importante en aumentar o reducir la toxicidad de los metales, la distribución de estos en los perfiles del suelo y su disponibilidad son reguladas por las características del metal y sus propiedades. El cadmio (Cd) es un metal pesado no esencial para las plantas y muy tóxico para el ser humano, cuya concentración en el suelo se incrementa de manera progresiva, debido a actividades antrópicas, como la minería, fundición de metales, quema de combustibles fósiles, uso de fertilizantes fosfatados, fabricación de baterías, pigmentos y plásticos.

La absorción de cadmio por las plantas es un paso importante para la entrada de éste en la cadena alimentaria, su absorción y posterior bioacumulación dependen de las características del metal y de las propiedades fisicoquímicas de suelo (PRIETO, et al; 2009). Una de las principales rutas de exposición humana al cadmio es la ingesta de alimentos contaminados, como el chocolate, obtenido de la planta de cacao. En una evaluación realizada del 2003 al 2007 por el Panel Científico sobre Contaminantes en la Cadena Alimentaria (CONTAM), los expertos comprobaron que el chocolate fue uno de los alimentos con una alta concentración de cadmio, siendo la mayor, por lo que se establecieron normas estrictas para minimizar la exposición a este metal.

En trabajos de investigación realizados con el cultivo cacao, dentro de la región Huánuco, OTTOS (2018) reporta parcelas con 3.65 ppm de cadmio total en la zona de Supte, HUAYNATES (2013) reporta parcelas con valores de cadmio total de 3.6 ppm, CÁRDENAS (2012) reportó valores de cadmio disponible en el suelo entre 1.82 y 1.63 ppm en las riberas de los ríos Huallaga y Tulumayo, respectivamente. HUAMANI, *et al.* (2012) reporta en su trabajo de investigación que el cadmio disponible promedio en el suelo es de 0,53 ppm.

Sin embargo, el contenido de cadmio en los suelos agrícolas que se encuentran por encima de los valores máximos permisibles (1.40 ppm según el Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM), hacen que el cacao acumule este metal pesado en sus granos, haciendo que estos dejen de ser inocuos, lo cual es nocivo para la salud humana limitando las exportaciones y afectando a la economía de los pequeños y medianos productores de cacao. Por ello actualmente, se vienen investigando diferentes estrategias para la reducción de la bioacumulación de cadmio. En el Foro “Factores asociados a la bioacumulación de cadmio en cacao y sus estrategias de mitigación” (IICA, 2018), Ramtahal manifestó hasta 8 posibles formas de mitigar la absorción del cadmio en las plantas de cacao, siendo una de estas estrategias la fijación del cadmio en el suelo a través de enmiendas, materia orgánica y/o microorganismos.

En la ciudad de Tingo María, según el “Estudio de Caracterización de residuos sólidos municipales del distrito de Rupa Rupa, 2017”, se disponen hasta 60 Tn/día de residuos sólidos, el cual es uno de los principales problemas ambientales. Al haberse encontrado que el 70.21% de estos residuos equivale a ser de naturaleza orgánica, pueden aprovecharse para descomponerse a través del proceso de compostaje y posterior humificación, dándole otro valor a estos residuos y convirtiéndose en parte de la solución del problema de bioacumulación de cadmio en las plantas de cacao, como aportadores de materia orgánica en el suelo.

Por lo tanto, se trata de aprovechar el compost y humus obtenidos de los residuos sólidos orgánicos para reducir la concentración de cadmio en la solución suelo, así como en los diferentes órganos de los plántones de cacao, como en la raíz, tallo, hojas y semillas. De esta manera se estaría reduciendo la concentración del Cadmio en el suelo y en los plántones de cacao, así mismo se estaría aprovechando los residuos sólidos orgánicos que en la actualidad se vienen disponiendo de manera inadecuada directamente al río Huallaga,

contaminando el agua, suelo y aire. Por ello se plantea la siguiente interrogante: ¿Cuál es el efecto del compost y humus obtenidos de los residuos sólidos orgánicos en la reducción del cadmio en el suelo y en los diferentes órganos de los plantones de cacao?

Ante esta interrogante se plantea la siguiente hipótesis: Por lo menos un abono orgánico obtenido de la transformación de residuos sólidos orgánicos, tendrá el efecto de reducir la concentración del cadmio en el suelo y en los órganos de los plantones de cacao.

### **1.1 Objetivo General**

- Evaluar el efecto del compost y humus obtenidos de la transformación de los residuos sólidos orgánicos en la reducción de la concentración de cadmio disponible en el suelo y cadmio total en las hojas, tallos y raíces de los plantones de cacao.

### **1.2 Objetivos Específicos**

- Evaluar el efecto del compost y humus de residuos sólidos orgánicos en la concentración del cadmio disponible y total en el suelo.
- Evaluar el efecto del compost y humus de residuos sólidos orgánicos en la absorción de cadmio en hojas, tallo y raíz de plantones de cacao.
- Estimar la correlación entre las variables químicas (pH, materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico) y el contenido de cadmio disponible en el suelo.
- Determinar el crecimiento de los plantones de cacao por efecto de los diferentes tratamientos.

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1 Suelo**

El suelo está compuesto de sustancias sólidas, agua y aire. Las sustancias sólidas, son los residuos de plantas, animales vivos o muertos y los minerales que proceden de la desintegración y descomposición de las rocas. En el agua se disuelven los minerales del suelo para que las raíces de las plantas puedan tomarlos. Sin aire en el suelo se mueren las raíces de las plantas y los pequeños animales que viven en él (MOCOA, 2002). La mayoría de los expertos en suelo consideran que el suelo ideal está formado por un 50 por ciento de material sólido (45 por ciento de partículas minerales y un 5 por ciento de materia orgánica), un 25 por ciento de agua y un 25 por ciento de aire (PLASTER, 2000).

#### **2.1.1. Fase sólida del suelo**

La fase sólida de un suelo natural contiene proporciones variables de componente mineral y orgánico. La fracción mineral procede de la meteorización o descomposición de la roca madre por acción de los agentes climáticos, mientras que la materia orgánica está constituida principalmente de residuos de organismos vegetales y animales, en diferentes estados de descomposición. Las proporciones de materia orgánica de un suelo son muy variables, pudiendo oscilar desde menos del uno por ciento en algunos suelos arenosos hasta más del 50% en las turberas. Por término medio, los suelos de cultivo suelen contener entre el 2 y 10 % de materia orgánica, que influye en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (ANSORENA, 1994).

#### **A. Material inorgánico**

Está constituida principalmente por sustancias inorgánicas de diferente composición química. Algunas de ellas son mezclas de compuestos a

las que se denominan rocas, cuya meteorización conduce a los minerales primarios y secundarios formadores del suelo.

Se acostumbra dividir a los componentes inorgánicos de los suelos en 2 grupos. El primero lo componen las sustancias denominadas minerales primarios, se trata de aquellos que no han sufrido cambios químicos desde su formación inicial de la lava fundida o de otros procesos que originan las rocas. Estos minerales se encuentran principalmente en las fracciones más gruesas del suelo, en las arenas y el limo, aunque a veces algunos, como el cuarzo, pueden ser muy pequeños y pertenecer a las arcillas. El otro grupo es el de los minerales secundarios, los cuales resultan de la descomposición de los minerales primarios o de la recombinación de los productos que son consecuencia de ella. Estos minerales son con frecuencia de pequeño tamaño, del orden de las arcillas, y por ello se les llama también minerales de arcilla (FASSBENDER Y BORNEMISZA, 1994).

### **B. Material orgánico**

Según la recomendación de la Soil Science Society of America, la materia orgánica del suelo se define en los términos siguientes: fracción orgánica del suelo que incluye residuos vegetales y animales en diferentes estados de descomposición, tejidos y células de organismos que viven en el suelo y sustancias producidas por los habitantes del suelo (FASSBENDER Y BORNEMISZA, 1994). Se define como materia orgánica del suelo (MOS) a la fracción orgánica del suelo que incluye los residuos provenientes de plantas y animales que se encuentran en el suelo en diferentes etapas de descomposición, conteniendo residuos frescos, parcialmente descompuestos y totalmente descompuestos (humus), llamándose a todo, en forma genérica, materia orgánica (NUÑEZ, 2000).

Sus relaciones con la fase mineral y con los elementos de la solución del suelo, hacen que esta fracción orgánica controle en gran medida la disponibilidad de nutrimentos para las plantas en suelos tropicales (MELÉNDEZ,



2003). La calidad de la materia orgánica tiene efecto significativo en el proceso de mejor calidad redonda en menor movilidad, previniendo la contaminación de aguas subterráneas adsorción. Una y la toxicidad por bioacumulación (BRAVO, *et al*, 2014).

La materia orgánica del suelo puede ser dividida en dos grupos fundamentales: las biomoléculas y las sustancias húmicas (SHs). El primer grupo es representado por los carbohidratos, grasas, ceras, proteínas y ácidos nucleicos. El segundo comprende a las sustancias húmicas (SHs). Las sustancias húmicas (SHs) son divididas en tres fracciones con diferentes propiedades físico-químicas: ácidos fúlvicos (AF), ácidos húmicos (AH) y humina (HUM).

Las SHs contribuyen alrededor del 85-90% de carbono orgánico total (COT) y son el principal componente de la materia orgánica del suelo (MOS), que consta con grandes reservas orgánicas del suelo (SANTOS, 2005).

Las SHs representan casi la totalidad de la materia orgánica del suelo (MOS), debido a su gran reactividad, es responsable de las reacciones químicas del suelo (CANELLAS *et al*. 1999). Las SHs destacan en muchas investigaciones, ya que representan la principal reserva de C en el suelo y aun integran con la atmosfera modificando la cantidad de CO<sub>2</sub>, dependiendo del uso y manejo adoptado (PICCOLO, 1996).

#### **a. Ácidos fúlvicos (AF)**

Fracción o derivado de la materia orgánica del suelo caracterizado por su solubilidad en solución álcali (base) y ácido. Los AF contienen oxígeno dos veces mayor que los ácidos húmicos, contienen más grupos carboxílicos (-COOH) e hidroxilos (-COH), generando un compuesto químicamente más reactivo, con doble CIC (con capacidad de intercambio aniónico y catiónico) que el AH, además la alta CIC es producido por los grupos carboxilos (RON, 2004).

### **b. Ácidos húmicos (AH)**

Los ácidos húmicos (AH) son solubles en medios alcalinos e insolubles en medio ácido diluido. Se han definido como sustancias de coloración oscura, compuestas por macromoléculas de masa molecular relativamente elevada, formadas por medio de reacciones de síntesis secundarias a partir de residuos orgánicos de plantas, animales y microorganismos (BENITES, *et al.* 2003).

### **c. Humina (HUM)**

La humina es insoluble en medios alcalinos y ácidos y pueden tener una composición variable, reducida capacidad de reacción. Su falta de sensibilidad en un medio acuoso puede ser debido simultáneamente a la alta hidrofobicidad y fuerte interacción con los componentes inorgánicos y también por tener compuestos lipídicos, estructuras de carbohidratos y aromáticos en diferentes proporciones. Las huminas presentes en el suelo son los más resistentes a la descomposición de todas las sustancias húmicas (PETTIT, 2012). La humina (HUM) presenta baja acidez en comparación con los AF y AH, que, junto con la fuerte asociación a los minerales, provoca insolubilidad en el medio alcalino acuoso (BENITES, *et al.* 2003).

La insolubilidad de la HUM puede ser proveniente de haber sido fuertemente adsorbida o unida a los componentes inorgánicos del suelo. La resistencia a la degradación microbiana de materiales húmicos también parece ser en gran parte debido a la formación de complejos metálicos y/o arcilla-orgánicas estables (SCHNITZER, *et al.* 1991).

### **2.1.2. Fase líquida del suelo**

A la fase líquida del suelo también se acostumbra llamarla solución suelo. Esta solución suelo es de gran importancia para la nutrición de las plantas. La solución suelo contiene una serie de cationes, aniones y moléculas inorgánicas u orgánicas u organolépticas que varían de acuerdo a las

condiciones del ambiente y los materiales sólidos que forman el suelo (FASSBENDER Y BORNEMISZA, 1994).

La concentración total de los elementos en la solución es pequeña, particularmente en suelos de regiones húmedas. Se sabe que las propiedades físicas y químicas del suelo, como la presencia y solubilidad de sus componentes inorgánicos y orgánicos, su temperatura y la presión de los diferentes gases en su atmósfera, influyen en las concentraciones de los componentes en la solución suelo. La concentración de la solución suelo es muy variable con el tiempo y en diferentes suelos. La solución suelo del suelo también contiene moléculas orgánicas solubles de peso molecular reducido, algunas de ellas forman quelatos con cationes como el Cu, Mn, Zn y Fe; y otros compuestos estables (FASSBENDER Y BORNEMISZA, 1994).

### **2.1.3. Procesos que se dan ante un nuevo elemento en el suelo**

Tres son los procesos que pueden darse en el suelo ante la llegada el nuevo elemento: transporte, retención y transformación (LAFUENTE, 2007).

#### **2.1.3.1. Transporte**

El transporte de contaminantes en el suelo depende, en gran medida, de cómo es el movimiento del agua en su interior, los contaminantes se encuentran en el suelo en diferentes fases, por lo que su desplazamiento en él está condicionado por la movilidad de estas fases y por la interacción entre ellas. Son dos los procesos que tienen lugar en el interior del suelo: dispersión y difusión (LAFUENTE, 2007).

##### **a. Dispersión**

La dispersión se origina por los cambios en la velocidad de la solución cuando atraviesa poros de distintos tamaños, formas y orientación, así como por la concentración inicial del contaminante. La dispersión origina que pequeñas cantidades de contaminantes puedan ser transportados rápidamente a través del suelo. Como norma general, la dispersión aumenta con la velocidad

del flujo del agua, con el tiempo y con la profundidad del suelo (LAFUENTE, 2007).

### **b.Difusión molecular**

La difusión molecular es un mecanismo de transporte donde el flujo de agua es pequeño y es la responsable del movimiento transversal del soluto en áreas con distintos gradientes de concentración (LAFUENTE, 2007).

### **2.1.3.2. Retención**

La retención tiene una relación directa con la biodisponibilidad y la degradación de los elementos tóxicos. El tipo de carga influye en la retención de contaminantes, estas se producen como consecuencia de la diferencia de valencia entre los elementos sustituyentes y sustituidos, generando un exceso de electrones libres en la superficie del cristal y manifestándose como una determinada densidad de carga, que es característica de cada mineral. Los minerales de la arcilla y la materia orgánica son los constituyentes más activos al presentar cargas que permiten la unión con diferentes compuestos químicos (LAFUENTE, 2007).

Son diversos los mecanismos que tienen lugar en el interior del suelo para la retención de compuestos químicos, aunque los más importantes son la adsorción y el intercambio iónico.

### **a.Adsorción**

Es la asociación de sustancias (moléculas, átomos o iones) a la superficie de los receptores. La sustancia se adsorbe se llama adsorbato y la fase adsorbente se llama adsorbente. Los mecanismos que producen esta asociación son las fuerzas de van del Waals y las fuerzas de enlace puente de hidrogeno o iónico (LAFUENTE, 2007).

### **b. Intercambio iónico**

El intercambio iónico es el mecanismo de retención de elementos contaminantes donde el ion de un mineral es reemplazado por otro que este en la solución del suelo (LAFUENTE, 2007).

### **2.1.3.3. Transformación**

En el suelo hay transformaciones que provocan una evolución hacia formas más complejas de organización. La mineralización, meteorización, humificación, cementación son algunos de los procesos que modifican las características del medio (LAFUENTE, 2007).

#### **a. Mineralización**

Es una transformación completa de elementos orgánicos en formas inorgánicas como resultado de la actividad de los microorganismos, teniendo en cuenta los parámetros de la modificación del medio como la temperatura, humedad, aireación, pH o conductividad (LAFUENTE, 2007).

#### **b. Humificación**

El proceso de humificación implica cambios en la complejidad química de la materia orgánica que hace aumentar la resistencia a la biodegradación. En la humificación pueden tener lugar reacciones químicas (oxidación, condensación y polimerización), procesos biológicos y de síntesis microbiana con formación de compuestos constituyentes típicos del suelo. Hay que realizar un análisis de los elementos obtenidos como producto final de la transformación biológica, porque no siempre el compuesto transformado es menos tóxico que el contaminante original (LAFUENTE, 2007).

## **2.2 Cadmio (Cd)**

El cadmio se encuentra en el suelo siempre de forma divalente ( $\text{Cd}^{+2}$ ) y su disponibilidad depende del pH del suelo (solubilidad casi nula a pH de 9,5), de la estructura del suelo y del contenido de materia orgánica. Además, entre los factores de la planta que pueden influir en la cantidad de cadmio

absorbido se encuentran: la especie, la edad y el desarrollo radicular. La concentración de cadmio no es la misma en las diferentes partes de la planta, observando la siguiente secuencia: raíces > tallos subterráneos > hojas > frutas > semillas. Ingreso, transporte y acumulación del cadmio.

El comportamiento químico del cadmio se asemeja al del zinc, pero es mucho más afín al azufre y más móvil en ambientes ácidos. En el medio natural el cadmio se encuentra con valencia 2+, por lo que en solución forma especies químicas tales como  $\text{CdCl}^+$ ,  $\text{CdOH}^+$ ,  $\text{CdHCO}^{3+}$ ,  $\text{CdCl}_3^-$ ,  $\text{CdCl}_4^{2-}$ ,  $\text{Cd}(\text{OH})_3^-$  y  $\text{Cd}(\text{OH})_4^{2-}$  y quelatos orgánicos (KABATA-PENDIAS, 2000). La solubilidad de las sales de cadmio en agua es muy variable; los halogenuros, el sulfato y el nitrato son solubles mientras que el óxido, el hidróxido y el carbonato son prácticamente insolubles (BADILLO, 1985). En la figura 1, se ilustra la circulación de cadmio en el medio.

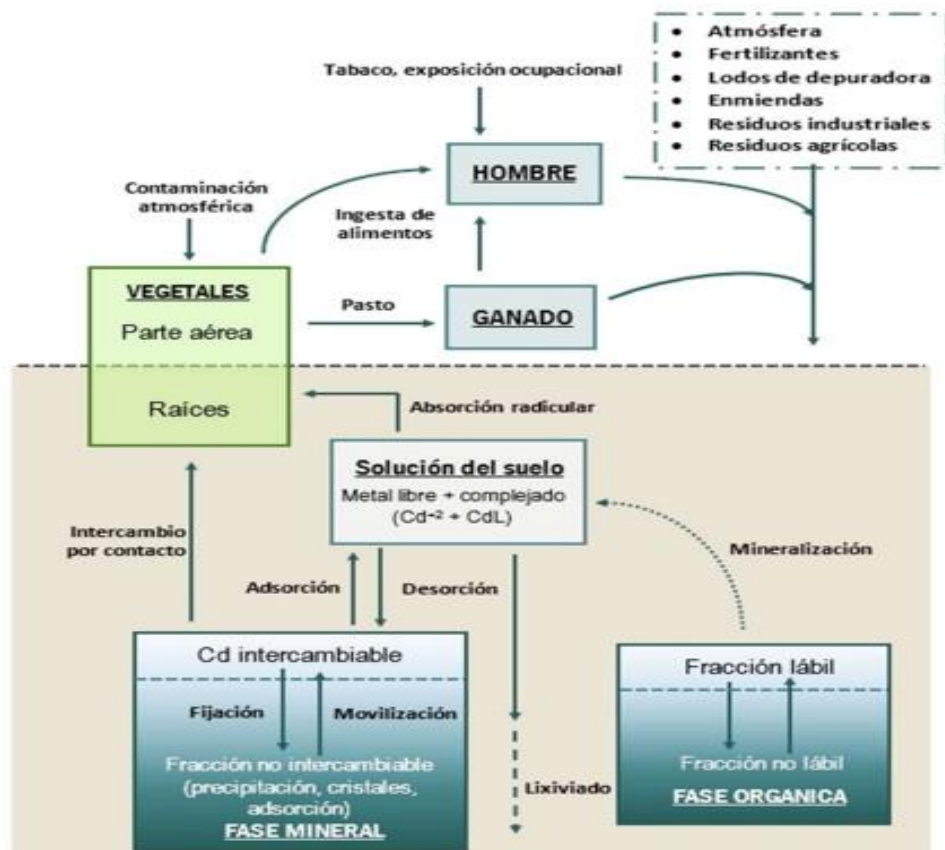


Figura 1. Flujo del cadmio en el medio (modificado de McLaughlin & Singh, 1999).

### **2.2.1. Origen del Cadmio en el suelo**

El cadmio ingresa al ambiente mediante diversas fuentes tanto naturales como antropológicas. En la corteza terrestre el cadmio se encuentra en cantidades muy bajas (<1 mg/kg), sin embargo, en los suelos su contenido fluctúa entre valores menores de 1 a 3 mg/kg, la concentración de cadmio en un suelo no contaminado es inferior a 1 mg/kg.

Una de las vías de incorporación antropogénica del cadmio a los suelos agrícolas es la fertilización fosfática. Las rocas fosfóricas, que son la materia prima de todos los fertilizantes fosfáticos, contienen niveles de metales pesados que varían según su origen geográfico, pero que generalmente son superiores al promedio de la corteza terrestre. Los metales permanecen en una proporción importante en los fertilizantes industriales y posteriormente son aplicados al suelo junto con el fósforo (HERRERA, 2010).

### **2.2.2. Disponibilidad del Cadmio en el suelo**

El cadmio, a menudo, se acumula en la capa superficial del suelo y, por tanto, pueden ser absorbidos por las raíces de las plantas. Los materiales húmicos tienen una gran afinidad por los cationes de metales pesados, e interactúan con éstos cuando están en el agua que está en contacto, por medio de un proceso de intercambio iónico. El enlace de los cationes metálicos ocurre en gran parte por la formación de complejos entre éstos y los grupos –COOH de los ácidos húmicos y fúlvicos. Normalmente, los ácidos húmicos dan lugar a la formación de complejos que son insolubles en agua, mientras que los complejos con los ácidos fúlvicos, que son más pequeños, sí son solubles (BAIRD, 2001).

SÁNCHEZ (2003), manifiesta que el cadmio y la mayoría de los metales pesados incorporados al suelo pueden seguir cuatro diferentes vías: Pueden quedar retenidos en el suelo, ya sea disueltos en la solución del suelo o bien fijados por procesos de adsorción y precipitación. Estos procesos son importantes ya que el contenido total de cadmio en el suelo da idea del nivel de

contaminación, pero es la fracción de cadmio asimilable por la planta, la que indica el grado de toxicidad potencial del elemento para los seres vivos.

La fracción de metal considerada asimilable se define como la suma de la fracción soluble en la fase líquida y la retenida en la fase sólida que puede ser transferida a la solución para ser absorbida por las raíces de las plantas. Pueden ser absorbidos por las plantas y así incorporarse a las cadenas tróficas, pueden pasar a la atmósfera por volatilización, pueden movilizarse a las aguas superficiales o subterráneas.

### **2.2.3. Movilidad del Cadmio en el suelo**

En todos los suelos la dinámica del Cd está fuertemente afectada por el pH. En suelos ácidos, la materia orgánica y los sesquióxidos controlan la solubilidad del metal. En suelos alcalinos el cadmio no es móvil ya que precipita en forma de carbonatos y fosfatos insolubles. Se favorece también la formación de especies hidroxilo monovalentes como  $\text{CdOH}^+$ , que no pueden ocupar fácilmente los sitios de unión en los complejos de intercambio catiónico.

La fijación de Cd es mayor en los suelos con contenidos más elevados de materia orgánica, textura más fina, mayor capacidad de intercambio catiónico y menor saturación de aluminio intercambiable. Se ha observado que la energía de enlace es mayor en la unión del cadmio con materia orgánica que con arcillas. Cabe mencionar también la alta afinidad del cadmio por oxihidróxidos de hierro y silicatos de aluminio como alofana e imogolita. Teniendo esto en cuenta, se puede afirmar que en ambientes ácidos la solubilidad del cadmio está modulada por dichos compuestos y por la materia orgánica (BAUTISTA, 1999; BADILLO, 1985; KABATA-PENDIAS, 2000).

La adición conjunta de Cd y Zn muestra efectos sinérgicos entre ambos metales; elevadas concentraciones de Zn favorecen la movilidad e inhiben la retención del Cd y viceversa (ESTÉVEZ *et al.*, 2000).



## 2.2.4. Salidas del Cadmio en el suelo

### 2.2.4.1. A través de extracción por parte de los cultivos

Según, SÁNCHEZ (2016); menciona que el Cd absorbido por las plantas depende de las propiedades del suelo (pH, contenido en materia orgánica) y de las especies vegetales. Para simplificar el análisis se puede suponer que la concentración de Cd en el cultivo varía proporcionalmente con la concentración de Cd en el suelo. Esta relación se describe típicamente mediante una función de transferencia (TF): relación de la concentración de Cd en el cultivo y la concentración de Cd suelo, expresadas en mg /kg de suelo seco:

$$TF = \frac{[Cd]_{\text{cultivo}}}{[Cd]_{\text{suelo}}}$$

### 2.2.4.2. A través de lixiviación

La lixiviación, expresada en g /ha/año, representa la pérdida de Cd de la parte superficial del suelo. Para su determinación a gran escala, normalmente se simplifica el cálculo y se estima a partir del exceso de precipitación o escorrentía (F, en m/año) y de la concentración de Cd en la solución del suelo ([Cd]solución, en mg Cd/L):

$$\text{Lixiviación} = 10.000 \times F \times [Cd]_{\text{solución}}$$

El exceso de precipitación media en Europa está estimado en 0,2 m/año. Para la región mediterránea la cifra se reduce a 0,05 m/año, y para aquellas zonas con precipitaciones abundantes se aumenta hasta 0,3 m/año. El coeficiente de reparto ( $K_D$ , en L/kg) representa cómo se distribuye el cadmio entre la fase sólida y la solución del suelo (SÁNCHEZ, 2016).

$$K_D = \frac{[Cd]_{\text{suelo}}}{[Cd]_{\text{solución}}}$$

Las concentraciones de Cd en los suelos agrícolas europeos son típicamente <1 mg Cd/kg, intervalo en el cual se considera que la adsorción sigue

un comportamiento lineal. Por tanto, se puede calcular el  $K_D$  mediante una regresión, en la que también se incluyen algunas propiedades del suelo como el pH y el porcentaje de carbono orgánico. La lixiviación promedio obtenida es de 2,56 g Cd/ha/año considerando un ritmo de drenaje del suelo de 0,2 m/año. Esta estimación es muy susceptible a las variaciones del pH del suelo y al contenido en carbono orgánico, lo que da lugar a cierta incertidumbre estadística en el valor de  $K_D$  (SÁNCHEZ, 2016).

### **2.2.5. Ingreso, transporte y acumulación de cadmio en las plantas.**

Es bien conocido que un exceso de cationes esenciales como el  $Zn^{2+}$  y el  $Ca^{2+}$ , producen un efecto protector frente a la toxicidad del cadmio (ARAVIND Y PRASSAD, 2005), lo que sugiere la existencia de una competencia de estos cationes por la entrada a la planta.

Como el cadmio no es un metal esencial, se asume que no existen mecanismos de entrada específicos para el mismo; pero entre las proteínas responsables de la entrada de cadmio a la célula cabe destacar el transportador específico de calcio LCT1 (CLEMENS et al., 1998), y la proteína IRT1, perteneciente a la familia de transportadores de Zn y Fe (ZIP) (GUERINOT, 2000).

Otra familia de transportadores potencialmente implicada en la entrada de  $Cd^{2+}$ , es la Nramp, localizada en la membrana de la vacuola, por lo que probablemente tenga una función en la movilización del metal y no en el ingreso del mismo a la raíz (THOMINE et al., 2000).

Una vez dentro de la célula el cadmio puede coordinarse con ligandos de S como glutatión (GSH) o fitoquelatinas (PCs) y ácidos orgánicos como el citrato (CLEMENS, 2006; DOMÍNGUEZ-SOLÍS et al., 2004); además otras posibles moléculas responsables de la quelación del cadmio son pequeñas proteínas ricas en cisteína denominadas metalotioneínas (MTs) de esta forma,

los complejos Cd-ligando pueden ser transportados al interior de la vacuola o a otras células (SHAH Y NONGKYNRH, 2007); asimismo en la planta, el cadmio se acumula preferentemente en la raíz secuestrado en la vacuola de las células, y sólo una pequeña parte es transportada a la parte aérea de la planta, concentrándose en orden decreciente en tallos, hojas, frutos y semillas (CHAN Y HALE, 2004).

Otro posible mecanismo de entrada del cadmio en la vacuola es mediante un cotransportador de  $\text{Cd}^{2+}/\text{H}^{+}$  ubicado en la membrana de la misma (SALT Y WAGNER, 1993). Los transportadores de cationes CAX, implicados en el transporte de calcio a la vacuola, también transportan otros metales como el cadmio (PARK *et al.*, 2005), una vez en la raíz, el cadmio puede pasar a la xilema a través del apoplasto y/o a través del simplasto formando complejos (CLEMENS *et al.*, 2002). En la Figura 2 se muestra un esquema del ingreso del cadmio a través de las células de la raíz, hasta llegar a la xilema.

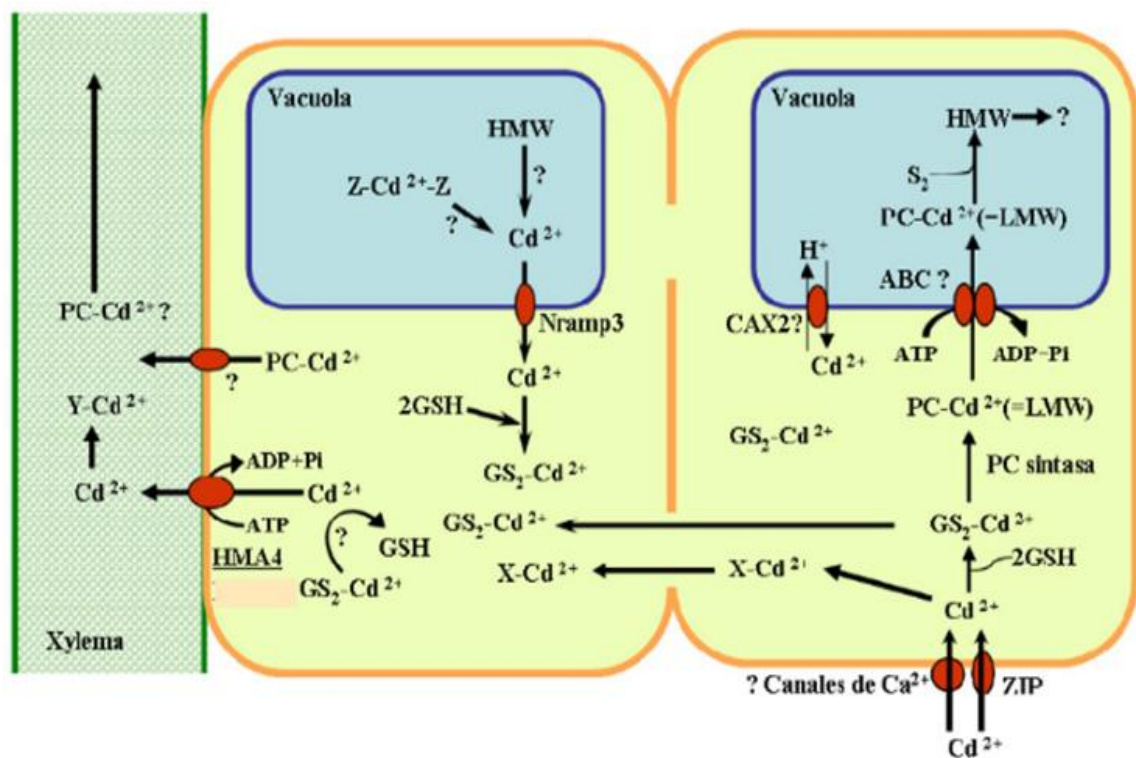


Figura 2. Representación esquemática de los mecanismos de entrada, secuestro y translocación del cadmio en raíces (Clemens, 2006).

## **2.3 Abonos orgánicos**

La biomasa, es la totalidad de sustancias orgánicas de seres vivos (animales y plantas), se puede utilizar como materia prima renovable, así como energía material, origina el biogás y un uso ingenioso de la biomasa es la producción de abono orgánico (LÓPEZ, 2014).

Los aportes orgánicos pueden ser endógenos y exógenos. Los endógenos se generan al interior de los agroecosistemas y ecosistemas y llegan por la descomposición en el suelo sin transformaciones realizadas por el hombre (hojarasca, residuos de cosecha dentro del terreno, estiércol de vacunos en pastoreo, etc.). Los exógenos, son aquellos residuos orgánicos de diversa procedencia que son transformados por el hombre y los hacen llegar a los ecosistemas. Entre los más comunes tenemos el compost, los abonos verdes y el lombricompost (RESTREPO, *et al*, 2014).

Se piensa que, en estos y otros sistemas que usan residuos orgánicos, muchos de los beneficios derivados de la utilización de estos materiales, son debido a su habilidad para mantener la materia orgánica, la estructura física del suelo y promover el reciclaje de nutrientes (STEVENSON, 1994).

### **2.3.1. Compost**

El proceso de compost es una descomposición predominantemente aeróbica y se puede dividir en 3 fases; la fase inicial de descomposición de los materiales más lábiles, tales como azúcar, proteínas y almidones. La segunda fase de temperaturas más altas, donde se degradan los materiales más recalcitrantes como celulosa y la lignina, y finalmente a la fase tercera de síntesis, donde se forman las sustancias húmicas (RESTREPO, *et al*, 2014).

Según, RESTREPO, *et al* (2014); los factores a tener en cuenta para elaborar un buen compostaje son: Humedad ideal para iniciar el proceso de compost debe estar alrededor de 40 a 55%, temperatura ideal que oscile entre

40 y 50 °C, oxígeno es aproximadamente del 5%, el pH adecuado para un compost oscila en un rango entre 6 y 8, relaciones de C/N altas ocasionan que el proceso de descomposición sea más lento y relaciones de C/N bajas hacen que se pierda nitrógeno por falta de estructuras de carbono, que permitan que lo retengan.

LABRADOR (2001) asegura que la calidad del compost es una expresión de sus características y que esta calidad refleja que hemos obtenido un producto orgánico estable, con un contenido elevado en sustancias húmicas, equilibrado en nutrientes, óptimo en microorganismos útiles, que presenta una granulometría idónea, así como un olor agradable y una coloración oscura y que está libre de contaminantes y de sustancias fitotóxicas, siendo su dinámica en el suelo semejante a la de las sustancias húmicas originales.

No se debe confundir la calidad del compost con su madurez. La madurez del compost significa que los nutrientes y la energía que contienen los materiales que han contribuido al producto final han sido combinados de forma adecuada, siguiendo un proceso correcto y formando como consecuencia una masa orgánica estable. La calidad de un compost refleja su madurez, pero también refleja o incluye otras características físicas, químicas y biológicas restantes (LABRADOR, 2001).

Por su parte, CEGARRA (1994) Y MAZZARINO (2005) aseguran que la calidad del compost está determinada por los materiales originales (su grado de digestión, su contenido original de nutrientes, etc.) y por el sistema de compostaje utilizado. Los autores afirman que para evaluar la calidad del compost se proponen criterios basados en la cuantificación de algunos parámetros físicos, químicos y biológicos. Estos criterios definen las características benéficas del compost y permiten recomendar su aplicación para diferentes finalidades agrícolas.

El uso de microorganismos eficientes (EM) en el compost tiene la ventaja con respecto al compost común, que su uso acelera la descomposición de la materia orgánica y neutralizan los malos olores generados en el proceso. El proceso de compostaje puede durar 1 a 2 meses dependiendo de la materia prima utilizada. Además, los EM se reproducen en esta materia orgánica por lo que al aplicarlo al suelo estamos haciendo una inoculación de microorganismos beneficiosos (BID, 2009).

Cuadro 1. Parámetros físicos y químicos de compostaje.

Parámetro	Rango ideal al comienzo (2-5 días)	Rango ideal para compost en fase termofílica II (2-5 semanas)	Rango ideal de compost maduro (3-6 meses)
Relación C:N	25:1 – 35:1	15/20	10:1 – 15:1
Humedad	50% -60%	45% - 55%	30% - 40%
Concentración de oxígeno	10%	10%	10%
Tamaño de partícula	< 25 cm	15 cm	< 1,6 cm
pH	6,5 – 8,0	6,0 – 8,5	6,5 – 8,5
Temperatura	45 – 60 °C	45 °C	Temperatura ambiente
Densidad	250 – 400 kg/m <sup>3</sup>	< 700 kg/m <sup>3</sup>	< 700 kg/m <sup>3</sup>
Materia orgánica (Base seca)	50% - 70%	>20%	>20%
Nitrógeno total (Base seca)	2,5 – 3%	1 – 2%	1%

FUENTE: ROMÁN, *et al*; 2013.

### 2.3.2.Humus

El humus de lombriz es un fertilizante de primer orden, protege al suelo de la erosión, siendo un mejorador de las características físico-químicas del suelo, de su estructura (haciéndola más permeable al agua y al aire), aumentando la retención hídrica, regulando el incremento y la actividad de los nitritos del suelo, y la capacidad de almacenar y liberar los nutrientes requeridos por las plantas de forma equilibrada (nitrógeno, fósforo, potasio, azufre y boro) (FERNÁNDEZ y HERNÁNDEZ, 2006).

El proceso de compostaje natural hasta la formación de humus requiere un tiempo considerable (años en algunos casos) que no estamos dispuestos a esperar, de modo que en el marco de la lombricultura el tiempo de compostaje al que se va a someter la materia orgánica es de 45 a 90 días. La calidad del abono (humus) a obtener se relaciona directamente con la selección (tipo) de materia orgánica, su estado, acondicionamiento y tratamiento. Una elección inadecuada nos proporcionara un alimento que las lombrices podrán mejorar, pero sin llegar al óptimo (SCHULDIT, 2004).

Las lombrices pueden tomar y acumular en sus tejidos metales pesados como cadmio, mercurio, plomo, etc. cuando viven en ambientes contaminados y sin contaminar. Puesto que las lombrices forman parte de numerosas cadenas tróficas, los animales carnívoros; dependiendo de su eficiencia en su asimilación, pueden acumular metales pesados predando sobre aquellas (IRELAND, 1983). Las deyecciones de lombrices constituyen el llamado vermicompost, que contienen más nutrientes que el suelo original. Las lombrices no incrementan el contenido total de nutrientes en suelo, pero los hace más asimilables y acelera el reciclaje de los elementos. Se considera que la fuente de nutrientes fundamentalmente afectada por las lombrices es la materia orgánica, que incluye materia vegetal muerta, en la superficie del suelo, y también raíces y materia orgánica del suelo, así como micro fauna y microflora, en profundidad (SYERS y SPRINGETT, 1983).

Los investigadores, Swati Pattnaik y M. Vikram Reddy, del Departamento de Ecología y Ciencias Ambientales de la Universidad de Pondicherry (2010), explicaron que el proceso de vermicompostaje con varias especies de lombrices permite la remediación de residuos sólidos y la utilización del compost para su uso en el cultivo de alimentos para humanos sin el riesgo de que se acumulen metales pesados en los cultivos. Ellos afirman que los gusanos pueden eliminar hasta el 75% de los diversos metales pesados de los desechos sólidos.

Cuadro 2. Parámetros físicos químicos estándar de humus de lombriz.

Elemento	Unidad	Rango	
pH		6.8	7.2
Materia orgánica	%	30	50
CaCO <sub>3</sub>	%	8	14
Cenizas	%	27	67
Carbono orgánico	%	8.7	38.8
Nitrógeno total	%	1.5	3.35
Amonio NH <sub>4</sub> /N	%	20.4	6.1
Nitratos NP <sub>3</sub> /N	%	79.6	97.0
N-NO <sub>3</sub>	Ppm	2.18	1.693
CIC	meq /100 g	150	300
Relación ácidos húmicos/fúlvicos		1.43	2.06
P total	Ppm	700	2.500
K total	Ppm	4.400	7.700
Ca total	%	2.8	8.7
Mg total	%	0.2	0.5
Mn total	Ppm	260	576
Cu total	Ppm	85	460
Zn total	Ppm	87	404
Capacidad de retención de agua	cc/kilo seco	1.300	1.500
Actividad fitohormonal	1 mg / 1 de CHS	0.01	
Actividad específica	m <sup>2</sup> / gr	700	800
Relación C/N		9	13
Flora microbiana	Millones/ g s.s.	20.000	50.000

Fuente: MEJÍA, 2016.



### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Lugar de Estudio**

El presente trabajo de investigación se ejecutó en las instalaciones del fundo de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS), ubicada en el distrito de Rupa Rupa, Provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco, entre los meses de noviembre 2017 a abril 2018.

##### **3.1.1.Ubicación geográfica**

Geográficamente la ciudad de Tingo María, se encuentra en la hoja 19-k de la Carta Nacional del Instituto Geográfico Nacional, correspondiente a la Región Selva, el vivero se encuentra en las coordenadas UTM: 390512 m. E y 8970158 m. N.

##### **3.1.2.Ubicación política**

Región:Huánuco.

Provincia:Leoncio Prado.

Distrito:Rupa Rupa.

##### **3.1.3.Aspectos ambientales**

###### **a. Clima**

La ciudad de Tingo María tiene un clima tropical, con una temperatura máxima de 35°C y mínima de 17°C y una humedad atmosférica relativa máxima de 88% y mínima de 74%. Presenta una precipitación media anual de 3355 mm. Según el Mapa Ecológico corresponde a la zona de vida bosque muy húmedo Premontano Tropical (bmh-PT), la zona de vida establecida en la clase N° 09 del reglamento de clasificación de tierras (HOLDRIDGE, 1987).

### **b. Flora**

El área rural de la Provincia tiene una diversidad de plantas y flora silvestre, cuyo inventario indica alrededor de 1,200 especies, las mismas que tienen diversos usos, especialmente para fibras, aceites, grasas, colorantes, pigmentos, etc. se caracteriza por la presencia de una compleja vegetación natural, mayormente arbórea, constituyendo masas boscosas de tipo tropical y subtropical, susceptibles para la producción de madera. La composición florística es muy diversificada, en cambio el contenido volumétrico es más uniforme.

Asimismo, existen especies de aprovechamiento diferentes a la madera, como las productoras de esencias y plantas medicinales, siendo las principales la cascarilla (familia sapotáceos), sangre de grado que es usada como cicatrizante y la uña de gato (*uncaria tomentosa*) especie de alta demanda por sus particulares beneficios curativos, el cube o barbasco de la que se extrae la "Rotenona" principio activo para la formulación de compuestos químicos orientados al control de insectos, el Sanango que sirve para aliviar los males reumáticos, el Ojé que se utiliza como un antihelmíntico, la Copaiba cuya resina tiene usos medicinales, entre otros. También hay algunas especies botánicas importantes de uso frecuente en la construcción de viviendas rústicas, entre las cuales tenemos; la Caña Brava, Bambú, Pona o Shonta, Manchinga, Estoraque, Leche Caspi, Chiringa, Oropel y diversas palmeras de uso popular para los lugareños.

En las montañas se encuentran diversas variedades de Orquídeas (parque Nacional de Tingo María), la altitud y masa arbórea de los bosques permite su buen desarrollo (PLAN DE DESARROLLO CONCERTADO DE LA PROVINCIA DE LEONCIO PRADO, 2009).

### **c. Fauna**

La provincia cuenta con una gran diversidad de especies animales nativas, identificándose el mayor número de especies en las zonas de menor influencia antrópica (zonas altas del área de influencia provincial). Más de 100

especies de mamíferos, gran variedad de aves (150 especies), peces (45) especies y una diversidad de insectos.

Las aves silvestres que predominan son: *Columba fasciata* “paloma”, *Tinamus tao* “perdiz”, coeche, guarda caballo, gallinazo, *Diyocopus sp* “pájaro carpintero”, *Pulsatrix perspicillata* “pucacunga”, *Pionus sp* “loro”, papagayos, pihuichos, gorriones, guacharos, gallaretas, garzas, lechuzas, el gallito de las rocas en actual proceso de extinción, *Aulacorhynchus sp* “tucán”, gavián, gallinazo, y *Pipile cumanensis* “pava de monte”. Entre los mamíferos más representativos tenemos: *Sylvinagus brasiliensis* “conejo silvestre”, *Aotus trivigatus* “mono”, *Felis pardalis* “tigrillo”, *Didelphis marsupialis* “carachupa”, *Agouti paca* “picuro o majaz”, *Nasua* “achuni”, *Dasyprocta sp.* “añuje”, *Cyclopes didactylus* “oso perezoso”, *Tamadua tetradáctila* “oso hormiguero”, *Coendou bicolor* “puerco espín”, sajino, ronsoco, muca, sachacuy y roedores. Existen especies mayores como; el tigre de manchas, el tigrillo o jaguar, venado, y la sachavaca.

Entre los ofidios se tiene: *Lachesis muta* “shushupe”, *Carallus caninus* “loromachaco”, *Bothrops atrax* “jergón”, *Micrunus sp* “cascabel”, y la *Epicrates cenchrias* “mantona”. Entre los peces y moluscos: *Plecostomus sp* “carachama”, *Vandellia plazai* “huasaco”, y el *Brachistostemus herembher* “cancrejo”. Existe también gran variedad de insectos y artrópodos. Hay una pérdida sistemática de aves, insectos u otros animales que viven en la provincia, debidos principalmente al avance del proceso de deforestación y a la actividad agrícola, que incluye los cultivos ilícitos de hoja de coca, que incorpora prácticas y métodos de manejo de suelos y bosques inadecuados (PLAN DE DESARROLLO CONCERTADO DE LA PROVINCIA DE LEONCIO PRADO, 2009).

#### **d. Actividades económicas**

La principal actividad económica de la Provincia de Leoncio Prado es la agricultura, la misma que representa en promedio de 65.72% de la PEA,

con 65% de una agricultura de subsistencia, bajo nivel tecnológico, de rendimiento y un casi nulo sistema de información. La actividad comercial muestra niveles importantes en dos distritos de la provincia: en Rupa Rupa donde representa 24.30% de la PEA y en el distrito de José Crespo y Castillo, donde esta actividad representa 40% de la PEA, según el Censo realizado 1993. El sector manufacturero es incipiente, que absorbe apenas el 5% de la oferta laboral. El sector turismo, a pesar de las bondades de nuestra provincia, tiene muchas limitaciones de infraestructura vial, de servicios, de capacitación y de puesta en valor de los atractivos turísticos (PLAN DE DESARROLLO CONCERTADO DE LA PROVINCIA DE LEONCIO PRADO, 2009).

#### **e. Fisiografía**

La fisiografía del vivero de la Facultad de agronomía de la UNAS, es una terraza bajo no inundable, con pendientes entre 0 a 3% y una topografía plana, mientras que la fisiografía de la parcela de donde se obtuvo el sustrato suelo para utilizar con la mezcla de los abonos orgánicos es una parcela perteneciente a la unidad fisiográfica de terraza baja no inundable hasta una terraza media con ligeras ondulaciones y pendientes que van entre 2 a 6%; por lo que es considerado como suelos aluviales con pH mayores de 6.0.

### **3.2. Equipos y materiales**

#### **3.2.1. Equipos**

- Cámara fotográfica.
- Laptop.
- Estufa.
- GPS.
- Espectrofotómetro Absorción Atómica (lámpara de Cd 228.8 nm)
- Balanza gramera (0.01 g)

#### **3.2.2. Materiales**

##### **3.2.2.1. Materiales de campo**

- Libreta de campo.

**3.2.2.2. Para el muestreo de suelo**

- Tubo muestreador.
- Bolsas plásticas.

**3.2.2.3. Para la inoculación del suelo**

- Sulfato de cadmio pentahidratado ( $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ )
- Agua destilada.
- Depósitos de 20 litros.

**3.2.2.4. Para la instalación y siembra de plantones**

- Semillas de cacao CCN51.
- Suelo que se utilizará como sustrato.
- Abonos orgánicos (Compost y Humus).
- Bolsas de polietileno.

**3.2.2.5. Para el análisis inicial de cadmio disponible en suelo**

- Floculador de suelos de 33 muestras.
- Rack de polietileno de 11 muestras.
- Micro pipeta hasta 5 ml de capacidad.
- Dispensador capas de dispensar hasta 25 ml.
- Tubos de ensayo
- Gradilla porta tubos
- Papel Filtro Whatman
- EDTA 0.05 M, pH 7
- Agua destilada

**3.2.2.6. Para el análisis inicial de cadmio total en suelo**

- Ácido Clorhídrico 35%
- Ácido Nítrico 65%
- Balón de reacción.
- Balón aforado.

### **3.2.2.7. Para el análisis del cadmio total en tejido vegetal**

- Crisoles.
- Agua destilada.
- HCl concentrado.
- Fiola de 100 mL.

### **3.3. Metodología**

En el estudio se utilizó el diseño completo al azar (DCA) con 15 repeticiones, en arreglo factorial: compost (A1) y humus (A2), con seis concentraciones de materia orgánica (20%, 30%, 40%, 50%, 60% y 70%), más dos testigos adicionales con un total de 14 tratamientos. Luego se colocó una semilla pre germinada de cacao (*Theobroma cacao* L), variedad CCN 51, en el sustrato mezclado según tratamientos.

#### **3.3.1. Muestreo y Obtención del sustrato inicial**

Usando un tubo muestreador (de profundidad 0 - 30 cm) se tomó muestras del sustrato de la parcela de un agricultor cacaotero del sector de Capitán Orellana, ubicado pasando el sector de Supte San Jorge. La metodología que se empleó para la obtención de la muestra fue la planteada en la Guía Metodológica para el muestreo y detección de cadmio en suelos, agua, fertilizantes, almendras de cacao y productos derivados (DEVIDA, 2013); para el suelo a través del método del zig zag, muestreando en 30 puntos (sub muestras) para obtener la muestra compuesta de 1 Kg realizando el análisis fisicoquímico y de cadmio total y disponible en el Laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

La fisiografía de la parcela de donde se obtuvo el sustrato suelo para utilizar con la mezcla de los abonos orgánicos es una parcela perteneciente a la unidad fisiográfica de terraza baja no inundable (Tb2), hasta una terraza media (Tm2), con ligeras ondulaciones y pendientes que van entre 2 a 6%.

Por lo que es considerado como suelos aluviales con pH mayores de 7.0, influyendo en la disponibilidad de nutrientes cuando el pH se encuentra mayor de 5.6 por lo tanto son suelos con buena disponibilidad de nutrientes, de ahí que los resultados obtenidos del análisis de laboratorio, nos muestran un suelo aluvial, de textura franco arenoso, con pH 7.58, materia orgánica 2.62%, 2.33 ppm de cadmio total y 1.73 ppm de cadmio disponible, adjunto en anexos. Con esta información se eligió el suelo como sustrato inicial para la investigación y se procedió a tomar muestras de suelo sobre los 30 cm.

### 3.3.2. Cálculo e Inoculación con cadmio al sustrato inicial

Debido a que, en otros trabajos de investigación de la región de Huánuco, como OTTOS (2018) donde reporta parcelas con 3.65 ppm de cadmio total en la zona de Supte, al igual que HUAYNATES (2013) quien reportan parcelas con valores de cadmio total de 3.6 ppm.

Por lo que se decidió inocular con 5 ppm de sulfato de cadmio al sustrato inicial obtenido. La cantidad de Cd necesario para el trabajo de investigación fue de 500 mL a una concentración de 1000 ppm. Los cálculos se muestran en el cuadro 3.

Cuadro 3. Cálculos de la cantidad de sulfato de cadmio que se pesó para preparar una concentración de 1000 ppm de Cd.

Cálculo del sulfato de cadmio	
Cd	$3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$
3 Cd	$3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$
337,2 mg Cd	769.54 mg $\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$
1000 mg Cd	2.2820 g $\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$

Lo que significa que 2.2820 g de  $\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$  se disolvió en 1 litro de agua destilada. Una vez preparado la solución se procedió a hacer los cálculos como se presenta en el cuadro 4, para contaminar 180 kilos de suelo.

Cuadro 4. Cálculo de la solución de cadmio para adicionar al suelo.

Cadmio adicionado al suelo	
W solución * C solución	W suelo * C suelo
W solución * 1000 mg Cd	180000 g suelo * 5 mg Cd
W solución	900 mL

Se calculó el porcentaje de humedad a capacidad de campo (28.34), para saber la necesidad de agua, como se ve en las siguientes ecuaciones:

$$\frac{\text{Peso humedo} - \text{peso seco}}{\text{Peso seco}} \times 100 = 28.34$$

$$\frac{28.34 \times 180000}{100} = 51012.0 \text{ mL} = 51 \text{ L}$$

Siendo la necesidad de agua 51012.0 ml, por lo que se midió la cantidad de agua descontando los 900 ml de solución y se les adicionó a los 180 kilos de suelo extraídos, removiendo muy bien y dejando 45 días en incubación.

### 3.3.3. Recolección y análisis de compost municipal

El compost municipal utilizado para la investigación es la que se producía en el año 2017 en la planta de compostaje del Programa de Segregación en la fuente y recolección selectiva de la Municipalidad Provincial de Leoncio Prado donde se llevaba a cabo por microorganismos eficientes obtenidos de ecosistemas naturales manejando una proporción de 2 a 3 tn de residuos sólidos orgánicos producto de las recolecciones de los días lunes, miércoles y viernes (GGAyDC – MPLP, 2018).

Posterior a esto, se realizó el análisis especial en base seca en el Laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, donde se obtuvo los datos que se muestran en anexos.



### 3.3.4. Obtención del humus

El humus se obtuvo a partir del compost municipal con el apoyo de lombrices californianas compradas de la Facultad de Zootecnia de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, donde se puso a incubar las lombrices con el compost en depósitos composteros donde se obtuvo 20 kilos de humus de cada compostero, después de 3 meses del proceso, donde se alimentaba a las lombrices con residuos orgánicos de cocina, bien picados. Luego se realizó el análisis especial en base seca en el Laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, donde se obtuvo los datos que se muestran en anexos.

### 3.3.5. Embolsado, Acomodo y Distribución

Se procedió a llenar 15 bolsas de 2 kilos por tratamiento, siendo un total de 210 bolsas; donde se mezcló de uno en uno (15 bolsas) la cantidad del sustrato inoculado con los abonos orgánicos (compost y humus) a diferentes proporciones (20 / 30 / 40 / 50 / 60 y 70 %) como se menciona en el cuadro 5. En la que distribución de cada tratamiento fue de 2 filas de 7 y 8 bolsas cada tratamiento, con una separación de 5 cm entre bolsas y entre filas, tomando el centro de la bolsa como los extremos.

Cuadro 5. Distribución de cantidades de abono orgánico según tratamientos en estudio.

Tratamiento	Proporción (%)	Cantidad de sustrato (g)	Cantidad de abono orgánico (g)	Tipo de abono orgánico
T1	20	400	1600	Compost
T2	30	600	1400	Compost
T3	40	800	1200	Compost
T4	50	1000	1000	Compost
T5	60	1200	800	Compost
T6	70	1400	600	Compost
T7	20	400	1600	Humus

T8	30	600	1400	Humus
T9	40	800	1200	Humus
T10	50	1000	1000	Humus
T11	60	1200	800	Humus
T12	70	1400	600	Humus

---

### 3.3.6. Obtención y siembra de semillas de cacao

Para la obtención de semillas se ubicó una parcela de cacao CCN51, donde se cosecharon las mazorcas maduras de cacao, se quebró y descocó y se quitó el mucílago con aserrín, luego se desinfectó con el producto “Homai” para evitar el ataque de hongos del suelo.

En lo que respecta con la siembra se realizó un pre-germinado de un día para otro hasta que se note 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 de su tamaño.

### 3.3.7. Registro de Observaciones

Al culminar la investigación se realizó las siguientes mediciones:

#### A. Longitud tallo

Se realizó 1 vez al mes desde la instalación del vivero, con el uso de una regla de 50 centímetros desde el cuello de la planta hasta la bifurcación del ápice terminal.

#### B. Diámetro del tallo

Al culminar los 6 meses de evaluación, con la ayuda de un vernier se midió a la altura de la cicatriz cotiledonal.

#### C. Peso del tallo

Al culminar los 6 meses de evaluación, se pesó el tallo de todas las plantas de cada tratamiento con la ayuda de una balanza gramera.

#### D. Número de hojas y peso de hojas

Se contabilizó al terminar los 6 meses de evaluación. Al culminar los 6 meses de evaluación, se pesaron todas las hojas por planta de cada tratamiento con la ayuda de una balanza gramera.

Por otro lado, se evaluó algunas deficiencias de microelementos en las hojas.

#### 3.3.8. Análisis fisicoquímico del suelo

Al finalizar los 6 meses de evaluación, se procedió a escoger al azar 4 plantas por tratamiento para realizar el análisis fisicoquímico del suelo, donde se analizaron los siguientes parámetros, según el cuadro 6:

Cuadro 6. Parámetros para los análisis de suelos.

Parámetro	Método empleado
Arcilla, Limo y Arena (%)	Hidrómetro
Clase textural	Triángulo textural
pH	Potenciómetro
Materia orgánica (%)	Walkley y Black
Nitrógeno total (%)	%M.O x 0.05
Fósforo disponible (ppm)	Olsen modificado
Potasio	Absorción atómica
CIC	Acetato de amonio 1N pH 7.0 (suelos con pH>5.5)
Ca (meq/100 g suelo)	Absorción atómica
Mg (meq/100 g suelo)	Absorción atómica
Cd (ppm) total	Extractante EDTA 0.05 M pH 7
CICe	KCl 1 N en suelo pH<5.5

FUENTE: Laboratorio de suelos de la UNAS, 2018.

### **3.3.9. Análisis de cadmio en el suelo**

Al finalizar los 6 meses de evaluación, se procedió a analizar el cadmio total y disponible en el suelo, de los mismos 4 plantones escogidos para el análisis fisicoquímico del suelo, el cual se analizó de la siguiente manera:

#### **A. Determinación del cadmio total en el suelo método (USEPA 3050 B)**

La determinación del cadmio total en los suelos se realizó según el método EPA-3050B (Agencia de Protección Ambiental) de digestión acida de sedimentos, lodos y suelos (USEPA 1996), la cuantificación del filtrado se realizó en el espectrofotómetro de absorción atómica (SAA; modelo Varian "Spectra 55B" Hecho en Australia), con los siguientes pasos:

- Pesamos 2 gramos de suelo, con un tamaño de partícula 2 mm. Añadimos 10 ml de  $\text{HNO}_3$  1:1. Calentamos a  $95\text{ }^\circ\text{C}$  por 5 minutos. Enfriamos y añadimos 5 ml de  $\text{HNO}_3$  concentrado. Repetimos una vez y dejamos reducir la solución hasta 5 ml. Dejamos enfriar y añadimos 2 ml de agua destilada y 3 ml de  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Al cesar la efervescencia añadimos 1 ml de  $\text{H}_2\text{O}_2$ .
- Repetimos hasta que no se observe efervescencia. Añadimos 5 ml de  $\text{HCl}$  concentrado y 10 ml de agua desionizada. Calentamos por 15 minutos y dejamos enfriar. Filtramos por gravedad. Aforamos a 50 ml con agua destilada. Almacenamos y mantenemos refrigerado. La cuantificación se realizó por espectrofotómetro de absorción atómica.

#### **B. Cadmio disponible en suelo**

El cadmio disponible o extraíble se determinó empleando el EDTA 0,05 M según GONZALES (1986) adaptado para este estudio, que consistió en ajustar a pH 7, con ácido clorhídrico, luego se pesó 5 gramos de suelo y se añadió 20 ml de la solución extractante EDTA, con pH 7 y en un agitador eléctrico se agito durante 20 minutos, luego se filtró y realizo diluciones en caso sea requerido, luego se cuantificó en el espectrofotómetro de absorción atómica. El filtrado se determinó usando el espectrofotómetro de absorción atómica (SAA; modelo Varian "Spectra 55B", Hecho en Australia).

### **3.3.10. Análisis de cadmio total en tejidos**

El cadmio en hojas se determinó según BAZÁN (1996). Para determinar el cadmio total en tejido (hojas) se tomaron muestras de hojas de los plántones de cacao, cuando los plántones tenían 6 meses. La secuencia del análisis se describe a continuación:

- Pesamos 0.5 g de tejido vegetal y colocamos dentro de frascos, resistentes a calor y de 50 ml de capacidad.
- Adicionamos 5 ml de la solución nítrica – perclórica. (1:4). Colocamos sobre la plancha de calentamiento y evaluamos gradualmente la temperatura hasta 175 °C. Dejamos en digestión por 1 hora y 30 minutos o hasta que la solución se vuelva clara.
- Removemos el frasco y adicionamos 15 ml de 0.1 NHCl. Agitamos el frasco para disolver las cenizas y filtrar la solución. Luego cuantificamos por el espectrofotómetro de absorción atómica.

### **3.4. Componentes en estudio**

Los componentes en estudio del presente trabajo estarán determinados por los dos tipos de abonos orgánicos, compost y humus de residuos sólidos a diferentes proporciones, con 2 testigos adicionales.

### **3.5. Diseño experimental**

Para el presente trabajo de investigación se aplicó el Diseño completamente al azar (DCA), en 15 repeticiones en arreglo factorial: compost (a1) y humus (a2), con seis concentraciones de materia orgánica (20%, 30%, 40%, 50%, 60% y 70%), más dos testigos adicionales con un total de 14 tratamientos. Para las comparaciones entre los tratamientos se utilizó la prueba de comparación de medias Duncan, con un nivel de significación ( $\alpha = 0.05$ )

Factor A = Tipos de abonos orgánicos

a1= Compost de residuos sólidos orgánicos.

a2= Humus de residuos sólidos orgánicos.

Factor B = Proporciones (Abono - Suelo o Sustrato)

b1=20% + 80%

b2=30% + 70%

b3=40% + 60%

b4=50% + 50%

b5=60% + 40%

b6=70% + 30%

Testigos adicionales

a1i=Suelo inoculado con Cd, sin materia orgánica

a1ii=Suelo sin inocular Cd, sin materia orgánica

Los tratamientos en estudio del presente trabajo de investigación se describen en el cuadro 7:

Cuadro 7. Tratamientos en estudio del trabajo de investigación.

N°	Clave	Descripción
1	T <sub>1</sub> = a1b1	20% de compost + 80% de sustrato o suelo
2	T <sub>2</sub> = a1b2	30% de compost + 70% de sustrato o suelo
3	T <sub>3</sub> = a1b3	40% de compost + 60% de sustrato o suelo
4	T <sub>4</sub> = a1b4	50% de compost + 50% de sustrato o suelo
5	T <sub>5</sub> = a1b5	60% de compost + 40% de sustrato o suelo
6	T <sub>6</sub> = a1b6	70% de compost + 30% de sustrato o suelo
7	T <sub>7</sub> = a2b1	20% de Humus + 80% de sustrato o suelo
8	T <sub>8</sub> = a2b2	30% de Humus + 70% de sustrato o suelo
9	T <sub>9</sub> = a2b3	40% de Humus + 60% de sustrato o suelo

10	$T_{10} = a_2b_4$	50% de Humus + 50% de sustrato o suelo
11	$T_{11} = a_2b_5$	60% de Humus + 40% de sustrato o suelo
12	$T_{12} = a_2b_6$	70% de Humus + 30% de sustrato o suelo
13	$T_{13} = T_{a1}$	Testigo adicional (sustrato o suelo inoculado sin materia orgánica)
14	$T_{14} = T_{a2}$	Testigo adicional (sustrato o suelo sin inocular sin materia orgánica)

El análisis de regresión y correlación se realizó considerando la variable independiente (x) porcentaje de aplicación de materia orgánica y la variable dependiente (y) concentración de cadmio en el suelo y diferentes órganos de cacao.

Modelo aditivo lineal es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Dónde:

$\mu$  = Efecto de la media general.

$\alpha_i$  = Efecto del i-esimo del nivel del factor A

$\beta_j$  = Efecto del j-esimo del nivel del factor B

$(\alpha\beta)_{ij}$  = Efecto de la interacción i-esimo nivel del factor A, con el j-esimo nivel del factor B

$\varepsilon_{ijk}$  = Efecto aleatorio del error experimental correspondiente al i-ésimo nivel del factor A con el j-esimo nivel del factor B en la k-esima repetición.

Para:

i = 1, 2, efecto de la influencia de dos suelos

j = 1, 2, 3, 4, 5, 6 efecto de los niveles del factor, niveles de materia orgánica (B)

k = Repeticiones

Cuadro 8. Esquema del análisis de variancia (ANVA).

F. Var	GI	SC	CM	FC	F tab
Tratamiento	AB-1	SCTra	CMTra	CMTra /CMe	$F(g_{\text{trat}}, g_{\text{lee}})$
A	a-1	SCA	CMA	CMA/CMe	
B	b-1	SCB	CMB	CMB/CMe	
AB	(a-1)(b-1)	SC(AB)	CM(AB)	CM(AB) /CMe	
Ta1 vs Trat	1				
Ta2 vs Trat	1				
Error	(r-1)(ab-1)	SCe	CMe		
Total	abr-1	SCT			



## IV. RESULTADOS

### 4.1. Efecto del compost y humus de residuos sólidos orgánicos en la concentración del cadmio disponible y total

En la investigación se obtuvo como resultado que la concentración promedio de Cd total en suelo extraído según USEPA 3050B en todas las muestras fue 2.71 ppm, y el cadmio disponible 1.06 ppm extraído con EDTA, 0.05M, pH 7 (Cuadro 9).

Cuadro 9. Cadmio total y disponible en las muestras de suelo después de extraer las plantas.

Tratamientos	n	Total (USEPA 3050B)	Disponible (EDTA, 0.05M, pH 7)
T1	4	3.15	1.37
T2	4	2.98	1.04
T3	4	2.28	0.33
T4	4	2.48	0.61
T5	4	2.60	0.82
T6	4	2.84	1.05
T7	4	2.87	1.18
T8	4	2.80	0.82
T9	4	2.53	0.52
T10	4	2.56	0.81
T11	4	2.83	0.90
T12	4	2.87	1.15
T13	4	3.13	2.93
T14	4	2.00	1.37
Promedio		2.71	1.06

#### **4.1.1. Cadmio disponible en el suelo por efecto del compost y humus de residuos sólidos orgánicos**

Los niveles de la concentración de cadmio disponible, extraíble con EDTA, pH 7 0.5 M, en el suelo con cadmio y con aplicación de dos tipos de abonos orgánicos en seis niveles de materia orgánica se presentan adjuntado en anexo (Cuadro 29).

Según la prueba de F del análisis de varianza (Cuadro 30) se encontró diferencias estadísticas altamente significativas (AS) entre los tratamientos, es decir al menos uno de los tratamientos es diferente a los demás. Igual para los testigos adicionales versus tratamientos (AS). También se encontró diferencias estadísticas altamente significativas, para el factor B (niveles de materia orgánica). La interacción de los dos factores mostró diferencias estadísticas significativas y para el factor A (tipo de materia orgánica) no mostró diferencias significativas.

Según la prueba de comparación de medias de Duncan al 5 %, se encontró que la aplicación de humus y compost son estadísticamente iguales, ya que forman un solo grupo (Cuadro 10), es decir el material orgánico compost y humus muestran estadísticamente igual efecto sobre la concentración del cadmio disponible en el suelo, al finalizar el experimento.

Sin embargo, el control, testigo adicional (sustrato contaminado (Cd), sin M.O) y Testigo adicional (sustrato sin contaminar (Cd), sin M.O) mostraron 2.93 y 1.37 ppm de Cd disponible respectivamente, estadísticamente mayor que el humus (0.90 ppm Cd) y compost (0.87 ppm Cd) demostrando que ambas materias orgánicas han reducido la concentración del cadmio disponible en el suelo, por lo tanto, su aplicación sería importante para reducir, disminuir la absorción por las plantas de cacao.

Cuadro 10 . Prueba de Duncan del cadmio disponible en el suelo (ppm), para el factor A (tipo de materia orgánica).

Materia orgánica (A)	Medias	n	Significancia (*)
Testigo adicional (sustrato contaminado (Cd), sin M.O)	2,93	4	a
Testigo adicional (sustrato sin contaminar (Cd), sin M.O)	1,37	4	b
A2 (Humus)	0,90	24	c
A1 (Compost)	0,87	24	c

Letras diferentes en las columnas, representan diferencias estadísticas significativas (P<0.05)

En cuanto a los niveles de materia orgánica (%) aplicados, se obtuvo 5 grupos, donde el tratamiento con aplicación de 40% de materia orgánica tiene la media menor, lo que quiere decir que acumuló menor cadmio disponible y forma un solo grupo, por lo que estadísticamente es el mejor tratamiento (Cuadro 11).

Cuadro 11. Prueba de Duncan del cadmio disponible en el suelo (ppm) en seis niveles (%) de materia orgánica.

Niveles de materia orgánica (%) (B)	Medias	n	Significancia (*)
40	0,42	8	a
50	0,71	8	b
60	0,86	8	b c
30	0,93	8	c
70	1,10	8	d
20	1,27	8	e

Letras diferentes en las columnas, representan diferencias estadísticas significativas (P<0.05)

La interacción de materia orgánica con los niveles aplicados (A x B) mostró menor concentración de cadmio disponible en la interacción del compost con 40 % (t<sub>3</sub>) estadísticamente igual al humus con 40 % (t<sub>9</sub>) (Cuadro 12),

evidenciándose que la proporción materia orgánica (M.O): suelo (40:60) mostró menor presencia de cadmio disponible. El testigo adicional ( $t_{13}$ ) sin compost mostró la mayor concentración de cadmio disponible (2.93 ppm).

Cuadro 12. Duncan del cadmio disponible en el suelo en la interacción de seis niveles (%) y tipo de materia orgánica (compost y humus).

Trat.	Materia orgánica (A)	Niveles de materia orgánica (%) (B)		Media (ppm)	n	Significancia (*)	
T3	Compost	40		0,33	4	a	
T9	Humus	40		0,52	4	a	b
T4	Compost	50		0,61	4	b	c
T10	Humus	50		0,81	4	c	d
T5	Compost	60		0,82	4	c	d
T8	Humus	30		0,82	4	c	d
T11	Humus	60		0,9	4		d
T2	Compost	30		1,04	4		d e
T6	Compost	70		1,06	4		d e
T12	Humus	70		1,15	4		e f
T7	Humus	20		1,18	4		e f
T1	Compost	20		1,37	4		f

Letras diferentes en las columnas, representan diferencias estadísticas significativas ( $P < 0.05$ )

La correlación entre el cadmio disponible en el suelo y la proporción de materia orgánica (Figura 3a), indica un alto coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.824, además polinómica ( $y_1 = 0,1157x^2 - 0,8655x + 2,144$ ) y 0.8509 también polinómica ( $y_2 = 0,0826x^2 - 0,5667x + 1,6271$ ), para el compost y humus, respectivamente. El valor mínimo obtenido de la derivada de las ecuaciones fue 47 y 44 % de compost y humus, respectivamente.

Este valor es similar al mostrado en el cuadro 12 donde la interacción del compost y humus han reducido significativamente a 40 % el cadmio disponible, por lo tanto, podría ser innecesario y antieconómico aplicar dosis superiores a 47 y 44 % de compost y humus, respectivamente.

El cadmio disponible en el suelo por efecto del compost y del humus (Figura 3b), muestran promedios menores respecto a la concentración inicial de cadmio que tenía naturalmente el suelo, evidenciándose claramente que la adición del compost y humus ha reducido el cadmio disponible en el suelo a 6 meses después de instalarse el experimento, debido al efecto de la formación de  $\text{OH}^-$  disminuyendo esto el cadmio disponible.

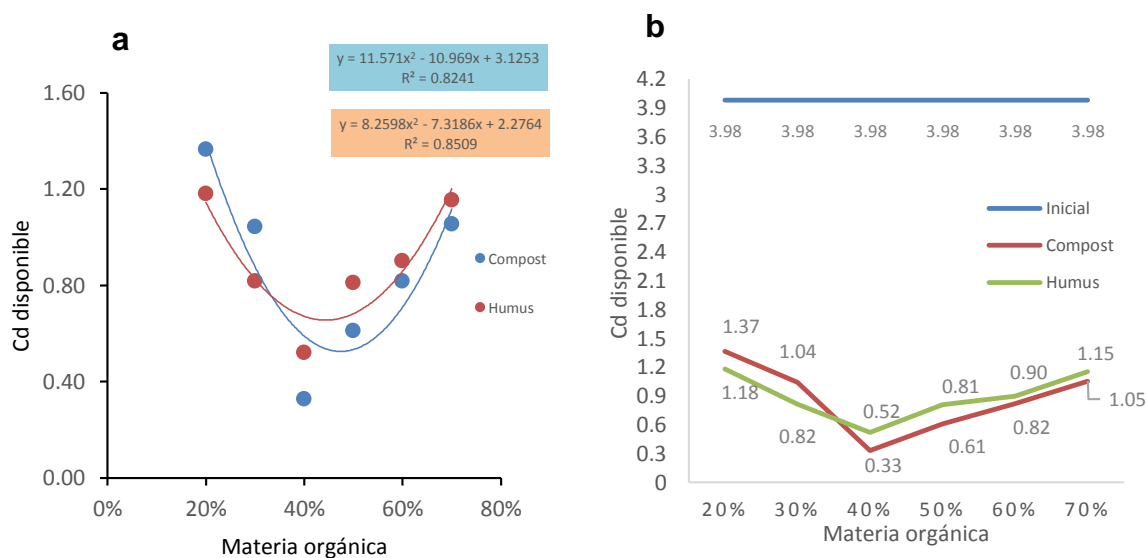


Figura 3. Correlación entre el cadmio disponible en el suelo y la proporción de materia orgánica (a), cadmio disponible en el suelo por el efecto del compost y humus (b).

#### 4.1.2. Cadmio total en el suelo por efecto del compost y humus de residuos sólidos orgánicos

Los niveles de la concentración de cadmio total, extraídos según EPA 3050b, en el suelo con aplicación de dos tipos de abonos orgánicos en seis niveles de materia orgánica se presentan en el anexo (Cuadro 31).

Según la prueba de F del análisis de varianza (Cuadro 32) adjunto en anexo se encontró diferencias estadísticas altamente significativas (AS) en el factor B es decir al menos uno de las proporciones de materia orgánica es diferente a los demás. Igual para T<sub>13</sub>, testigo adicional (sustrato o suelo inoculado sin materia orgánica) adicionales versus tratamientos (AS).

No se encontró diferencias estadísticas significativas, para el factor A (fuentes orgánicas), tampoco para la interacción fuentes de materia orgánica y niveles (A x B). El nivel de materia orgánica del factor B, con proporción de 40 y 50 %, de materia orgánica, estadísticamente presentaron menor concentración de cadmio total en el suelo a los 6 meses después de aplicarse los tratamientos (Cuadro 13).

Cuadro 13. Prueba de Duncan del cadmio total en el suelo (ppm), para el factor B (niveles de materia orgánica).

Niveles de materia orgánica (%) (B)	Media	n	Significancia (*)
40	2,41	8	a
50	2,52	8	a
60	2,72	8	b
70	2,86	8	b c
30	2,89	8	c
20	3,01	8	c

Letras diferentes en las columnas, representan diferencias estadísticas significativas (P<0.05)

El testigo control, T<sub>13</sub> testigo adicional (sustrato o suelo inoculado sin materia orgánica) estadísticamente mostró la mayor concentración de cadmio total en el suelo (Cuadro 14).

Cuadro 14. Prueba de Duncan del cadmio total en el suelo (ppm) para el T<sub>13</sub> testigo adicional (sustrato o suelo inoculado sin materia orgánica).

Tratamien.	Medias	n	Significancia (*)						
T3	2,28	4	a	b					
T4	2,48	4		b	c				
T9	2,54	4		b	c	d			
T10	2,56	4		b	c	d	e		
T5	2,60	4			c	d	e		
T8	2,80	4				d	e	f	
T11	2,84	4				d	e	f	g
T6	2,84	4				d	e	f	g
T12	2,87	4					e	f	g
T7	2,87	4					e	f	g
T2	2,98	4						f	g
T13	3,13	4							g
T1	3,15	4							g

Letras diferentes en las columnas, representan diferencias estadísticas significativas (P<0.05)

La correlación entre el cadmio total en el suelo y la proporción de materia orgánica (Figura 4a), indica un alto coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.798 además polinómica ( $y_1 = 9,5424x^2 - 9,2989x + 4,6963$ ) y 0,7141 también polinómica ( $y_2 = 4,8326x^2 - 4,3154x + 3,5663$ ) para el compost y humus, respectivamente.

El valor mínimo obtenido de la derivada de las ecuaciones fue 49 y 45 % de compost y humus respectivamente, es decir con la aplicación de 49 y 45 % de compost y humus se ha obtenido la concentración más baja de cadmio total en el suelo, la adición de materia orgánica superior a estas dosis estaría generando una acumulación del cadmio en el suelo.

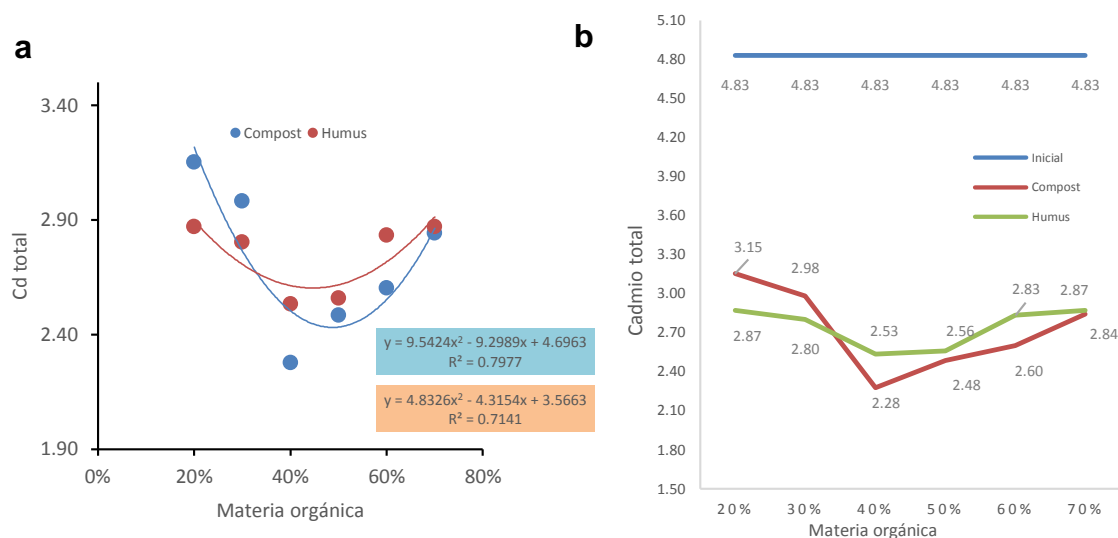


Figura 4. Correlación entre el cadmio total en el suelo y la proporción de materia orgánica (a), cadmio total en el suelo por el efecto del compost y humus (b).

#### 4.2. Efecto de la materia orgánica en la absorción de cadmio por las hojas, tallos y raíz del cacao

La concentración promedio de Cd total extraído por vía seca en todas las muestras de hojas de plántones de cacao fue 1.45 ppm, en tallo 1.89 ppm y en raíz 0.90 ppm (Cuadro 15), evidenciándose una elevada acumulación del cadmio por el cacao.

Cuadro 15. Concentración de cadmio en hojas, tallo y raíz de plántones de cacao.

Tratamiento	Cadmio Hojas	Cadmio tallo	Cadmio raíz
T1	2.05	1.77	1.25
T2	2.97	2.80	1.57
T3	2.12	2.65	1.30
T4	0.95	2.00	1.15
T5	0.92	1.25	0.55
T6	0.75	0.87	0.72
T7	2.07	2.42	1.20
T8	1.72	2.55	1.15



T9	1.42	2.30	0.62
T10	1.17	2.17	0.97
T11	1.02	2.07	0.65
T12	0.75	0.90	0.40
T13	2.30	2.75	1.05
T14	0.00	0.02	0.00
Promedio	1.45	1.89	0.90

#### 4.2.1. Cadmio en las hojas

Los niveles de la concentración de cadmio total en las hojas del cacao con aplicación de dos tipos de abonos orgánicos y seis niveles de materia orgánica se presentan en el Cuadro 33 del anexo. Según la prueba de F del análisis de varianza (Cuadro 34) se encontró diferencias estadísticas altamente significativas (AS) entre los tratamientos, es decir al menos uno de los tratamientos es diferente a los demás. Igual para los testigos adicionales versus tratamientos (AS). También se encontró diferencias estadísticas altamente significativas, para el factor A, (tipos de materia orgánica), B (niveles de materia orgánica) y la interacción de los dos factores A\*B.

Según la prueba de comparación de Duncan al 5 %, se encontró que la aplicación de humus y compost son estadísticamente iguales, ya que forman un solo grupo (Cuadro 16), es decir el material orgánico compost y humus muestran estadísticamente igual efecto sobre la concentración del cadmio total en las hojas de cacao, al finalizar el experimento. Sin embargo, el control, testigo adicional (sustrato contaminado (Cd), sin M.O) estadísticamente mostró mayor concentración de cadmio en las hojas con respecto al Testigo adicional (sustrato sin contaminar (Cd), sin M.O).

Cuadro 16. Duncan del cadmio total en hojas.

Materia orgánica (A)	Medias	n	Significancia (*)
Testigo adicional (sustrato sin contaminar (Cd), sin M.O)	0,000	4	a

A2 (Humus)	1,360	24	b	
A1 (Compost)	1,630	24	b	C
Testigo adicional (sustrato contaminado (Cd), sin M.O)	2,297	4		C

Letras diferentes en las columnas, representan diferencias estadísticas significativas ( $P < 0.05$ )

El nivel de materia orgánica del factor B, con proporción de 60 y 70 %, de M.O estadísticamente presentaron menor concentración de cadmio total en las hojas de cacao a los 6 meses después de aplicarse los tratamientos (Cuadro 17), esto indicaría que la mayor dosis de materia orgánica posiblemente ha generado la retención del cadmio evitando su absorción y acumulación en las hojas.

Cuadro 17. Duncan del cadmio total en hojas de cacao según niveles de materia orgánica.

Niveles de materia orgánica (%) (B)	Medias	n	Significancia (*)	
70	0,75	8	a	
60	0,97	8	a	b
50	1,06	8		b
40	1,77	8		c
20	2,07	8		d
30	2,35	8		d

Letras diferentes en las columnas, representan diferencias estadísticas significativas ( $P < 0.05$ )

La interacción de materia orgánica con los niveles aplicados (A x B) mostró menor concentración de cadmio total en las hojas del cacao, en la interacción del compost con 70 % estadísticamente igual al humus con 70 % (Cuadro 18), es decir estadísticamente, la menor concentración de cadmio en las hojas de cacao fue con la aplicación de compost y humus con el nivel 70% de materia orgánica.

Cuadro 18. Duncan del cadmio total en hojas de cacao en la interacción A\*B.

Tipo de materia orgánica (A)	Niveles de materia orgánica (%) (B)	Media	n	Significancia (*)
COMP	70	0,74	4	a
HUM	70	0,75	4	a
COMP	60	0,92	4	b
COMP	50	0,95	4	b
HUM	60	1,02	4	b
HUM	50	1,17	4	c
HUM	40	1,42	4	d
HUM	30	1,72	4	e
HUM	20	2,07	4	f
COMP	20	2,07	4	f
COMP	40	2,12	4	f
COMP	30	2,97	4	g

Letras diferentes en las columnas, representan diferencias estadísticas significativas ( $P < 0.05$ )

#### 4.2.2. Cadmio en Tallo

Los niveles de la concentración de cadmio total en el tallo del cacao con aplicación de dos tipos de abonos orgánicos en seis niveles de materia orgánica se presentan adjuntado en anexo (Cuadro 35).

Según la prueba de F del análisis de varianza (Cuadro 36) se encontró diferencias estadísticas altamente significativas (AS) entre los tratamientos, es decir al menos uno de los tratamientos es diferente a los demás. Para los testigos adicionales versus tratamientos fue altamente significativo (AS). También se encontró diferencias estadísticas altamente significativas, para el factor A, (tipos de materia orgánica), B (niveles de materia orgánica) y la interacción de los dos factores A\*B.

Con la aplicación del compost la concentración del cadmio en el tallo, fue estadísticamente menor comparado con la aplicación del humus (Cuadro 19).

Cuadro 19. Duncan del cadmio total en tallo.

Materia orgánica (A)	Medias	n	Significancia (*)
Testigo adicional (sustrato sin contaminar (Cd), sin M.O)	0,02	4	a
A1 (Compost)	1,89	24	b
A2 (Humus)	2,07	24	c
Testigo adicional (sustrato contaminado (Cd), sin M.O)	2,75	4	d

Letras diferentes en las columnas, representan diferencias estadísticas significativas ( $P < 0.05$ )

El nivel de materia orgánica del factor B, con proporción de 70 %, de materia orgánica estadísticamente presentó menor concentración de cadmio total en el tallo de los plantones de cacao a los 6 meses después de aplicarse los tratamientos (Cuadro 20).

Cuadro 20. Duncan del cadmio total en tallo de cacao según niveles de materia orgánica.

Niveles de materia orgánica (%) (B)	Media	n	Significancia (*)
70	0,88	8	a
60	1,66	8	b
50	2,09	8	c
20	2,09	8	c
40	2,48	8	d
30	2,67	8	e

Letras diferentes en las columnas, representan diferencias estadísticas significativas ( $P < 0.05$ )

La interacción de materia orgánica con los niveles aplicados (A x B) mostró menor concentración de cadmio total en tallo del cacao en la interacción del compost con 70 % estadísticamente menor (Cuadro 21), es decir estadísticamente, la menor concentración de cadmio en el tallo del cacao fue con la aplicación de compost en el nivel de 70 % de M.O, en proporción (M.O:suelo) evidenciando que la proporción compost (materia orgánica):suelo (70:30) logró menor presencia de cadmio total en el tallo del cacao.

Cuadro 21. Duncan del cadmio total en tallo de cacao en la interacción A \* B.

Tipo de materia orgánica (A)	Niveles de materia orgánica (%) (B)	Media	n	Significancia (*)
COMP	70	0,87	4	a
HUM	70	0,90	4	b
COMP	60	1,25	4	c
COMP	20	1,77	4	d
COMP	50	2,00	4	e
HUM	60	2,07	4	e
HUM	50	2,17	4	e f
HUM	40	2,30	4	f g
HUM	20	2,42	4	g h
HUM	30	2,55	4	h i
COMP	40	2,65	4	i j
COMP	30	2,80	4	j

Letras diferentes en las columnas, representan diferencias estadísticas significativas (P<0.05)

#### 4.2.3. Cadmio en raíz

Los niveles de la concentración de cadmio total en la raíz del cacao con aplicación de dos tipos de abonos orgánicos en seis niveles de materia orgánica se presentan adjuntado en anexo (Cuadro 37). Según la prueba de F del análisis de varianza (Cuadro 38) se encontró diferencias estadísticas altamente significativas (AS) entre los tratamientos, es decir al menos uno de los

tratamientos es diferente a los demás. Para los testigos adicionales versus tratamientos fue altamente significativo (AS). También se encontró diferencias estadísticas altamente significativas, para el factor A, (tipos de materia orgánica), B (niveles de materia orgánica) y la interacción de los dos factores A\*B. Con la aplicación del humus la concentración del cadmio (0.83 ppm) en la raíz, fue estadísticamente menor comparado con la aplicación del compost (Cuadro 22).

Cuadro 22. Duncan del cadmio total en raíz.

Tipo de materia orgánica (A)	Medias		Significancia (*)
Testigo adicional (sustrato sin contaminar (Cd), sin M.O)	0,00	4	a
A2 (Humus)	0,83	24	b
Testigo adicional (sustrato contaminado (Cd), sin M.O)	1,05	4	c
A1 (Compost)	1,09	24	c

Letras diferentes en las columnas, representan diferencias estadísticas significativas (P<0.05)

El nivel de materia orgánica del factor B, con proporción de 70 %, de materia orgánica, estadísticamente presentó menor concentración de cadmio total en la raíz con este mismo nivel (70%) también se encontró concentraciones más bajas de cadmio en hoja y tallo en los plantones de cacao a los 6 meses después de aplicarse los tratamientos (Cuadro 23), esto indicaría que la dosis de materia orgánica (70%) habría generado la retención del cadmio evitando su absorción y acumulación en la raíz.

Cuadro 23. Duncan del cadmio total en raíz de cacao según niveles de materia orgánica.

Niveles de materia orgánica (%) (B)	Medias	n	Significancia (*)
70	0,56	8	a b
60	0,60	8	b
40	0,96	8	c

50	1,06	8	d
20	1,22	8	e
30	1,36	8	f

Letras diferentes en las columnas, representan diferencias estadísticas significativas (P<0.05)

La interacción de materia orgánica con los niveles aplicados (A x B) mostró menor concentración de cadmio total en la raíz del cacao en la interacción del humus con M.O 70 % estadísticamente menor (0.4 ppm Cd) (Cuadro 24), es decir estadísticamente, la menor concentración de cadmio en la raíz del cacao fue con la aplicación de humus en el nivel de 70 % de M.O, en proporción (M.O:suelo) evidenciando que la proporción humus (materia orgánica):suelo (70:30) logró menor presencia de cadmio total en la raíz del cacao. En segundo lugar, la menor absorción del cadmio en la raíz del cacao fue para el compost (0.55 ppm) con la proporción 60 %.

Cuadro 24. Duncan del cadmio total en raíz de cacao en la interacción A \*B.

Tipo de materia orgánica (A)	Niveles de materia orgánica (%) (B)	Media	n	Significancia (*)
HUM	70	0,40	4	a
COMP	60	0,55	4	b
HUM	40	0,62	4	b c
HUM	60	0,65	4	c d
COMP	70	0,72	4	d
HUM	50	0,97	4	e
COMP	50	1,15	4	f
HUM	30	1,15	4	f
HUM	20	1,20	4	f
COMP	20	1,25	4	f g
COMP	40	1,30	4	g
COMP	30	1,57	4	h

Letras diferentes en las columnas, representan diferencias estadísticas significativas (P<0.05)

### 4.3. Efecto de la materia orgánica en el crecimiento de cacao en vivero

Los resultados de la altura de planta del cacao al sexto mes con aplicación de dos tipos de abonos orgánicos en seis niveles de materia orgánica se presentan en el adjunto en anexo (Cuadro 39).

Según la prueba de F del análisis de varianza (Cuadro 40) solo existe diferencias estadísticas altamente significativas (AS) en la interacción tipos de materia orgánica (compost y humus) por niveles (20, 30, 40, 50, 60, 70 %) (A\*B) se encontró diferencias estadísticas altamente significativas. El testigo adicional t<sub>14</sub>, Testigo adicional (sustrato sin contaminar (Cd), sin M.O) también presenta diferencias estadísticas altamente significativas.

Con la aplicación del compost, humus y testigo adicional (sustrato contaminado (Cd), sin M.O) el crecimiento de los plántones de cacao fue estadísticamente igual. La mayor altura de planta fue para el t<sub>14</sub>, testigo adicional (sustrato sin contaminar (Cd), sin M.O) con 45,09 centímetros (Cuadro 25).

Cuadro 25. Duncan de altura de planta del factor A.

A (M.O)	Media	n	Significancia (*)
Testigo adicional (sustrato sin contaminar (Cd), sin M.O)	45,09	4	a
Testigo adicional (sustrato contaminado (Cd), sin M.O)	29,41	4	b
Humus	29,21	24	b
Compost	28,69	24	b

Letras diferentes en las columnas, representan diferencias estadísticas significativas (P<0.05)

La mayor altura de plántones de cacao en la interacción materia orgánica con los niveles aplicados (A x B) fue en la interacción (T<sub>7 = a2b1</sub>) del humus con la proporción 20 % (humus 20%: suelo 80%) con 35.66 centímetros (Cuadro 26).



Cuadro 26. Duncan de la altura de planta en la interacción A\* B.

Tipo de materia orgánica (A)	Niveles de materia orgánica (%) (B)	Media	n	Significancia (*)	
HUM	20	35,66	4	a	
COMP	70	31,77	4	a	b
COMP	60	31,52	4	a	b
HUM	30	30,79	4	a	b
HUM	70	29,49	4	a	b
HUM	40	29,31	4	a	b
COMP	20	28,34	4		b
COMP	30	27,87	4		b
COMP	40	27,31	4		b
COMP	50	25,32	4		b
HUM	50	25,31	4		b
HUM	60	24,70	4		b

Letras diferentes en las columnas, representan diferencias estadísticas significativas ( $P < 0.05$ )

La mayor altura de planta, estadísticamente superior a todos los demás factores fue para el t<sub>14</sub>, testigo adicional (sustrato sin contaminar (Cd), sin M.O) con 45,09 centímetros (Cuadro 27).

Cuadro 27. Duncan de altura de planta a 180 días, del t<sub>14</sub> vs todos los demás

Tratamiento	Medias	n	Significancia (*)	
t14	45,09	4	a	
t7	35,66	4		b
t6	31,77	4		b c
t5	31,52	4		b c
t8	30,79	4		b c
t12	29,49	4		b c
t13	29,41	4		b c
t9	29,31	4		b c

t1	28,34	4	c
t2	27,87	4	c
t3	27,31	4	c
t4	25,32	4	c
t10	25,31	4	c
t11	24,70	4	c

Letras diferentes en las columnas, representan diferencias estadísticas significativas ( $P < 0.05$ )

#### 4.4. Efecto de las variables químicas (pH, M.O, CIC) en el cadmio disponible en el suelo

El Cuadro 28 muestra los coeficientes de correlación de Pearson del Cd disponible y cadmio total con las variables edafológicas como materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico y potencial de hidrógeno (M.O, CIC, pH) para muestras de suelo.

Cuadro 28. Coeficiente de correlación de Pearson del Cd disponible y total con las variables edafológicas M.O, CIC, pH del suelo.

	Cd disponible (Ppm)	M.O (%)	CIC (Cmol(+)/kg)	pH
Cd disponible	--	-0,663**	-0,473*	0,155
Cd total	0,492*	0,220	0,350	-0,170

\*correlación es significativa ( $p < 0,05$ ), \*\*correlación altamente significante ( $p > 0,01$ ).

$Cd\_disponible = 3,586 + 1,336(Cd\_total_{ppm}) - 0,219 (M. O\%) - 0,049 (CIC) - 0,513 (pH)$

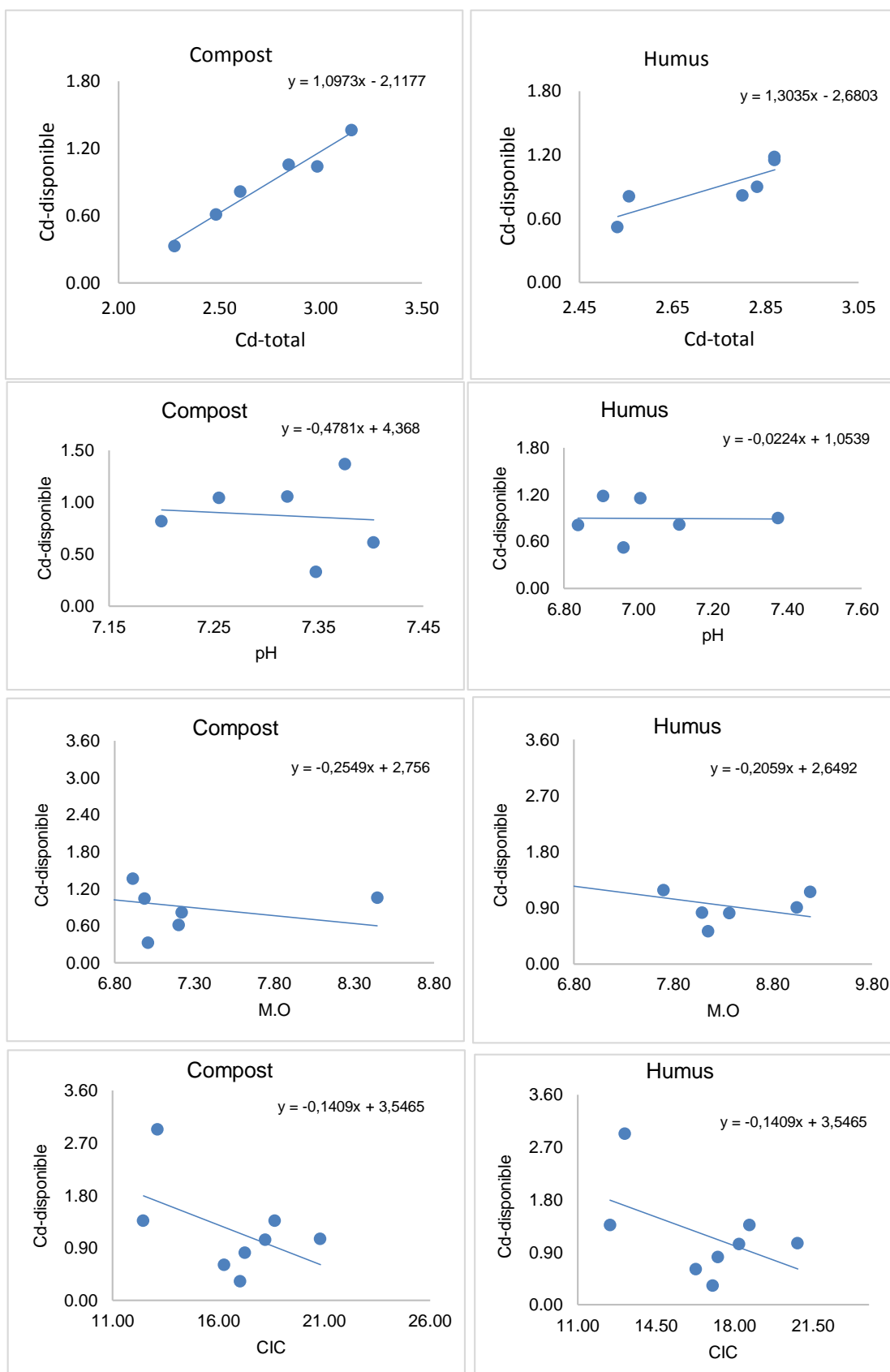


Figura 5. Correlación entre variables químicas y cadmio disponible en el suelo.

## V. DISCUSIÓN

La concentración promedio de Cd total en suelo extraído según USEPA 3050B en todas las muestras fue 2.71 ppm, y el cadmio disponible 1.06 ppm extraído con EDTA, 0.05M, pH 7 (Cuadro 9), donde el cadmio disponible representa el 39 % respecto al cadmio total, según REYES Y MARÍA (2004) en suelos cacaoteros orgánicos en República Dominicana el cadmio disponible era el 33 %. TECHNOSERVE y CITE CACAO (2011), encontraron que el contenido promedio del cadmio disponible, extraído con EDTA, 0.05M, pH 7 en suelos de la Región San Martín fue 0.11 ppm. En parcelas de cacao de Leoncio Prado CÁRDENAS (2012) reportó en promedio 0.66 ppm de cadmio disponible. HUAMANI *et al.*, (2012), en 22 parcelas de cacao orgánico en producción de 7 años en Huánuco reportan 0.53 ppm de cadmio disponible. ARÉVALO *et al.*, (2016) encontró de 0.53 ppm de Cd disponible en Piura. En Ecuador CHAVEZ *et al.* (2016) reportó 0.45 ppm de cadmio disponible, extraíble con Mehlich 3 (M3).

En Ecuador CHAVEZ *et al.* (2016), reportó 1.65 ppm de cadmio total en suelos de cacao por el sur en las provincias de Guayas y El Oro reportaron, RAMTAHAL *et al.* (2016), en suelos de 45 plantaciones de cacao en Trinidad y Tobago encontró el contenido de cadmio total osciló entre 0.3 y 1.7 ppm. TAKRAMA *et al.* (2015) en Gana encontró que la concentración media de cadmio en la capa superior de suelos fue de 0.047, 0.035 y 0.035 ppm para suelos fertilizados, no fertilizados y forestales respectivamente. GEEROMS (2016) en suelos cacaoteros de Ecuador encontró 0.94 ppm de cadmio total en promedio. La concentración de cadmio disponible y total es menor en este estudio, esta diferencia se explicaría por la dosis de cadmio (5 ppm), aplicado a los tratamientos que habría contribuido a una mayor concentración de este metal en el suelo, sin embargo, también debería prestarse atención a otras variables edafológicas como el zinc, amonio, silicio, fósforo, etc. LIAO y SELIM (2009),

DÍAZ *et al.* (2005) determinaron que la absorción del cadmio por suelo sería influenciada básicamente por la CICE y Ca. CONTRERAS (2011) demostró con la aplicación del calcio se disminuye el cadmio disponible.

La menor presencia de cadmio disponible en cuando se aplica humus y compost se explicaría porque el cadmio habría sido absorbido por la materia orgánica, y estaría formando complejos estables con los componentes orgánicos como los ácidos húmicos, fúlvicos, huminas, ácidos carboxílicos y metoxilicos. Este resultado se ratifica con la menor absorción estadísticamente del cadmio en hojas, tallo y raíz (Cuadro 12, 15 y 18) con la aplicación de humus y compost.

Para CLARK *et al.* (2007) la materia orgánica aumenta la retención de Cd. ANTONIADIS y ALLOWAY (2002) reportaron que la materia orgánica disuelto del suelo presenta ligandos naturales de absorción de metales. Según HAMON *et al.* (1995) los ligandos naturales orgánicos son moléculas orgánicas que se unen a metales. Según HAN-SONG *et al.* (2010) las fuentes orgánicas, retienen el Cd soluble o intercambiable en fracciones de enlaces orgánico reduciendo así la absorción por las plantas. Según GALE *et al.* (2000) en la materia orgánica existiría la posibilidad de la presencia de algunos grupos funcionales como los ácidos carboxílicos, que son muy reactivos, y carbonos aromáticos que se ligarían al cadmio. RODRÍGUES (2009) reportaron que el ácido fúlvico (AF) de la materia orgánica es más reactivo y tiene más grupos carboxílicos (-COOH) e hidroxilos (-COH), generando un compuesto químicamente más reactivo.

La aplicación de materia orgánica a proporción 40 % ha reducido estadística y significativamente el cadmio disponible en el suelo (Cuadro 11) y se explicaría porque el cadmio habría sido absorbido por la materia orgánica, y estaría formando complejos estables con los componentes orgánicos como los ácidos húmicos, fúlvicos, huminas, ácidos carboxílicos y metoxilicos. Además, en el experimento no es necesaria la aplicación de mayor proporción como 50,

60, 70 % de materia orgánica, porque estas podrían solubilizar el cadmio. Según KUO y BAKER, (1980) existe un incremento del cadmio soluble por efecto de la materia orgánica, debido posiblemente por los radicales que presentan la materia orgánica.

Resultados parecidos al cuadro 12 obtuvo CHÁVEZ *et al.* (2016) en Ecuador donde evaluaron el efecto del vermicompost y zeolita en la reducción del Cd disponible en suelos de cacao en laboratorio, donde el Vermicompost al 2% redujo significativamente el cadmio disponible. Según KHAN *et al.* (2014), las fuentes orgánicas reducen significativamente el Cd disponible del suelo al producir cambios en las propiedades físicas y químicas como el pH, conductividad eléctrica.

Sin embargo, no se ha logrado eliminar todo el cadmio disponible del suelo, esto se explicaría por la presencia alta de cadmio (2.33 ppm) inicial que mostró originalmente el suelo utilizado en el experimento, más 5 ppm de cadmio aplicado a todos los tratamientos habría producido una elevada concentración que podría eliminarse en su totalidad en mayor tiempo con aplicación continua de materia orgánica.

La calidad del compost habría contribuido a la menor presencia del cadmio disponible en el suelo respecto al humus, es posible que el compost en su proceso de humificación genere un cambio de pH y ejerza un efecto significativo de retención de metales pesados por la formación de moléculas complejas con capacidad de retener el Cd, según KABATA-PENDIA y SADURSKI (2004) en condiciones alcalinas se forman especies aniónicas como:  $\text{CdCl}_3^-$ ,  $\text{Cd}(\text{OH})_3^-$ ,  $\text{Cd}(\text{OH})_2^-$ ,  $\text{Cd}(\text{HS})_2^-$ , según MATUSIK *et al.* (2008) suelos con pH mayores de 7.5 el cadmio formaría dos compuestos principales el  $\text{CdCO}_3$ , y  $\text{Cd}_3(\text{PO}_4)_2$ , HONG *et al.* (2009) demostraron que el incremento del pH del suelo disminuye de manera simultánea el Cd disponible para la planta. La materia orgánica en el suelo convierte el Cd Soluble / intercambiable en una fracción de enlace orgánico reduciendo así la absorción (HAN-SONG *et al.* 2010).

El nivel de materia orgánica del factor B, con proporción de 40 y 50 %, de M.O estadísticamente presentaron menor concentración de cadmio total en el suelo a los 6 meses después de aplicarse los tratamientos (Cuadro 13), esto se explicaría posiblemente por la acción solubilizante de la materia orgánica que habría liberado al cadmio y posiblemente fue absorbido por los plantones de cacao.

El nivel más bajo de materia orgánica con 20 y 30 %, mostró la mayor presencia de cadmio total en el suelo, indicando que con estos niveles la materia orgánica ha sido retenido formando parte de complejos estables de la materia orgánica del suelo, y no habrían sido absorbidos por las plantas de cacao, aproximándose con los resultados del cadmio disponible (Figura 3a) que muestran.

La mayor presencia de cadmio es en el tallo, pudiéndose explicar por la fase de crecimiento en que se encuentran los plantones, TANTALEAN (2017) reportó un promedio de 1.94 ppm de cadmio total en ramas (tallo) del tercio inferior de la planta adulta en plantaciones ubicados en Jacintillo, según PRIETO (2009), las plantas acumuladoras almacenan metales en su estructura orgánica, según INÉS (2011), el cadmio, es un elemento fácil de translocar a la parte superior de las plantas, BARRAZA *et al* (2017) encontró que las hojas de cacao en Ecuador acumulan más Cd que la cáscara de frutos y la semillas. HUAMANÍ *et al* (2012) reportaron 0.21 ppm de cadmio en hojas de cacao en producción, KABATA-PENDÍAS (2001) considera 0.5 ppm de cadmio máximo tolerable en las hojas de cacao. Los reportes de CHUPILLÓN (2017) fueron de mayor concentración de cadmio en las hojas y menor en las raíces de plantones de cacao en vivero, ésta posiblemente se debe al efecto fisiológico de la planta del cacao, al tipo de órgano y a la absorción y translocación de nutrientes desde la solución suelo.

En el cuadro 17, se observa que el nivel más bajo de materia orgánica de 20 y 30 %, mostró la mayor acumulación de cadmio total en las hojas

de cacao, evidenciándose que con estos niveles (20 y 30%) la materia orgánica no ha reducido, no ha retenido formando complejos estables en el suelo, coincidiendo con EDIDDON (2012) quien determinó que la concentración de cadmio en el tejido disminuye cuando se incrementa la concentración de materia orgánica. El metal quedaría fijado en los componentes orgánicos como la humina, ácidos húmicos y ácidos fúlvicos en forma estable y poco soluble. HUAYNATES (2011) en Tingo María se determinó que, en el guano de isla, entre un rango de 500 a 1500 g/planta tienen el mismo efecto positivo de reducir el cadmio del suelo.

En el cuadro 18, la proporción compost y humus (M.O): suelo (70:30) logró menor presencia de cadmio total en las hojas del cacao, coincidiendo con KHAN *et al.* (2014), quienes demostraron que las fuentes orgánicas reducen significativamente el Cd disponible del suelo al producir cambios en las propiedades físicas y químicas como el pH, conductividad eléctrica, reduciéndose la absorción por las plantas.

En el cuadro 19, el material orgánico como compost muestran estadísticamente menor concentración del cadmio total en el tallo del cacao, al finalizar el experimento. Esto debido al efecto de los ácidos y radicales del compost que reduce o neutraliza el cadmio en el tallo. Sin embargo, el control, testigo adicional (sustrato sin contaminar, sin M.O) estadísticamente mostró menor concentración de cadmio en el tallo respecto al testigo adicional (sustrato sin contaminar (Cd), sin M.O), compost y humus, debido al contenido inicial de Cd que presentó el sustrato inicial sin contaminar. La mayor concentración del cadmio en el tallo fue para el testigo adicional (sustrato contaminado (Cd), sin M.O) con 2.75 ppm, demostrándose que sin aplicación de materia orgánica al igual que en las hojas, la absorción del cadmio por el tallo es mayor que por los plántones de cacao.

En el cuadro 20, la mayor dosis de materia orgánica (70%) posiblemente ha generado la retención del cadmio evitando su absorción y acumulación en el tallo. Los niveles de materia orgánica por debajo del 50 %



mostraron la mayor acumulación de cadmio total en el cacao, evidenciándose que con los niveles más bajos de materia orgánica no se logran reducir y/o inmovilizar el cadmio en el suelo formando complejos estables con la materia orgánica en el suelo.

En el cuadro 22 el material orgánico como el humus muestra estadísticamente menor concentración de cadmio total en la raíz del cacao, al finalizar el experimento. Sin embargo, el control, testigo adicional (sustrato sin contaminar, sin M.O) estadísticamente mostró menor concentración de cadmio en la raíz respecto al testigo adicional (sustrato sin contaminar (Cd), sin M.O), compost y humus. La menor absorción del cadmio en la raíz con la aplicación de humus se debería a que esta fuente orgánica está generando mejor actividad microbiana que estaría precipitando o reteniendo el cadmio en la superficie orgánica en formas insolubles.

La mayor concentración del cadmio en la raíz es en el testigo adicional (sustrato contaminado (Cd), sin M.O) (1.05 ppm), estadísticamente igual al compost (1.09 ppm) se explicaría por la ausencia de material orgánico que no está aportando e induciendo la actividad microbiana del suelo. El compost por estar en proceso de descomposición estaría limitando la reducción de absorción del cadmio por las raíces.

En el cuadro 23, los niveles de materia orgánica por debajo del 50 % mostraron la mayor acumulación de cadmio total en el cacao, evidenciándose que con los niveles más bajos de materia orgánica no se logra reducir e inmovilizar el cadmio en el suelo formando complejos estables, insolubles por la actividad microbiana de la materia orgánica en el suelo.

Las características químicas favorables del suelo ( $t_{14}$ ) utilizado en el experimento (M.O, 2.62 %; pH, 7.58; CIC, 13.85, Cd, 2.33 ppm), habrían generado efectos favorables para el crecimiento de la planta. Los niveles altos de materia orgánica y cadmio sobre este suelo, habrían influido negativamente el crecimiento de las plantas de cacao en etapa de vivero hasta los 6 meses,

debido a que la materia orgánica en cantidades altas, absorbe mucha agua y limita el crecimiento de las plantas, incluso con presencia de enfermedades.

El resultado obtenido coincide con ESPEJO (2010) que reportó que el crecimiento de los plantones de cacao en vivero al tercer mes fluctuó de 15.76 hasta 29.84 cm, y la menor altura (15.76 cm) fue con el sustrato que tenía mayor concentración de materia orgánica (7.46%), NAZAR (2008) determinó que la altura de plantones de cacao fluctuó desde 19 hasta 23.78 cm en vivero, sin embargo, su evaluación corresponde a los tres meses después de la siembra. ACOSTA (2014) no encontró efectos en la germinación y poder germinativo del cacao en vivero cuando aplicó 50, 100, 150, 200, 250 ppm de Cd bajo la forma de sulfato de cadmio. Según TADEO y GÓMEZ-CADENAS, (2008) la fitotoxicidad de los metales pesados se manifiesta principalmente en suelos ácidos, afectando el crecimiento y la formación de raíces laterales y secundarias de la planta.

Según el cuadro 26, los plantones de cacao alcanzaron mayor altura con el nivel más bajo de humus y los dos niveles más altos de compost, por lo tanto, el humus tendría mayor eficiencia y se ha requerido la menor dosis (20%) para lograr mayor crecimiento, sin embargo, dosis menores podrían tener mejor efecto en el crecimiento del cacao en etapa de vivero.

En el cuadro 27, la mayor altura de planta obtenido en el tratamiento  $t_{14}$  donde no se aplicó cadmio ni materia orgánica, se debería a las características químicas favorables del suelo ( $t_{14}$ ) utilizado en el experimento (M.O, 2.62 %; pH, 7.58; CIC, 13.85, Cd, 2.33 ppm), habrían generado efectos favorables para el crecimiento de la planta sin embargo es posible también un efecto negativo en el crecimiento de los niveles del compost, humus, y estados de descomposición de ellos.

Este resultado coincide con los reportes de LLIUYA (2015) que determinó que la altura de planta en vivero a 120 días después de la siembra fluctuó de 18.63 hasta 34.68 cm, y la mayor altura fue para el testigo que no se

aplicó materia orgánica, ESPEJO (2010) también reportó mayor altura (27.68 cm) estadísticamente igual a los demás, a los 90 días con los tratamientos testigos que no recibieron materia orgánica.

En el cuadro 28, la materia orgánica presenta una correlación inversa altamente significativa con el cadmio disponible, es decir al incrementarse el contenido de materia orgánica en el suelo disminuye la concentración del cadmio disponible en el suelo con igual tendencia para el compost y humus (Figura 5), resultados similares reportaron CHAVEZ *et al.* (2016) con la aplicación de Vermicompost al 2% redujo significativamente el cadmio disponible en suelos cacaoteros de Ecuador. El incremento de la materia orgánica favorecería el incremento de la población microbiana, además habría influido en el incremento del pH y CIC, TEJADA *et al.* (2006) reportó con la aplicación de materia orgánica el incremento de la actividad microbiana, pH y CIC. Según LIZARAZO (2001) los compuestos húmicos de la materia orgánica es fuente de carbono, que incrementa la población microbiana. Además, la calidad de la materia orgánica es fundamental en la actividad microbiana según BRAVO *et al.*, (2014) la calidad de la materia orgánica afecta significativamente en estos procesos de descomposición y mineralización obteniéndose menor movilidad de cadmio. Según KHAN *et al.* (2014), la alteración de la materia orgánica la biodisponibilidad de Cd en el suelo puede causar cambios en las propiedades fisicoquímicas del suelo como pH, conductividad eléctrica, Los materiales orgánicos aumentan la retención de Cd al aumentar la carga superficial.

La correlación entre la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y el cadmio disponible fue negativa y altamente significativo ( $p < 0.01$ ) (Cuadro 28), es decir al incrementarse la CIC se reduce el cadmio disponible en el suelo cuando se aplicó compost y humus con la misma tendencia, evitándose la absorción por las plantas de cacao. Los suelos con capacidad de intercambio catiónico (CIC) indican mayores sitios de cambio que estarían reteniendo el cadmio, coincidiendo con HUERTOS y BAENA (2008) quienes indican que suelos con

CIC elevado reducen el riesgo de solubilidad y posterior absorción de metales por las plantas. También, LIAO y SELIM (2009) y DÍAZ *et al.* (2005) quienes hallaron que la absorción del cadmio en el suelo está afectada principalmente por la CIC.

La menor presencia del cadmio disponible con la mayor CIC se explicaría por la retención y la formación de complejos estables en la superficie activa de los ácidos húmicos, según TAN (2010) los coloides orgánicos de la materia orgánica del suelo se relacionan con los grupos funcionales carboxil y fenol. Sin embargo, este efecto podría variar según el tipo de suelo, arcilla y otros factores diversos, según LÓPEZ (2006) suelos con CIC similar podrían tener distintos efectos en la retención de metales variando según su grado de descomposición calidad de la materia orgánica y arcilla.

La correlación no fue significativa entre el cadmio total y la CIC (Cuadro 28), sin embargo, existe una relación directa. Similares resultados obtuvieron ARÉVALO *et al.* (2016) quienes reportaron una correlación positiva y significativa ( $p < 0.05$ ) entre el cadmio total y la CIC. La correlación entre el cadmio disponible y cadmio total fue directamente significativa ( $p < 0.05$ ), es decir al incrementarse la presencia del cadmio total también se incrementa el cadmio disponible.

El pH no muestra una correlación significativa con el cadmio disponible sin embargo existe una asociación no significativa positiva (Cuadro 28), es decir cuando se incrementa el pH también se incrementaría el cadmio disponible, y al reducirse el pH también se reduciría el cadmio disponible. Sin embargo, la correlación individual del compost y humus fueron negativas no significativas (Figura 5), es decir al incrementarse el pH se reduce el cadmio disponible. Los resultados coinciden con ELLIOTT *et al.* (1990) que describieron disminuciones de la disponibilidad del cadmio bajo condiciones ácidas con materia orgánica.

Sin embargo, se han hecho reportes y descrito opiniones contradictorias a estos resultados, CHAVEZ *et al.* (2016). Se determinó una correlación negativa entre el pH del suelo y el cadmio disponible, RODRIGUEZ (2010) encontró una relación inversamente significativa entre el pH y el cadmio, según OBREGÓN (2012) el incremento del pH de 2 a 5 mejoró la retención del cadmio, SALAZAR y ZEA (2015) reportó excelente absorción de cadmio a pH 6.1, según MATUSIK *et al.* (2008) en suelos con pH superior de 7.5 el cadmio formaría dos compuestos principales el  $\text{CdCO}_3$ , y  $\text{Cd}_3(\text{PO}_4)_2$ .

Por otro lado, en la evaluación de algunas deficiencias de microelementos en las hojas, se pudiendo detectar la deficiencia de zinc, hierro, y manganeso, debido al efecto de la materia orgánica en concentraciones mayores de 40%, asimismo, las concentraciones altas de materia orgánica afectaron a los plantones por una alta retención de humedad y afectación por la presencia de enfermedades que de alguna manera detuvo el crecimiento de los plantones.

## VI. CONCLUSIONES

1. La aplicación del compost y humus de residuos sólidos ha reducido la concentración de cadmio disponible en el suelo.
2. La aplicación del compost y humus de residuos sólidos en los niveles más altos han mostrado mayor retención (presencia) de cadmio total.
3. La aplicación de compost y humus de residuos sólidos han reducido la absorción del cadmio en un 29 % (compost) y 40.79 % (humus) en hoja, 31 % (compost) y 25 % (humus) en tallo, con mayor presencia de cadmio en raíz.
4. La materia orgánica presentó una correlación inversa altamente significativa con el cadmio disponible y capacidad de intercambio catiónico (CIC), el pH no presentó correlación significativa.
5. La aplicación de materia orgánica en altos porcentajes, afecta negativamente el crecimiento de los plántones del cacao, habiéndose obtenido mayor crecimiento de los plántones en los tratamientos sin inoculación de cadmio y sin materia orgánica.
6. Para la reducción o mitigación del cadmio en la solución suelo y en la micela coloidal o complejo arcilla húmico, deberá utilizarse compost y humus obtenido de los residuos sólidos orgánicos, a proporciones menores del 40%.

## **VII. RECOMENDACIONES**

1. Se debería aplicar compost y humus de residuos sólidos en campo definitivo, para evaluar la reducción del cadmio en las almendras del cacao.
2. Al usar materia orgánica en proporciones mayores de 30 o 40% se debe tener una mayor observación y control en la presencia de enfermedades por la retención de humedad que se genera.
3. Se debería efectuar más trabajos con el uso de compost y humus, pero tratando de evaluar la calidad de estos abonos orgánicos.
4. Realizar más trabajos de la evaluación del efecto de abonos orgánicos en la reducción del cadmio en campo definitivo, en plantas que son abonadas normalmente con fertilizantes fosforados.

## VIII. ABSTRACT

The study done in the installations of the Agronomy Faculty's nursery at the Universidad Nacional Agraria de la Selva, the objective was to evaluate the effect of the compost and humus, obtained from the transformation of solid organic waste, on the reduction of the available and total cadmium concentration in the soil and the total cadmium in organic cacao seedlings with a completely randomized design with fifteen repetitions, with a factorial arrangement. The soil used is a sandy, frank, alluvial soil, with a total cadmium of 2.3 ppm, inoculating it with cadmium sulfate (45 days) to obtain 4.86 ppm, later, the bags were filled at a proportion of (20 / 30 / 40 / 50 / 60 and 70 %) compost and humus, in order to plant a pre-germinated seed of *Theobroma cacao* L., CCN 51 variety. At the end of the evaluation, the height measurement of the seedlings was taken and the physicochemical analysis of the soil was done: pH, CIC, organic matter (%), available Cd according to GONZALES (1986), total Cd in the soil according to the EPA-3050B (USEPA 1996) and Cd in the tissue (leaves, stalk and roots) according to BAZÁN (1996).

The results show that the compost and humus statistically have an equal effect on the concentration of the available cadmium in the soil, reducing it, because the cadmium could have been absorbed by the organic matter and could form stable compounds with the humic and fulvic acid, humins, carboxylic and metoxalic acids, ratifying this with the least absorption of total cadmium in the leaves, stalk and roots at 29 % (compost) and 40.79 % (humus) in the leaves, 31 % (compost) and 25 % (humus) in the stalk, with the greatest presence of cadmium being in the roots. The organic matter presented a highly significant inverse correlation with the available cadmium and the CEC (CIC in Spanish), the pH did not present a significant correlation. The application of the organic matter in high concentrations negatively affects the growth of the cacao, with a greater growth being obtained from the seedlings in the treatments without the inoculation of the cadmium and without organic matter.



## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ACOSTA, A. 2014. Efecto del Sulfato de Cadmio en la germinación y el crecimiento de plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Investigación y Amazonía* 2013; 3 (1): 20-29.
2. ANSORENA, J. 1994. El suelo en la agricultura y el medio ambiente. [En línea]: SUSTRAI, ([https://www.gipuzkoa.eus/documents/2227195/2228987/35\\_22\\_25.pdf/35082a9e-fc02-5b94-29c5-5f62f6504a96](https://www.gipuzkoa.eus/documents/2227195/2228987/35_22_25.pdf/35082a9e-fc02-5b94-29c5-5f62f6504a96), 22 Nov 2018).
3. ANTONIADIS, V; ALLOWAY, J. 2002. The role of dissolved organic carbon in the mobility of Cd, Ni and Zn in sewage sludge-amended soils. *Environ. Pollut.* 117, 515–521.
4. ARAVIND, P.; PRASSAD, M. 2005. Cadmium-Zinc interactions in a hydroponic system using *Ceratophyllum demersum* L.: adaptive ecophysiology, biochemistry and molecular toxicology. 20 p.
5. ARÉVALO, E; OBANDO, ME; ZÚÑIGA, LB; ARÉVALO, CO; BALIGAR, V; HE, Z. 2016. Metales pesados en suelos de Plantaciones de Cacao (*Theobroma Cacao* L.) en tres regiones del Perú. *Ecología aplicada* 15(2). 81-89.
6. BADILLO. 1985. Curso básico de toxicología ambiental. P. 205-29. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos. Metepec; ECO.
7. BAIRD, C. 2001. Química ambiental; Suelos y sedimentos. Edit. Por Xavier Domenech. 1º Edición. Barcelona, España, Reverté. 622 p.
8. BARRAZA, F; SCHRECK, E; LEVEQUE, T; UZU, G; LOPEZ, F; RUALES, J; PRUNIER, J. MARQUET, A; MAURICE, L. 2017. Cadmium bioaccumulation and gastric bioaccessibility in cacao: A field study in areas impacted by oil activities in Ecuador. *Environmental Pollution* xxx (2017) 1-14. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2017.07.080>

9. BAZÁN, R. 1996. Manual para el análisis químico de suelos plantas y aguas. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. 55 p.
10. BENITES, M; MADARI, B; MACHADO, L. 2003. Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: Um procedimento simplificado e de baixo custo. Brasília, Embrapa, Brasil. 7 p. (Comunicado Técnico 16).
11. BID. 2009. Manual Práctco de Uso de EM. Edición N° 1. Uruguay. 37p.
12. BRAVO, I., ARBOLEDA, C. Y MARTIN, F. 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 Agron., Colombia. 63 (2): 164 – 174 p.
13. CANELLAS, P; SANTOS, A.; AAMARAL-SOBRINHO; B. 1999. Reações da matéria orgânica. In: Santos, G.A.; Camargo, F.A.O. (Eds). Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Gênese, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, p. 69-90
14. CÁRDENAS, A. 2012. Presencia de cadmio en algunas parcelas de cacao orgánico en la Cooperativa Agraria Industrial Naranjillo – Tingo María – Perú. Tesis Ing. Agrónomo. Tingo María, Perú. Universidad Nacional Agraria de la Selva. 113 p.
15. CHAN, D.Y., HALE, B.A. 2004. Differential accumulation of Cd in durum wheat cultivars: uptake and retranslocation as sources of variation. Journal of Experimental Botany 55:2571-2579.
16. CEGARRA, J. 1994. Compostaje de Desechos Orgánicos y Criterios de Calidad del Compost. Programa Universitario de Ciencia y Tecnología Agropecuaria (PUI) (Ed.). En: Memorias Curso Master Internacional Aprovechamiento de Residuos Orgánicos. Palmira, Valle del Cauca, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira.
17. CHAVEZ, E; STOFFELLA, F; MYLAVARAPU, R; BALIGAR, V. 2016. Evaluation of soil amendments as a remediation alternative for cadmium-contaminated soils under cacao plantations. Environmental Science and Pollution Research, 2016, Volume 23, Number 17, Page 17571. DOI 10.1007/s11356-016-6931-7

18. CHUPIILLÓN, C. 2017. Determinación de la absorción de cadmio y plomo en genotipos de cacao (*Theobroma cacao* L.), para el establecimiento de plantaciones comerciales. Tesis Ing. Agronomo. Tingo Maria, Perú. Universidad Nacional Agraria de la Selva. 111 p.
19. CLARK, GJ; DODGSHUN, N; SALE, P; TANG, C. 2007. Changes in chemical and biological properties of a sodic clay subsoil with addition of organic amendments. *Soil Biol. Biochem.* 39 (11), 2806–2817.
20. CLEMENS, S., ANTOSIEWICZ, M., WARD, M., SCHACHTMAN, P., SCHROEDER, I. 1998. The plant cdna LCT1 mediates the uptake of calcium and cadmium in yeast. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 95:12043-12048. USA.
21. DÍAZ, A. ARROQUI, A. SARQUIS, P. 2005. Estudio de niveles de cadmio en perfiles de suelo en la localidad de Villa Nueva. Argentina, ISSN 0258 5979. *Minería y Geología* v. 21 n. 1, 2005.
22. DOMÍNGUEZ - SOLÍS, R., LÓPEZ-MARTIN, C., AGER, J., YNSA, D., ROMERO, C., GOTOR, C. 2004. Increased cysteine availability is essential for cadmium tolerance and accumulation in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Biotechnology Journal* 2:469-476.
23. EL PERUANO. 2017. Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo. [En línea]: MINAM, ([http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/12/DS\\_011-2017-MINAM.pdf](http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/12/DS_011-2017-MINAM.pdf), nov. 2018).
24. ELLIOTT, H.A.; DEMPSEY, B.A.; MAILLE, M.J. 1990. Content and fractionation of heavy-metals in watertreatment ludges; *J. Environ. Qual.* 19, 330–334.
25. ESPEJO 2010. Efecto de diferentes sustratos en la producción de plantones del *Theobroma cacao* L. "Cacao criollo" -en el sector de Jacintillo-Tingo María. Tesis de ingeniero en recursos naturales renovables- Mención Conservación de Suelos y Agua. Perú. 101p.
26. ESTÉVEZ, J, ANDRADE, L, MARCET, P, MONTERO, J. 2000. Fijación y movilidad de cadmio y zinc en tres tipos de suelos ácidos de Galicia,

- España. Ciencia del suelo, Vol. 18, Nº. 1, 28-35 p.  
[http://www.suelos.org.ar/publicaciones/vol\\_18n1/estevez\\_28-35.pdf](http://www.suelos.org.ar/publicaciones/vol_18n1/estevez_28-35.pdf)
27. FASSBENDER, H. y BORNEMISZA, E. 1994. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina.
28. FERNÁNDEZ, V, HERNÁNDEZ, X. 2006. Producción de abono orgánico a partir de heces ovinas en Palma Gorda, Hidalgo. Cultivo de lombriz roja para producción de abono orgánico.
29. FORO SOBRE LOS FACTORES ASOCIADOS A LA BIOACUMULACIÓN DE CADMIO EN CACAO Y SUS ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN. 2018. LIMA, PERÚ. 125 p.
30. GALE, J.; CAMBARDELLA, A; BAILEY, B. 2000. Root-derived carbon and the formation and stabilization of aggregates. Soil Science Society of America Journal, Madison, v. 64, p. 201-207.
31. GARCIA, E., GARCIA, E., JUAREZ, L., JUAREZ, 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.
32. GEEROMS, J. 2016. The influence of micro-nutrient availability on the uptake of cadmium by cacao trees. Vredeseilanden vzw. 7 p.
33. GGAYDC – MPLP. 2018. Protocolo de transformación de residuos orgánicos domiciliarios. 10 p.
34. GONZALES, S. 1986. Contenido natural de metales pesados extraíbles con EDTA en suelos del Valle Aconcagua. 5 p. Agr. Tec. 46 (3): 323-327
35. GUERINOT, M. L. 2000. The ZIP family of metal transporters. Biochimica et Biophysica Acta 1465. 190-198 p.
36. HAMON, R; HOLM, S; LORENZ, S; MCGRATH; CHRISTENSEN, T. 1995. Metal uptake by plants from sludge-amended soils: Caution is required in the plateau interpretation. Plant Soil 216:53–64.
37. 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](http://www.academia.edu/7195023/LA_CONTAMINACION_CON_CADMIO_EN_SUELOS_AGRICOLAS), 6 de Set)

38. HOLDRIDGE, L. 1987. Ecología basada en zonas de vida. Trad. Por Humberto Jiménez Saa. 20 p.
39. HONG, O; GUTIERREZ, J; YUN, W; LEE, B; YU, C; KIM, J. 2009. Heavy metal contamination of arable soil and corn plant in the vicinity of a zinc smelting factory and stabilization by liming. *Arch Environ Contam Toxicol* 56:190–200
40. HUAMANI, H., HUAUYA, M., MANSILLA, L., FLORIDA, N., NEIRA, G. 2012. Presencia de metales pesados en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao L.*), orgánico. *Redalyc*, Palmira, Colombia. 61 (4): 339-344.
41. HUAYNATES, J. 2013. Efecto de la materia orgánica en la absorción de cadmio por el suelo, en la localidad de Supte. Tesis Ing. RNR-Mención conservación de suelos y agua. Tingo Maria, Perú. Universidad Nacional Agraria de la Selva. 111 p.
42. HUERTOS, G. Y BAENA, R. 2008. Contaminación de Suelos por metales pesados. *Sociedad Española de Mineralogía*, 10:48–60.
43. IRELAND, P. 1983. Heavy metal uptake and tissue distribution in earthworms. En *Earthworm Ecology*, J.E. Satchell ed. Chapman and Hall, London, 247-265 p.
44. KABATA, A. Y MUKHERJEE, B. 2007. Trace elements from soil to human. Springer, Berlin. 561 p.
45. KABATA-PENDIAS, A Y PENDIAS, H. 2001. Trace Elements in Soils and Plants. 3ra Edic. Boca Raton London New York Washington, DC. 403p.
46. KABATA-PENDIAS, A. 2000. Trace Elements in Soils and Plants. 3rd ed., CRC Press.
47. KHAN, S; REID, J; LI, G; ZHU, G. 2014. Application of biochar to soil reduces cancer risk via rice consumption: a case study in Miaoqian village, Longyan, China. *Environ. Int.* 68,154–161
48. LABRADOR, J. 2001. La materia orgánica en los agrosistemas (Ministerio de agricultura, pesca y alimentación ed.). Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España.

49. LAFUENTE, A. 2007. Biorremediación y fitorremediación en suelos contaminados. [En línea]: Analesranf, (<https://www.analesranf.com/index.php/mono/article/viewfile/598/615>, 26 nov. 2018).
50. LIAO, L. Y SELIM, H. M. 2009. Competitive sorption of nickel and cadmium in different soils. *Soil Sci.* 174(10):549 - 555.
51. LIZARAZO, M. 2001. Insidencia de sustancias húmicas comerciales sobre microorganismos del suelo. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias. Universidad de Alicante. España, 99 p.
52. LLIUYA, V. 2015. Fertilización orgánica en el crecimiento vegetativo de los patrones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en un suelo inceptisols en fase de vivero, en el distrito de nuevo progreso, Tocache, San Martín Tesis de ingeniero en Recursos Naturales Renovables- Mención Conservación de Suelos y Agua. Perú. 91p.
53. LÓPEZ, A. 2006. Manual de edafología. Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola de la Universidad de Sevilla. Sevilla. España. 143p.
54. LÓPEZ, R. 2014. Tesis de Maestría "Programa Alternativo para el Manejo y Gestión Integral Participativa Eficiente de los Residuos Sólidos en la Ciudad de Tarma". Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.
55. MATUSIK, J., BAJDA, T., MANECKI, M. 2008. Immobilization of aqueous cadmium by addition of phosphates. *J. Hazard. Mater.* 125:1332–1339.
56. MAZZARINO, M. 2005. Aprovechamiento Integral de Residuos orgánicos en el n.o. De Patagonia. Quintral, Bariloche, Argentina: Grupo de Suelos del CRUB, Universidad.
57. MCLAUGHLIN, J., SINGH, R. 1999. Cadmium in Soils and Plants. Springer Science & Business Media.
58. MEJÍA, P. 2016. (lombriagroflor@123.cl) lombricultor propietario y asesor técnico de agroflorlombricultoramiento. Chile. 30p.
59. MELÉNDEZ, G. 2003. Abonos orgánicos: Principios, aplicaciones e Impacto en la agricultura. Centro de Investigaciones Agronómicas. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 1 – 8 p.

60. MOCOA. 2002. "El suelo Propiedades físicas-químicas -Conservación " Ministerio de cultura y desarrollo rural, programa nacional de transferencia de tecnología agropecuaria pronatta. 1: 1-14 p.
61. NAZAR, J. 2008. efecto de la dolomita en el crecimiento del *Theobroma cacao* L. (CLON CCN- 51) en un suelo ácido bajo condiciones de vivero, en Tingo María. Tesis de ingeniero en recursos naturales renovables- mención conservación de suelos y agua. Perú. 74p.
62. NUÑEZ, J. 2000. Fundamentos de Edafología; Suelos y sedimentos. Edit. Por Xavier Domenech. 1° Edición. Barcelona, España, Reverté. 622 p.
63. OBREGÓN, C. 2012. Estudio comparativo de la capacidad de adsorción de cadmio utilizando carbones activados preparados a partir de semillas de aguaje y de aceituna. Tesis de licenciado en química de la Pontificia Universidad Católica del Perú. 109 p.
64. 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](https://www.academia.edu/12177969/cadmio_enemigo_p%C3%BAblico_de_cacaoteros_del_Per%C3%BA), 25 ago. 2016).
65. OTTOS, E. 2018. Fraccionamiento densimétrico y químico de la materia orgánica asociado al cadmio en suelo aluvial y residual cacaotero. Tesis M.Sc. En ciencias en Agroecología. Tingo Maria, Perú. Universidad Nacional Agraria de la Selva. 111 p.
66. PARK, S., CHENG, H., PITTMAN, K., YOO, S., PARK, J., SMITH, H., HIRSCHI, D. 2005. Increased Calcium levels and prolonged shelf life in tomatoes expressing *Arabidopsis* H<sup>+</sup>/Ca<sup>2+</sup> transporters. *Plant Physiology* 39:1194-1206.
67. PETTIT, E. 2012. Organic matter, humus, humate, humic acid, fulvic acid and humin: their importance in soil fertility and plant health. College Station, Texas, Unites States: Texas A&M University.
68. PICCOLO, A. 1996. Humus and soil conservation. In: Piccolo, A. (Ed.). *Humic substances in terrestrial ecosystems*. Amsterdam: Elsevier. 225p.
69. PLAN DE DESARROLLO CONCERTADO DE LA PROVINCIA DE LEONCIO PRADO. 2009. Municipalidad Provincial de Leoncio Prado. 112 p.

70. 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.
71. RAMTAHAL, G. 2018. Mitigación de la bioacumulación de cadmio en cacao por remediación de suelo en Trinidad y Tobago. In: Foro sobre los factores asociados a la bioacumulación de cadmio en cacao y sus estrategias de mitigación (2018, Lima, Perú)
72. RESTREPO, G., MARULANDA, S., PÉREZ, Y., DIAZ, A., BALDANI, V., HERNÁNDEZ, A. (2015), Bacterias solubilizadoras de fosfato y sus potencialidades de uso en la promoción del crecimiento de cultivos de importancia económica. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*, Vol. 46, No. 1, 63-76 p.
73. REYES, E; MARÍA, A. 2004. Contenido de metales pesados tóxicos (níquel, plomo, cobre, cadmio y manganeso) en el cacao en la provincia Monseñor Nouel. En *Cacao. Resultados de Investigación*. Instituto Dominicano de Investigación Agropecuarias y Forestales. Santo Domingo. 62-73 p.
74. RODRIGUEZ, M. 2010. Bioacumulación de metales pesados trazas: cadmio, cobre y plomo en *Chondracanthus chamissoi* procedente del litoral del departamento la Libertad. Perú. agosto 2006 – mayo 2007. Tesis Dc. Medio Ambiente. Perú. UNT. 90 p.
75. ROMÁN, P., MARTÍNEZ, M., PANTOJA, A. 2013. Manual de compostaje del agricultor, experiencias en América Latina. FAO. Santiago de Chile. 112 p.
76. RON, P. 2004. Ácidos húmicos y fúlvicos de origen orgánico en el crecimiento de plántula de tomate (*Lycopersicon esculentum* mill.) en invernadero [Tesis]. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
77. SALAZAR, B Y ZEA, G. 2015. Estudio del proceso de biosorción del endocarpio de aceituna “olea europea” para la remoción de plomo (II) y cadmio (II) de soluciones acuosas. Arequipa, Perú. Universidad Católica de Santa María. 131 p.



78. SALT, E., WAGNER, J. 1993. Cadmium transport across tonoplast of vesicles from oat roots. Evidence for a  $Cd^{2+}/H^{+}$  antiport activity. *Journal of Biological Chemistry* 268:12297-12302.
79. SÁNCHEZ, M. 2003 Determinación de metales pesados en suelos de Mediana del Campo (Valladolid): Contenidos extraíbles, niveles de fondo y de referencia. Tesis doctoral. España. Universidad de Valladolid. 298 p
80. SÁNCHEZ, G. 2016. Ecotoxicología del Cadmio. [En línea]: Universidad Complutense, (<http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/GARA%20SANCHEZ%20BARRON.pdf> , 07 Nov 2018).
81. SANTOS, A. 2005. Matéria orgânica de Argissolo vermelho e Latossolo Bruno sob diferentes sistemas de manejo e sob vegetação nativa: distribuição em frações físicas, qualidade e sorção do herbicida atrazina. 196 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
82. SCHNITZER, M; KODAMA, H; RIPMEESTER, A. 1991. Determination of the aromaticity of humic substances by X-ray diffraction analysis. *Soil Science Society American Journal*, Madison, v.55, p.745-750
83. SCHULDT, M. 2004. El alimento de las lombrices. *Lombricultura fácil*. 35-48 p.
84. SHAH, K., NONGKYNRIH, M. 2007. Metal hyperaccumulator and bioremediation. *Biologia Plantarum* 51:618-634.
85. STEVENSON, J. 1994. *Humus chemistry: genesis, composition, reactions*. New York, John Wiley, 496 p.
86. SYERS, K. y SPRLNGETT, A. 1983. Earthworm ecology in grassland soils. En *Earthworm Ecology*, J.E. Satchell. Ed. Chapman and Hall, London, pp. 67-83.
87. SWATI, P y VIKRAM, R. 2010. Nutrient status of vermicompost of urban Green waste processed by three earthworm species *Eisenia fétida*, *Eudrilus eugeniae*, and *Perionyx excavates*. *Appl Environ Soil Sci*, Artículo ID 967526, 13p.

88. TADEO, F. Y GÓMEZ-CADENAS, A. 2008. Fisiología de las plantas y el estrés. En: Azcón-Bieto, J. y M. Talón (eds.). Fundamentos de fisiología vegetal. Madrid: McGraw-Hill Interamericana. 577 – 597 p.
89. TAKRAMA, J; AFRIFA, A; OFORI-FRIMPONG, K; JONFIA-ESSIEN, A; AGYEMANG, P; GALYUON, I. 2015. Cadmium contamination of cocoa beans and cocoa growing agricultural soils of Ghana: there is no cause for public alarm. *Peak J. Public Health Manag.* 3 (4):56–61. <http://www.peakjournals.org/sub-journals-PJPHM.html>.
90. TAN, H. 2010. Principles of Soil Chemistry. CRC Press.
91. TANTALEAN, E. Y HUAUYA, A. 2017. Distribución del contenido de cadmio en los diferentes órganos del cacao CCN-51 en suelo aluvial y residual en las localidades de Jacintillo y Ramal de Aspuzana. *Rev. de investig. agroproducción sustentable* 1(2): 69-78 p.
92. TECNOSERVE; CITE-CACAO, 2011. Contenido de Cadmio y Plomo en la Producción de cacao en San Martín. 74 p.
93. TEJADA, M; HERNÁNDEZ, T; GARCÍA, C. 2006. Application of two organic amendments on soil restoration: Effects on the soil biological properties. *Journal of Environmental Quality*, 35: 1010-1017
94. THOMINE, S., WANG, R., WARD, J., CRAWFORD, N., SCHROEDER, J. 2000. Cadmium and iron transport by members of a plant metal transporter family in Arabidopsis with homology to Nramp genes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 97:4991-4996. USA.
95. USEPA (United States Environmental Protection Agency). 1996. Method 3050 B: Acid digestion of sediment, sludges, and soils. CD-ROM 1. Revision 2, Washington, D. C

## ANEXOS

Cuadro 29. Concentración de cadmio disponible en el suelo.

Tratamiento	Símbolo	Repeticiones				Total	Media	
		1	2	3	4			
1	A1	B1	1.59	1.06	1.47	1.34	5.46	1.37
2	A1	B2	0.97	1.10	1.02	1.08	4.17	1.04
3	A1	B3	0.34	0.32	0.28	0.37	1.31	0.33
4	A1	B4	0.40	0.60	0.86	0.59	2.44	0.61
5	A1	B5	0.94	0.77	0.81	0.75	3.27	0.82
6	A1	B6	1.07	0.92	1.13	1.10	4.22	1.05
7	A2	B1	1.24	1.42	0.95	1.11	4.72	1.18
8	A2	B2	0.58	0.76	0.76	1.17	3.27	0.82
9	A2	B3	0.56	0.71	0.41	0.40	2.08	0.52
10	A2	B4	0.90	0.82	0.69	0.83	3.24	0.81
11	A2	B5	1.12	0.72	0.88	0.88	3.60	0.90
12	A2	B6	1.30	0.91	1.19	1.21	4.61	1.15
13	Ai	B0	2.80	2.90	2.96	3.06	11.72	2.93
14	Aii	B0	1.26	1.45	1.27	1.50	5.48	1.37

Cuadro 30. Anva del cadmio disponible en el suelo.

Ft. Variación	SSC	GGI	CM	Fcal	Ftab	
Tratamiento	19.77	13.00	1.52	65.92	1.96	AS
Factores	3.91	11.00	0.36	15.39	2.03	AS
A (M.O)	0.01	1.00	0.01	0.38	4.07	NS
B (NIV)	3.55	5.00	0.71	30.77	2.44	AS
A (M.O) * B (NIV)	0.35	5.00	0.07	3.01	2.44	S
Test (a1) vs trat fac	0.63	1.00	0.63	27.41	4.07	AS
Test (a2) vs trat fac	15.23	1.00	15.23	660.23	4.07	AS
Error	0.97	42.00	0.02			
Total	20.74	55.00				

CV: 7.33

Cuadro 31. Concentración de cadmio total (ppm) en el suelo.

Tratamiento	Símbolo		Repeticiones				Total	Media
			1	2	3	4		
1	A1	B1	3.00	3.20	3.10	3.32	12.61	3.15
2	A1	B2	3.02	2.72	3.00	3.20	11.93	2.98
3	A1	B3	2.27	2.27	2.30	2.27	9.11	2.28
4	A1	B4	2.57	2.52	2.32	2.52	9.93	2.48
5	A1	B5	2.30	2.67	2.87	2.57	10.41	2.60
6	A1	B6	2.75	2.67	2.90	3.05	11.37	2.84
7	A2	B1	3.00	2.90	2.72	2.87	11.48	2.87
8	A2	B2	2.60	2.82	2.82	2.97	11.21	2.80
9	A2	B3	2.42	2.47	2.60	2.65	10.13	2.53
10	A2	B4	2.60	2.80	2.50	2.35	10.23	2.56
11	A2	B5	3.10	2.65	2.75	2.85	11.33	2.83
12	A2	B6	3.00	2.72	2.85	2.92	11.48	2.87
13	Ai	B0	2.40	3.22	3.35	3.57	12.53	3.13
14	Aii	B0	2.00	1.97	1.97	2.07	8.005	2.00

Cuadro 32. ANVA, de la concentración de cadmio total EPA 3050B en el suelo.

Ft. Variación	SSC	GGI	CM	Fcal	Ftab	
Tratamiento	5.41	13.00	0.42	10.53	1.96	AS
Factores	3.91	11.00	0.36	8.98	2.03	AS
A (M.O)	0.01	1.00	0.01	0.22	4.07	NS
B (NIV)	3.55	5.00	0.71	17.96	2.44	AS
A (M.O) * B (NIV)	0.35	5.00	0.07	1.76	2.44	NS
Test (a1) vs trat fac	1.45	1.00	1.45	36.75	4.07	AS
Test (a2) vs trat fac	0.05	1.00	0.05	1.33	4.07	NS
Error	1.66	42.00	0.04			
Total	7.07	55.00				

CV: 7.33

Cuadro 33. Concentración de cadmio total en hojas de cacao.

Tratamiento	Símbolo		Repeticiones				Promedio
			1	2	3	4	
1	A1	B1	1.95	2.07	2.14	2.13	2.05
2	A1	B2	2.85	2.97	2.88	3.18	2.97
3	A1	B3	2.07	2.12	2.19	2.10	2.12
4	A1	B4	0.95	0.91	1.00	0.94	0.95
5	A1	B5	0.90	0.91	1.00	0.87	0.92
6	A1	B6	0.74	0.76	0.76	0.72	0.75
7	A2	B1	2.04	2.07	2.07	2.09	2.07
8	A2	B2	1.70	1.72	1.72	1.75	1.72
9	A2	B3	1.32	1.42	1.39	1.56	1.42
10	A2	B4	1.18	1.17	1.09	1.25	1.17
11	A2	B5	1.02	1.05	1.07	0.95	1.02
12	A2	B6	0.75	0.79	0.77	0.69	0.75
13	Ai	B0	2.45	2.30	2.20	2.24	2.30
14	Aii	B0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Cuadro 34. ANVA del cadmio total en hojas.

Ft. Variación	SSC	GGI	CM	Fcal	Ftab	
Tratamiento	32.80	13.00	2.52	504.62	1.96	
Factores	21.42	11.00	1.95	389.45	2.03	
A (M.O)	0.87	1.00	0.87	174.00	4.07	AS
B (NIV)	17.22	5.00	3.44	688.80	2.44	AS
A (M.O) * B (NIV)	3.33	5.00	0.67	133.20	2.44	AS
Test (a1) vs trat fac	2.76	1.00	2.76	551.00	4.07	AS
Test (a2) vs trat fac	8.63	1.00	8.63	1725.00	4.07	AS
Error	0.21	42.00	0.01			
Total	33.01	55.00				

CV: 4.87

Cuadro 35. Concentración de cadmio total en tallo de cacao.

Tratamiento	Símbolo	Repeticiones				Promedio	
		1	2	3	4		
1	A1	B1	1.70	1.77	1.78	1.82	1.77
2	A1	B2	2.80	2.78	2.71	2.90	2.80
3	A1	B3	2.65	2.73	2.47	2.75	2.65
4	A1	B4	1.85	2.00	2.19	1.97	2.00
5	A1	B5	1.45	1.25	1.21	1.08	1.25
6	A1	B6	0.87	0.91	0.84	0.85	0.87
7	A2	B1	2.58	2.42	2.22	2.45	2.42
8	A2	B2	2.64	2.21	2.55	2.81	2.55
9	A2	B3	2.15	2.45	2.30	2.31	2.30
10	A2	B4	2.17	2.10	2.17	2.24	2.17
11	A2	B5	2.08	2.08	2.01	2.11	2.07
12	A2	B6	0.90	0.95	0.90	0.85	0.90
13	Ai	B0	2.75	2.76	2.71	2.79	2.75
14	Aii	B0	0.02	0.02	0.01	0.03	0.02

Cuadro 36. ANVA cadmio total en tallo.

Ft. Variación	SSC	GGI	CM	Fcal	Ftab	
Tratamiento	36.42	13.00	2.80	222.01	1.96	AS
Factores	19.09	11.00	1.74	137.53	2.03	AS
A (M.O)	0.39	1.00	0.39	30.91	4.07	AS
B (NIV)	16.47	5.00	3.29	261.03	2.44	AS
A (M.O) * B (NIV)	2.23	5.00	0.45	35.34	2.44	AS
Test (a1) vs trat fac	2.69	1.00	2.69	212.77	4.07	AS
Test (a2) vs trat fac	14.65	1.00	14.65	1160.55	4.07	AS
Error	0.53	42.00	0.01			
Total	36.96	55.00				

CV: 5.95

Cuadro 37. Concentración de cadmio total en raíz de cacao.

Tratamiento	Símbolo		Repeticiones				Promedio
			1	2	3	4	
1	A1	B1	1.35	1.25	1.37	1.02	1.35
2	A1	B2	1.59	1.59	1.57	1.52	1.59
3	A1	B3	1.30	1.30	1.25	1.35	1.30
4	A1	B4	1.15	1.19	1.10	1.16	1.15
5	A1	B5	0.65	0.55	0.45	0.55	0.65
6	A1	B6	0.69	0.72	0.69	0.78	0.69
7	A2	B1	1.20	1.20	1.15	1.25	1.20
8	A2	B2	1.05	1.20	1.15	1.21	1.05
9	A2	B3	0.62	0.62	0.59	0.65	0.62
10	A2	B4	0.97	0.97	0.96	0.99	0.97
11	A2	B5	0.63	0.65	0.61	0.71	0.63
12	A2	B6	0.40	0.40	0.39	0.41	0.40
13	Ai	B0	1.05	0.91	1.15	1.09	1.05
14	Aii	B0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Cuadro 38. ANVA cadmio total raíz

Ft. Variación	SSC	GGI	CM	Fcal	Ftab	
Tratamiento	9.30	13.00	0.72	166.92	1.96	AS
Factores	5.80	11.00	0.53	123.03	2.03	AS
A (M.O)	0.79	1.00	0.79	184.33	4.07	AS
B (NIV)	4.24	5.00	0.85	197.87	2.44	AS
A (M.O) * B (NIV)	0.77	5.00	0.15	35.93	2.44	AS
Test (a1) vs trat fac	0.06	1.00	0.06	14.00	4.07	AS
Test (a2) vs trat fac	3.44	1.00	3.44	802.67	4.07	AS
Error	0.18	42.00	0.00			
Total	9.48	55.00				

CV: 7.19

Cuadro 39. Altura de planta al sexto mes de evaluación.

Tratamiento	Símbolo	Repeticiones				Promedio	
		1	2	3	4		
1	A1	B1	27.58	25.57	28.20	32.03	28.34
2	A1	B2	26.60	25.73	27.13	32.03	27.87
3	A1	B3	27.93	28.87	27.03	25.40	27.31
4	A1	B4	25.28	21.28	23.25	31.47	25.32
5	A1	B5	29.18	27.15	39.23	30.50	31.51
6	A1	B6	25.90	26.73	32.85	41.60	31.77
7	A2	B1	41.80	31.63	32.40	36.80	35.66
8	A2	B2	35.68	24.47	32.35	30.65	30.79
9	A2	B3	31.55	23.35	28.75	33.60	29.31
10	A2	B4	32.10	24.60	22.73	21.80	25.31
11	A2	B5	27.55	28.28	19.50	23.47	24.70
12	A2	B6	27.38	29.95	26.10	34.53	29.49
13	Ai	B0	30.73	29.50	30.63	26.77	29.40
14	Aii	B0	43.25	48.93	46.00	42.17	45.09

Cuadro 40. ANVA de altura de plantas.

Ft. Variación	SSC	GGI	CM	Fcal	Ftab	
Tratamiento	1412.17	13.00	108.63	6.17	1.96	AS
Factores	448.22	11.00	40.75	2.31	2.03	S
A (M.O)	3.26	1.00	3.26	0.19	4.07	NS
B (NIV)	212.95	5.00	42.59	2.42	2.44	NS
A (M.O) * B (NIV)	232.01	5.00	46.40	2.64	2.44	S
Test (a1) vs trat fac	1.52	1.00	1.52	0.09	4.07	NS
Test (a2) vs trat fac	962.43	1.00	962.43	54.67	4.07	AS
Error	739.38	42.00	17.60			
Total	2151.56	55.00				

CV: 13.93





Figura 6. Vivero instalado con plántulas de cacao con 14 tratamientos.



Figura 7. Acomodo de bolsas en 5 repeticiones por tratamiento.



Figura 8. Brote del cotiledón de la plántula de cacao.



Figura 9. Presencia de enfermedades en los tratamientos.

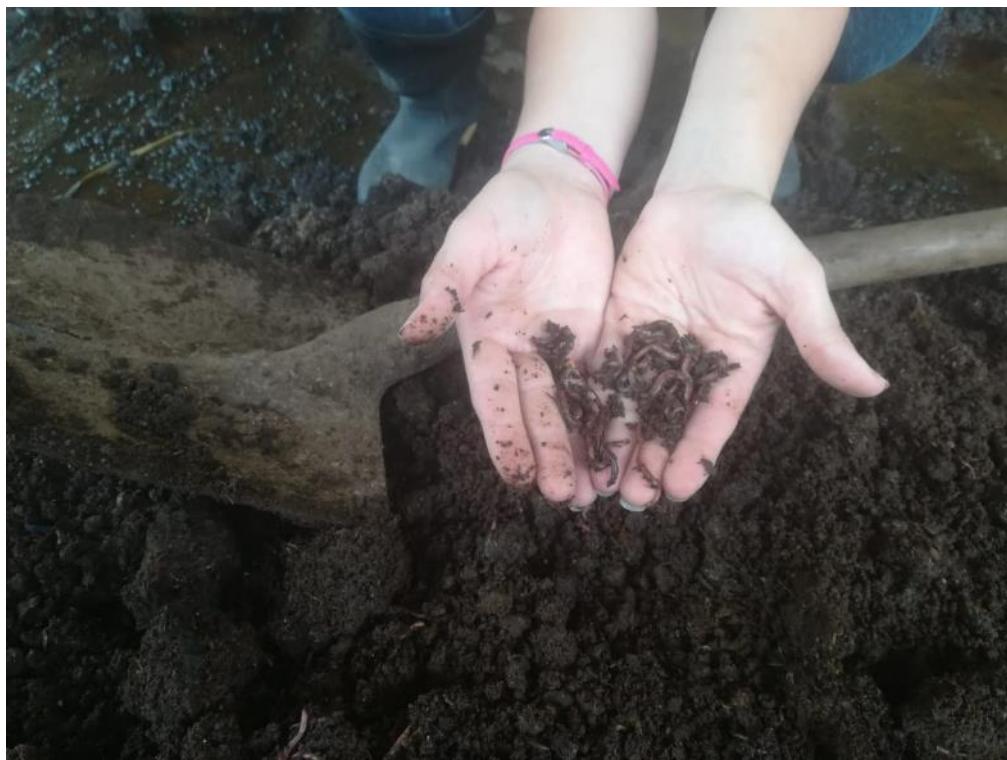


Figura 10. Lombrices utilizadas para la elaboración del humus.



Figura 11. Remoción para obtención de humus.



Figura 12. Preparación de compost en la planta de compostaje de la Municipalidad Provincial de Leoncio Prado.



Figura 13. Pesaje del humus listo para utilizar en la investigación.



Figura 14. Secado de muestras de suelo.



Figura 15. Molido de las muestras de suelo.



Figura 16. Codificación de las muestras de suelo.



Figura 17. Secado de hojas, raíces y tallos.



Figura 18. Pesado de raíces.



Figura 19. Procedimiento de extracción para determinación de materia orgánica de humus y compost.



Figura 20. Procedimiento de tamizaje para determinación de materia orgánica.



Figura 21. Procedimiento para determinación de cadmio total y disponible.



